

Joselaine Aparecida Ribeiro Filgueiras

Identificação de áreas irrigadas na bacia
hidrográfica do rio Riachão-MG

XIV Curso de Especialização em
Geoprocessamento



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

JOSELAINÉ APARECIDA RIBEIRO FILGUEIRAS

**Identificação de áreas irrigadas na bacia hidrográfica do rio
Riachão – MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

**Belo Horizonte
2013**

F478i Filgueiras, Joselaine Aparecida Ribeiro.
2013 Identificação de áreas irrigadas na bacia hidrográfica do rio Riachão –
MG [manuscrito] / Joselaine Aparecida Ribeiro Filgueiras. – 2013.
viii, 36 f. : il. (algumas color.)

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade
Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2013.
Orientador: Rodrigo Affonso Albuquerque Nóbrega.
Bibliografia: f. 35.

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Irrigação agrícola. 3. Landsat
(Satélites). I. Nóbrega, Rodrigo Affonso Albuquerque. II. Universidade
Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 626.84

“Eu ambicionava o suíxo manso dum córrego nas lages – o bom sumiço de um riacho mato a fundo. E adverti memória dos derradeiros pássaros do Bambual do Boi. Aqueles pássaros faziam arejo. Gritavam contra a gente, cada um asia sua sombra num palmo vivo d’água.

O melhor de tudo é a água.”

João Guimarães Rosa (Grande Sertão: Veredas)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores o aprendizado, a maior parte das vezes desafiante e agradável, sem citar nomes para não cometer injustiça com nenhum.

Agradeço pelas novas amizades feitas, alicerçadas no companheirismo e na solidariedade.

Agradeço à Lulu fofinha, minha filha, pedra preciosa divina, um “suíxo manso dum córrego” na minha vida, que desde o nascimento, há 3 anos atrás, está aprendendo a dividir a atenção de mãe com os compromissos de trabalho e estudo.

Aos meus pais e à família, pela base, a presença e o apoio.

Agradeço a tudo, a oportunidade do crescimento pessoal e intelectual.

Aluna Joselaine Aparecida Ribeiro Filgueiras

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 04 de Dezembro de 2013, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Professor Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega – IGC/UFMG – Orientador

Professor Dr. Marcos Timbó Elmiro – UFMG

RESUMO

A água doce, cuja disponibilidade é variável no tempo e no espaço, é um dos recursos naturais mais vulneráveis no planeta. Com o crescimento populacional e o aumento no consumo de alimentos, a expansão da fronteira agrícola forçou a ocupação de novas áreas, nem sempre favoráveis à produção, tais como áreas com solos inférteis ou com déficit hídrico, o que tem exigido a melhor gestão dos recursos ambientais. Nesse contexto, a gestão da água é essencial para a sustentabilidade e requer um conjunto abrangente e detalhado de informações para a regulação, o controle e a proteção das águas. Em uma intensa campanha em 2007 e 2008 pela regularização do uso da água, coordenada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), foi estimada a ocorrência de cerca de 80.000 empreendimentos agrícolas irrigados no estado e apenas aproximadamente 1/3 desse montante apresenta o uso da água regularizado. A literatura destaca que a maior demanda de água provém do setor agrícola. Este trabalho trata de uma investigação sobre a situação atual dos usos regulares (outorgados) de água e a utilização na agricultura irrigada na bacia hidrográfica do rio Riachão. A área de estudo está localizada entre as latitudes 16° 20'S e 15° 40'S e longitude 43° 41'W e 44° 17'W, no norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. O objetivo do estudo é identificar áreas de agricultura irrigada na bacia por meio do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em imagens orbitais multitemporais e da análise dos dados espacializados das outorgas concedidas e vencidas. Os resultados mostraram que o mosaico temporal das imagens NDVI é um bom instrumento por ser um método simples, robusto, eficiente e de fácil reprodução. O método se mostrou útil para gerenciar os conflitos de uso de recursos hídricos e apresenta alto potencial de replicabilidade a outras bacias hidrográficas em situação semelhante em Minas Gerais.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos, agricultura irrigada, outorga, monitoramento, Landsat 8.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELA 1: Características gerais dos satélites Landsat	13
TABELA 2: Comprimento de onda e resolução das bandas do satélite Landsat 8	15
TABELA 3: Cenas e data de aquisição das imagens Lansat 8 utilizadas no estudo.	23
FIGURA 1: Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) em Minas Gerais e identificação da área de estudo.....	12
FIGURA 2: Processo de divisão de duas bandas.....	17
FIGURA 3: Curva média de reflectância de vegetação fotossinteticamente ativa no espectro eletromagnético, com destaque para as faixas do vermelho e infravermelho próximo.....	19
FIGURA 4: Localização da área de estudo: rede hidrográfica e limites municipais na bacia do rio Riachão.....	22
FIGURA 5: Diagrama do desenvolvimento metodológico do estudo.....	24
FIGURA 6: Representação esquemática da metodologia do processamento digital de imagens.....	25
FIGURA 7: Áreas irrigadas no alto curso do rio Riachão (imagem Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2 e mosaico multitemporal NDVI).	27
FIGURA 8: Áreas irrigadas nas chapadas das cabeceiras do rio São Lourenço (imagem Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2 e mosaico multitemporal NDVI). .	28
FIGURA 9: Médio trecho do rio Riachão, com destaque para barramento irregular e pequenas áreas irrigadas por pivôs, também sem outorga (imagem Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2 e mosaico temporal NDVI).	29
FIGURA 10: Mosaico temporal NDVI dos meses de maio, junho e outubro de 2013 da bacia hidrográfica do rio Riachão-MG.....	31
FIGURA 11: Correlação entre base de dados do Igam e seu respectivo de ponto de captação espacializado, denotando inconsistência de informações.	32
FIGURA 12: Relação entre informações da base de dados do Igam e seus respectivos pontos de captação espacializado.	Erro! Indicador não definido.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
1.1. Apresentação.....	10
1.2. Objetivos.....	11
2. Fundamentação teórica.....	11
2.1. Outorga pelo uso da água.....	11
2.2. Sistema Orbital Landsat.....	12
2.3. Bandas espectrais do Landsat 8.....	14
2.4. Processamento Digital de Imagens (PDI).....	16
2.5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).....	17
2.6. Mosaico multitemporal por operador de máxima.....	19
3. Materiais e métodos.....	20
3.1. Definição e caracterização da área de estudo.....	20
3.2. Base de dados.....	23
3.3. Desenvolvimento metodológico.....	24
4. Resultados e discussões.....	26
5. Conclusões e considerações finais.....	33
6. Referências bibliográficas.....	35

1. Introdução

1.1. Apresentação

A gestão das águas constitui um conjunto de ações voltadas para o levantamento, regulação do uso, controle e proteção das águas (LANNA, 1997). Ela é fundamentada na aplicação de instrumentos de gestão previstos na política estadual de recursos hídricos, legalmente estabelecidos na lei estadual nº 13.199/1999¹.

Dentre os instrumentos de gestão das águas, destaca-se a outorga do direito de uso de recursos hídricos, que é a concessão pelo Estado do direito de uso desse bem, que é considerado de domínio público. A finalidade da outorga é o controle do balanço hídrico, que é dado pela relação entre a disponibilidade e a demanda de água.

Devido à quantidade de água consumida, um dos mais importantes usos de recurso hídrico atualmente no mundo é a agricultura irrigada, que atinge cerca de 70% do volume captado (UNESCO, 2012). Esse cenário ocorre também no Brasil e em Minas Gerais.

Dessa forma, o grande desafio no controle do uso da água pelo governo estadual é verificar se a vazão captada de fato é igual à vazão outorgada. Outro desafio importante é identificar e coibir os usos irregulares, uma vez que contribuem para agravar conflitos pelo uso da água e não podem ser contabilizados em estudos e estimativas de balanço hídrico.

Esse controle, que deve ser realizado para todas as bacias hidrográficas no estado, mobiliza uma reduzida equipe de fiscalização *in locu*, o que limita a capacidade operacional de realizar ações fiscalizadoras para todos os usos existentes de água, o que também é inviável em termos de custo e tempo. Nesse sentido, adotar estratégias que permitam otimizar os trabalhos de fiscalização em campo se torna importante. É nesse contexto que se reconhece a relevância do trabalho proposto, ao utilizar técnicas de sensoriamento remoto para subsidiar a tomada de decisão.

Segundo informações da Campanha de Regularização do Uso da Água, realizada em 2007 e 2008 (IGAM, 2009), são estimados em Minas Gerais a existência de mais de 80.000 empreendimentos agrícolas irrigados e apenas cerca de 1/3 desse total apresenta o uso da água regularizado. Assim, a proposta desse trabalho é contribuir para a melhor identificação de possíveis usos irregulares de água, especificamente na bacia hidrográfica do rio Riachão, por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento e processamento digital de imagens.

Esse estudo se justifica pela necessidade de aperfeiçoar as atividades de fiscalização, cuja equipe é reduzida e a demanda de trabalho é grande. Justifica-se também pela necessidade de envidar esforços para controle mais efetivo de uso dos recursos hídricos em bacias de conflito.

¹ Em nível nacional, a política das águas é definida pela lei federal nº 9.433/1997.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do estudo é identificar áreas de agricultura irrigada na bacia hidrográfica do rio Riachão-MG com possível uso de recurso hídrico irregular, com a finalidade de auxiliar o SISEMA (Sistema Estadual de Meio Ambiente) na tomada de decisão logística de fiscalização de uso irrigado da água na área de estudo. Para tanto, buscou-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Testar a utilização do Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN ou NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) para identificação de áreas irrigadas;
- Avaliar visualmente a relação entre áreas irrigadas e localização das captações outorgadas.
- Avaliar a contribuição das imagens Landsat 8, cuja aquisições iniciaram-se em fevereiro de 2013, associadas aos dados de usos de recursos hídricos regulares, para identificação de áreas agrícolas irrigadas passíveis de fiscalização.

2. Fundamentação teórica

2.1. Outorga pelo uso da água

A outorga pelo uso da água é a autorização emitida pelo Poder Público (estadual ou federal, conforme definição legal²) para o uso de recurso hídrico, que pode ocorrer na forma de captação superficial (incluídas as intervenções no curso de água que alterem sua qualidade, quantidade ou regime) ou de exploração de água subterrânea. Essa concessão apresenta prazo determinado e o valor da vazão outorgada, que varia com o regime hidrológico e com a legislação vigente.

Em Minas Gerais, o limite máximo de captações de água a serem outorgadas em cada seção da bacia hidrográfica é fixado em 30% da $Q_{7,10}$ ³. De acordo com SILVA (2010), dentre as diversas finalidades de uso da água, a agricultura irrigada é o setor de maior demanda de recursos hídricos.

Destaca-se que a outorga é o instrumento de gestão de recursos hídricos que possibilita gerenciar a relação entre disponibilidade e demanda de água.

O norte de Minas Gerais, região onde se encontra a área de estudo (Figura 1), é caracterizado por menor disponibilidade hídrica superficial, por localizar-se sob os domínios do clima quente semi-árido e subúmido seco, com temperaturas médias superiores a 18°C em todos os meses (IBGE, 2002).

No processo técnico-gerencial de análise, as outorgas são classificadas da seguinte forma:

² Definidas pela Constituição Nacional, são de dominialidade dos estados: as águas subterrâneas (à exceção das águas minerais) e aquelas cujas nascentes e foz estão totalmente dentro do estado (são exceções as águas que atravessam áreas de domínio federal, como terras indígenas, parques nacionais etc. e que foram represadas por obras executadas pela União). As águas de dominialidade da União são gerenciadas pela Agência Nacional de Águas

³ É a vazão de referência adotada para fins de outorga, referindo-se à vazão mínima média de 7 dias consecutivos no período de retorno de 10 anos.

- outorga deferida: a concessão é emitida, após as devidas análises técnicas e legais;
- outorga indeferida: a concessão é negada, após as devidas análises técnicas e legais, por constatação de que a vazão solicitada ultrapassa a vazão passível de ser outorgada;
- outorga cancelada: a concessão é tornada sem efeito, por diferentes motivações (solicitação do usuário, penalidade ao usuário por descumprimento das condições de outorga, conflito pelo uso da água, etc.);
- cadastro efetivado: concessão emitida para os chamados “usos insignificantes”, que utilizam menor quantidade de água. Para a bacia do Riachão foram definidos 0,5L/s para as captações e 3.000m³ para as acumulações superficiais. Para as águas subterrâneas, o consumo é de até 10m³/dia⁴.
- outorga vencida: concessão cujo prazo de validade encontra-se expirado.

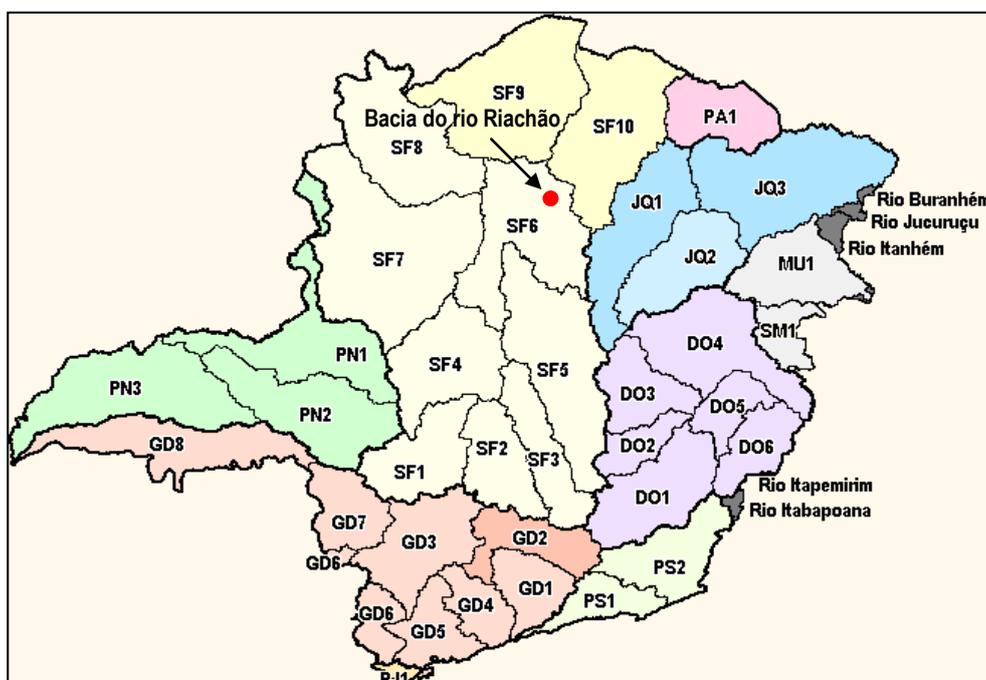


FIGURA 1: Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) em Minas Gerais e identificação da área de estudo.

Fonte: IGAM, 2006. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/geoprocessamento/mapas>.

2.2. Sistema Orbital Landsat⁵

Iniciado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em parceria com o *United States Geological Survey* (USGS) em 1972 com o lançamento em órbita do seu primeiro satélite, o sistema Landsat faz parte de um complexo programa de imageamento global multi-espectral da

⁴ Critérios definidos pela Deliberação Normativa nº 09/2004, que define os usos que independem de outorga (passíveis apenas de cadastro) ou usos insignificantes.

⁵ Maior parte das informações desse item foi obtida no sítio eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), consultado em 24 de novembro de 2013 e disponível em: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>.

superfície terrestre, com resolução espacial relativamente alta, se comparada à de satélites meteorológicos e oceanográficos globais (NUOVO, 2008, p. 136).

Foi lançada uma série de 8 satélites, posicionados em órbita circular heliossíncrona. A captação de imagens é feita por varredura mecânica ou “*whiskbroom*”, à exceção do último satélite (Landsat8), cuja varredura é eletrônica (“*pushbroom*”).

A Tabela 1 apresenta o quadro cronológico da operação dos satélites Landsat, algumas características de órbita e carga útil:

TABELA 1: Características gerais dos satélites Landsat

Sistema	Operação	Sensores	Resolução (m)	Altura da órbita (km)	Revisita (dias)	Taxa de dados
Landsat 1	23/07/72 a 01/06/78	RBV e MSS	80 e 80	917	18	15
Landsat 2	22/01/75 a 25/02/82	RBV e MSS	80 e 80	917	18	15
Landsat 3	05/05/78 a 31/03/83	RBV e MSS	30 e 80	917	18	15
Landsat 4*	16/07/82	MSS e TM	80 e 30	705	16	85
Landsat 5	01/03/84	MSS e TM	80 e 30	705	16	85
Landsat 6**	10/05/93 a 10/05/93	ETM +	15 (pan) e 30 (ms)	705	16	150
Landsat 7	04/04/99 a 2007***	ETM +	15 (pan) e 30 (ms)	705	16	150
Landsat 8	11/02/2013	OLI e TIRS	15 (pan) e 30 (ms)	701	16	150

* Transmissão TM interrompida em agosto de 1993, mantendo-se apenas o MSS.

** Satélite perdido em outubro de 1993.

*** Sistema teve várias falhas e funcionamento precário.

Fonte: Adaptado de NOVO (2008, p. 136).

Em relação aos sensores, o RBV (*Return Beam Vidicon*) e o MSS (*Multispectral Scanner System*) foram os primeiros sistemas sensores colocados em órbita, em 1972. Ao contrário do RBV, que fez parte apenas dos três primeiros satélites da série Landsat, o sistema MSS foi um dos sensores constituintes da carga útil de todos os satélites da série lançados até o Landsat 7 (USGS, 2013).

Enquanto no sensor MSS há seis detectores por banda, no TM cada banda espectral da região do visível e do infravermelho refletido é composta por 16 detectores. Na banda do termal, o sensor é composto por um conjunto de quatro detectores. Além disso, no TM e no ETM+ a radiância que chega aos detectores é quantizada em 256 números digitais ou níveis de cinza, contra 64 níveis no MSS. A resolução temporal também foi melhorada em relação ao sensor MSS, passando de 18 (sensor MSS) para 16 dias.

Sobre o satélite Landsat 8, cujas imagens esse estudo utiliza, importa dizer que entrou em operação em 2013, com o objetivo de garantir a aquisição continuada e a disponibilidade de dados do sistema Landsat, uma vez que, com a saída de órbita do satélite Landsat 5, somente o Landsat 7 permaneceu em órbita. O USGS é a responsável por toda aquisição, armazenamento e processamento das imagens (USGS, 2013).

A resolução radiométrica é de 12 bits contra 8 bits do Landsat 5 e 7. Isto representa que 4096 tons de cinza (para 12 bits) contra 256 tons cinza (para 8 bits). A resolução espectral também é maior no Landsat8, que apresenta 11 bandas espectrais, se comparada com as 7 bandas no Landsat 5 e 8 bandas no Landsat 7.

2.3. Bandas espectrais do Landsat 8⁶

O Landsat 8 utiliza os sensores OLI (*Operational Land Imager*), cuja resolução é de 30m (bandas 1 a 7 e 9⁷), e TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*), cuja resolução é de 100m, redefinida em 30m nos produtos gerados pela USGS (tabela 2). Esses dois sensores coletam, respectivamente, dados de imagens de 9 bandas de ondas curtas e 2 faixas de bandas termais de ondas longas. As novas bandas 1 e 9 não têm equivalência com o sensor ETM+.

O sensor OLI utiliza o sistema de varredura eletrônica, em vez da mecânica, que foi utilizada nos satélites Landsat anteriores. Nesse tipo de varredura, cada faixa no terreno é imageada em toda a sua extensão (185 quilômetros, no Landsat8), em um único instante, utilizando-se do arranjo de mais de 7.000 detectores por banda espectral. Dessa forma,

“cada detector é responsável para (sic) registrar a energia de um único elemento de área do terreno (pixel) ao longo de uma linha de varredura. Portanto, a amostragem do terreno não é feita pixel a pixel, mas todos os pixels de uma linha são imageados simultaneamente” (MENESES e ALMEIDA, org. 2012, p.38).

Os resultados são aumento da sensibilidade e melhor informação da superfície da Terra. Sete das nove bandas são compatíveis com os sensores TM (*Thematic Mapper*) e ETM + (*Thematic Mapper Plus*), encontrados nos satélites Landsat anteriores, possibilitando a manutenção histórica da série de dados, mas com melhoria da capacidade de medição. As outras duas (bandas 1 e 9) referem-se a novas faixas espectrais.

O sensor TIRS mede a intensidade do calor emitido pela superfície da Terra, por meio de fotodetectores chamados “QWIPs” (*Quantum Well Infrared fotodetectores*), produzindo imagens em 2 bandas do infra-vermelho termal.

A seguir é apresentada tabela com algumas características das bandas do Landsat 8 (Tabela 2):

⁶ Dados e informações obtidos no sítio eletrônico da USGS, em 25 e 26 de novembro de 2013, disponível em: <http://landsat.usgs.gov/>.

⁷ A banda 8, pancromática, apresenta resolução de 15m.

TABELA 2: Comprimento de onda e resolução das bandas do satélite Landsat 8

Sensor	Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução (metros)
<i>Operational Land Imager (OLI)</i>	1 (ultra-azul)	0,43-0,45	30
	2 (azul)	0,45-0,51	30
	3 (verde)	0,53-0,59	30
	4 (vermelho)	0,64-0,67	30
	5 (infra-vermelho próximo)	0,85-0,88	30
	6 (infra-vermelho de ondas curtas 1)	1,57-1,65	30
	7 (infra-vermelho de ondas curtas 2)	2,11-2,29	30
	8 (pancromática)	0,50-0,68	15
	9 (cirrus)	1,36-1,38	30
<i>Thermal Infrared Sensor (TIRS)</i>	10 (infra-vermelho termal 1)	10,60-11,19	100
	11 (infra-vermelho termal 2)	11,50-12,51	100

Fonte: USGS (2013). Disponível em: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php

A banda 1, inédita, trabalha com um comprimento de onda mais “curto” do azul, que é bastante dispersado por particulados finos e de aerossóis. Dessa forma, sua aplicação é voltada para estudos de áreas costeiras, onde há muito particulado fino em suspensão, e para aerossóis na atmosfera como poeira e fumaça. Assim, talvez essa faixa possa ser utilizada em estudos de concentração e dispersão de poluição atmosférica.

As bandas 2, 3 e 4 são as tradicionais bandas azul, verde e vermelha, respectivamente, utilizadas para a composição em “cor natural” no sistema RGB, sendo a banda 4 no vermelho, banda 3 no verde e banda 2 no azul.

A banda 5, na faixa do infra-vermelho próximo (“NIR”) é a mais adequada para estudos de vegetação e usos de índices de vegetação, como o NDVI.

As bandas 6 e 7 estão na faixa do infra-vermelho de ondas curtas (“SWIR”), estando a banda 6 em uma faixa do espectro mais curta que a da banda 7, embora ambas na faixa do “SWIR”.

As faixas do infra-vermelho próximo e de ondas curtas (bandas 5, 6 e 7) podem ser utilizadas no monitoramento de queimadas florestais. As faixas 6 e 7 são úteis para distinção entre terra molhada e terra seca. É também particularmente útil em estudos geológicos, uma vez que rochas e solos que parecem semelhantes em outras bandas, muitas vezes têm fortes contrastes no infravermelho de ondas curtas. A banda 7 é utilizada também na identificação de indicadores

superficiais de mineralização. É nessa faixa que os vários minerais de alteração hidrotermal têm as suas diagnósticas feições de absorção (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 20).

A banda 8 é a pancromática, que é *“uma banda mais larga que incorpora as faixas espectrais mais estreitas, por esta razão a quantidade de energia da banda Pancromática chega ao satélite com maior intensidade e isto possibilita ao sensor uma definição melhor”* (FIGUEIREDO, 2005, p. 3). Daí sua resolução de 15 metros. A partir de fusões com outras composições de bandas, essa banda é utilizada melhorar a resolução espacial das demais bandas, de resolução mais grosseira.

A banda 9 é uma nova banda, inexistente nos satélites anteriores. Abrange uma faixa fina de comprimento de ondas (1,36-1,38), que facilitam a detecção de nuvens altas e finas, denominadas cirrus. Essas nuvens apresentam contornos suaves, difíceis de serem detectadas, mascarando e alterando os resultados das análises e processamentos das imagens.

As bandas 10 e 11, do sensor TIRS, estão na faixa do infravermelho termal, embora em diferentes comprimentos de ondas dessa faixa. No entanto, possuem a mesma finalidade, que é a detecção do calor emitido pela superfície, podendo ser aplicadas em diversos estudos que utilizem a temperatura do solo como variável. Os dados são coletados em pixel de 100 metros. A banda 10 também é utilizada para detecção de veios de quartzo nas rochas (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 20).

2.4. Processamento Digital de Imagens (PDI)

O Processamento Digital de Imagem (PDI), segundo MENESES e ALMEIDA (org., 2012, p.82), consiste na execução de operações visando às transformações dos dados da imagem, em busca de qualidades espectrais e espaciais que sejam mais apropriadas para cada aplicação. De acordo com NOVO (2008, p. 261), as técnicas de PDI são fundamentais para a extração de informações.

De modo geral, os autores dividem as técnicas de PDI em dois tipos básicos: realce (melhoramento) e classificação (extração de informações). Há ainda a fase antecedente chamada de pré-processamento, que objetiva a correção preliminar de erros ou distorções que os dados originais possam apresentar, advindos de erros instrumentais, interferências da atmosfera e geometria de imageamento.

Em relação aos dois tipos básicos de PDI, pode-se afirmar que:

- 1) **Realce:** são técnicas de transformações espectrais, que manipulam o domínio espectral dos dados, ou pela alteração da sua representação, ou pela diminuição da sua dimensionalidade. Assim, todas as técnicas de PDI que não geram informação nova, mas apenas tornam explícitas as informações de interesse, são chamadas de técnicas de realce (NOVO, 2008, p.287). São exemplos de técnicas de realce: ampliações de contraste, operações aritméticas, componentes principais, fusão de imagens, transformação de cores etc.

- 2) **Classificação:** são técnicas de análise quantitativa das propriedades numéricas, que extraem informações das imagens a partir dessa análise. Divide-se em classificação não-supervisionada e supervisionada. Na primeira, os *pixels* da imagem são alocados em classes sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência, permitindo que “o analista conheça a distribuição de pixels por classes espectrais” (NOVO, 2008, p.291). A classificação supervisionada é realizada a partir de conhecimento prévio do analista sobre as classes de interesse e da seleção de amostras pelo analista.

De acordo com Meneses e Almeida (org., 2012, p.83), a aplicação dessas técnicas de PDI facilita a interpretação da cena e aperfeiçoa ao máximo a análise dos dados, em termos de eficiência, tempo e custo, por “*explorar com melhores recursos toda a informação contida na imagem e extrair informações de interesse e/ou relacioná-las com parâmetros estatísticos*”. (MENESES e ALMEIDA, org., 2012, p.83).

No caso das imagens Landsat 8, utilizadas nesse estudo, todos os pré-processamentos básicos de correção radiométrica e correção geométrica foram desenvolvidos pelo *United States Geological Service* (USGS) antes da disponibilização das imagens para o público. O único pré-processamento necessário foi a re-projeção das imagens da área de estudo para o hemisfério sul.

2.5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Por meio da aritmética de bandas, que segundo Meneses e Almeida (2012, p. 138) “é uma das mais simples formulações algorítmicas de processamento de imagens e que pode gerar resultados expressivos”, é possível ajustar, suavizar ou destacar toda a área de uma imagem ou alvos específicos de interesse. O processo de transformação é executado pixel a pixel e pode utilizar uma ou mais operações matemáticas básicas (soma, subtração, multiplicação e divisão), conforme ilustra a Figura 2. Envolve geralmente “no mínimo duas bandas do mesmo sensor ou bandas de datas de aquisições diferentes” (MENESES e ALMEIDA, org., 2012, p.138).

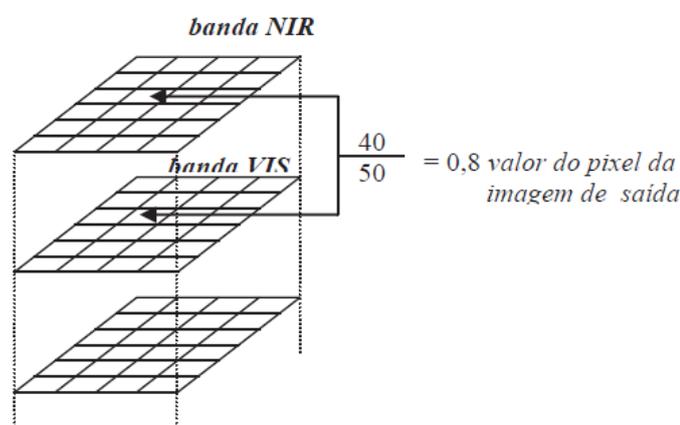


FIGURA 2: Processo de divisão de duas bandas.

Fonte: Meneses e Almeida, 2012, p. 138.

No sensoriamento remoto, é importante destacar que a “aparência” da vegetação, seja floresta, campo, cultura agrícola, pasto etc. é fruto de uma série de fatores, que vão além das características intrínsecas da vegetação, tais como as características da folha quanto do dossel, os teores de umidade, a interferência da reflectância do solo, entre outros (ROSENDO, 2005, p.34).

Dessa forma, segundo Rosendo (2005, p. 34)

Para minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, os mais comumente empregados utilizam a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, as quais são combinadas sob a forma de razões. As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma (ROSENDO, 2005, p. 34)

A literatura apresenta vários índices, que buscam medir a biomassa ou vigor vegetativo. Propostos por diferentes autores, esses índices baseiam-se nos valores numéricos de cada pixel da imagem, combinados aritmeticamente a partir do contraste entre as respostas espectrais da vegetação nas bandas correspondentes ao vermelho e ao infravermelho (VIEIRA e SOARES, s/d, p.7).

O índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) ou NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), adotado nesse estudo, é uma técnica de realce que utiliza a divisão ou razão de bandas para discriminar sutis variações de reflectância da vegetação, destacando exclusivamente as propriedades desse alvo. Essa operação é baseada nos parâmetros físicos do sensor e no comportamento da reflectância do alvo (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 138). De acordo com Eastman (1998), citado por Rosendo (2005, p. 38) o NDVI foi apresentado por Rouse et al., em 1974.

No caso da vegetação, a maior faixa de absorção está centrada na região do espectro eletromagnético correspondente à luz vermelha visível, que nas imagens Landsat 8 equivale à banda 4 (entre 0,64-0,67 μm). A região de maior reflectância está na faixa do infravermelho próximo, equivalente à banda 5 (entre 0,85-0,88 μm) do mesmo satélite (Figura 3). Vale destacar que o fator de reflectância na região do vermelho é menos afetado pelas modificações fenológicas da planta (NOVO, 2008, p. 233).

O NDVI é calculado segundo a razão que envolve diferença e a soma entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, conforme a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Vieira e Soares (s/d, p. 7) afirmam que “Ele expressa a diferença entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma de suas bandas. É o índice de vegetação mais utilizado”.

Segundo Meneses e Almeida (2012, p. 148)

Os valores de NDVI computados variam de -1 a +1. A vantagem do NDVI sobre o RVI⁸ é que ele tende a ser linearmente mais proporcional à biomassa. Também é mais apropriado quando se pretende fazer comparações ao longo do tempo de uma mesma área, pois é esperado de ser menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas. (Meneses e Almeida, 2012, p. 148).

Dessa forma, o NDVI foi utilizado por ter sido considerado o mais adequado para esse estudo.

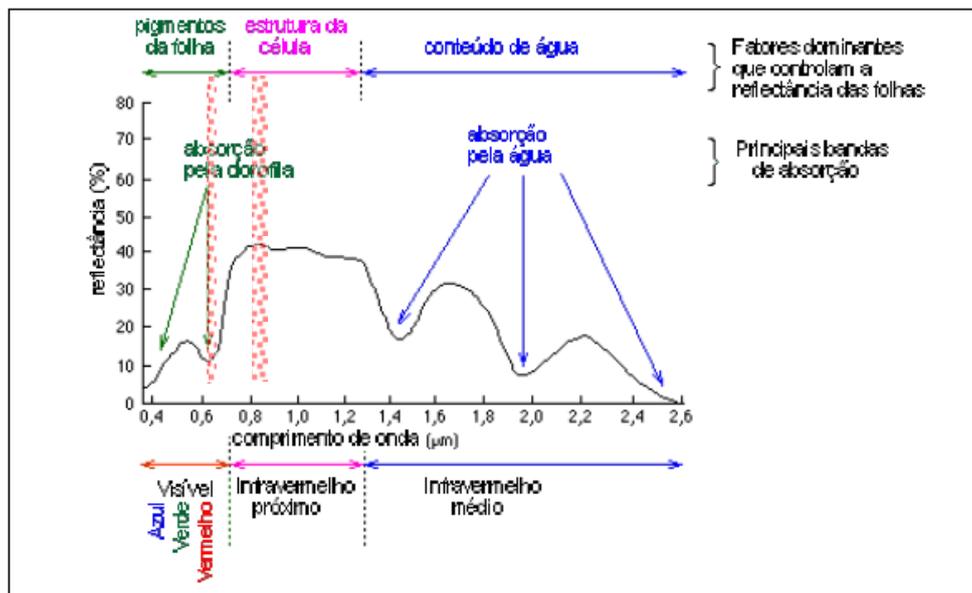


FIGURA 3: Curva média de reflectância de vegetação fotossinteticamente ativa no espectro eletromagnético, com destaque para as faixas do vermelho e infravermelho próximo.

Fonte: Adaptado de Araújo, 1999, p. 29.

2.6. Mosaico multitemporal por operador de máxima

O mosaico multitemporal é obtido por meio do processamento digital de imagens pelo método de operador de máxima, que é a combinação pixel a pixel de diferentes imagens, com a finalidade de realçar áreas de interesse. Essa combinação se dá pela regra matemática da soma de bandas de datas de aquisição diferentes. Nesse trabalho, foi realizada para a área de estudo a combinação de imagens processadas para o cálculo do NDVI, obtidas em diferentes datas. A soma dessas

⁸ O Índice de Vegetação de Razão (IVR) ou RVI (Ratio Vegetation Index) é obtido pela divisão dos pixels da banda do infravermelho próximo pelos pixels correspondentes da banda do vermelho, representado pela equação: $RVI = NIR/RED$ (VIEIRA e SOARES, s/d, p.7).

imagens resultou em um mosaico, em forma de imagem única, que realçou as áreas com maiores valores do NDVI. Dessa forma, a soma serve para realçar as similaridades espectrais entre as imagens de diferentes datas (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 138).

Assim, o mosaico permite visualizar o resultado em uma única imagem, obtida de um conjunto de dados *raster*, a partir da combinação de diferentes imagens, adquiridas em diferentes datas.

3. Materiais e métodos

3.1. Definição e caracterização da área de estudo

Inserida na região norte de Minas Gerais, a área de estudo – bacia hidrográfica do rio Riachão (Figura 4) – localiza-se entre as latitudes 16° 20' e 15° 40'S e longitudes 43° 41' e 44° 17'W. Na gestão dos recursos hídricos, faz parte da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos dos rios Jequitaí e Pacuí-SF6, conforme mostrado na Figura 1, página 8.

Essa bacia foi selecionada devido ao fato de ser uma bacia em situação crítica de escassez hídrica, onde as demandas de água para as atividades humanas, principalmente a agricultura, superou a disponibilidade hídrica. A intensificação desordenada do uso da água para irrigação ocasionou o esgotamento em vários cursos de água perenes na bacia, acarretando conflitos entre usuários (PEREIRA, 2005).

No alto curso do Riachão concentra-se a agricultura irrigada por pivôs centrais, atividade que na época de estiagem torna intermitente determinados trechos do rio. A população ribeirinha que mora no médio e baixo curso do Riachão também é afetada por essa situação. Essa população utiliza a água do rio para irrigação de hortaliças e lavoura de subsistência, com predomínio de produção de arroz, milho, feijão, cana-de-açúcar, mandioca e hortifrutigranjeiros (AFONSO, 2008).

A bacia do Riachão se destaca pela produção agrícola predominantemente irrigada. Devido ao intenso uso de recursos hídricos pela agricultura, associado à baixa disponibilidade hídrica dos rios da região semi-árida, os conflitos pelo uso da água nessa bacia são registrados desde a década de 80 (ANA, 2011).

O rio Riachão é o principal contribuinte da margem direita do rio Pacuí, que deságua no rio São Francisco. Percorre uma extensão de 94 km, drenando áreas do municípios de: Montes Claros, Coração de Jesus, Brasília de Minas e Mirabela. Encontra-se sob o clima subúmido seco, próximo à fronteira com o semi-árido. A estação úmida é curta e chuvosa, correspondendo aos meses mais chuvosos de verão (novembro, dezembro e janeiro). Os meses de junho, julho e agosto são os meses mais secos. A precipitação média anual é de 1.098mm, considerando o período de 1969 a 1995. A área sofre a influência da massa tropical atlântica que, ao chegar à região, já se apresenta com pouca umidade. Caracteriza-se por elevadas temperaturas (média de 27°C) e chuvas escassas (em torno de 750 mm/ano), irregulares e mal distribuídas durante o ano (SEMAD e BRASOL, 2010).

O alto curso do rio Riachão tem sido palco de disputas pelo uso da água desde a década de 1980, contexto que provocou várias tentativas de soluções para a alocação das águas superficiais e subterrâneas entre os diversos usuários dos recursos hídricos. O rio e seus afluentes, muitos deles intermitentes, drenam uma área aproximada de 1.130km². As políticas de desenvolvimento implantadas na segunda metade da década de 1960 geraram uma grande mudança da paisagem regional devido à crescente utilização da água, tanto superficial quanto subterrânea, ocasionando grave desequilíbrio dos recursos hídricos e na vida socioeconômica da maioria da população.

Assim, ainda na década de 90, a utilização das águas para instalação de projetos de irrigação é bastante intensiva, e em 1995 o rio secou pela primeira vez. A partir de 1996, foram estabelecidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM-MG) e pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) algumas deliberações normativas e dentre estas se destaca a manutenção de vazão mínima de 120 L/s, à jusante da Lagoa Tiririca, onde nasce o rio Riachão, com o objetivo de assegurar disponibilidade hídrica aos irrigantes da bacia.

Parte da deficiência hídrica superficial da bacia é suprida pela oferta de água subterrânea. Pelos cadastros disponíveis na época da elaboração do Plano de Recursos Hídricos, existem cerca de 3.800 poços tubulares subterrâneos em operação. Entretanto, estima-se que haja quase a mesma quantidade de poços funcionando sem estarem cadastrados ou regularizados.

Ocorre a utilização concentrada dos recursos hídricos na área do entorno da lagoa Tiririca, com poços tubulares de grande capacidade de produção para uso agrícola, enquanto no restante da área, de menor capacidade de produção, verificam-se baixa densidade de poços com volume explorador muito inferior as suas capacidades de produção.

A relativa baixa densidade demográfica das bacias não se constitui fator de pressão de demanda sobre os recursos hídricos, senão em alguns trechos de potenciais conflitos pelo uso da água, no alto curso do Riachão, onde ocorrem conflitos entre grandes e pequenos irrigantes. Essa área apresenta aquíferos cársticos que se interconectam com os recursos hídricos superficiais.

É uma bacia que, em termos legais da gestão de recursos hídricos, está “*sub judice*”, ou seja, a concessão de novas outorgas está suspensa e a renovação das existentes ainda não foi autorizada.

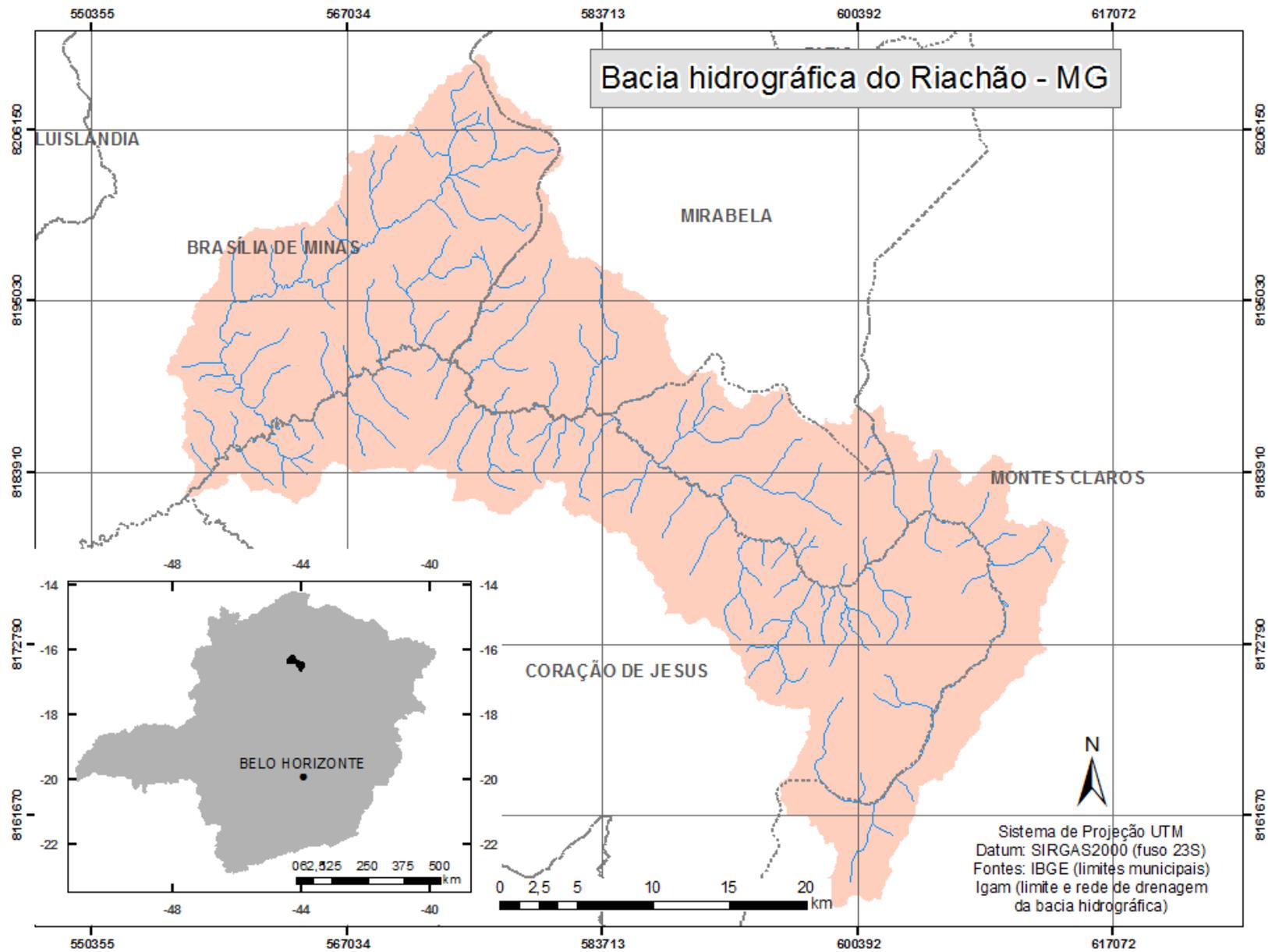


FIGURA 4: Localização da área de estudo: rede hidrográfica e limites municipais na bacia do rio Riachão.

3.2. Base de dados

Para a realização do estudo, foi utilizada a seguinte base de dados:

- Planilhas de dados das captações superficiais e subterrâneas outorgadas pelo estado de Minas Gerais na bacia hidrográfica. Esses dados foram extraídos do banco dados do Sistema de Informação Ambiental (SIAM).
- Base hidrográfica da rede de drenagem, unifilar e unidirecionada, vetorizada a partir do mapeamento sistemático nacional, na escala de 1:100.000, fornecida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Essa base permite visualizar os cursos de água e seus atributos.
- Imagens orbitais Landsat 8, referentes aos meses de maio, julho e outubro de 2013, disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Essas imagens referem-se ao período de estiagem do ano, quando a atividade de irrigação é mais acentuada e há aumento do contraste com as áreas não irrigadas.

TABELA 3: Cenas e data de aquisição das imagens Lansat 8 utilizadas no estudo.

Mês	Cena	Cena Landsat 8	Data da aquisição
MAIO	1	LC82180712013125LGN01	2013-05-31
	2	LC82190712013132LGN01	2013-05-31
	3	LC82180722013125LGN01	2013-05-31
JUNHO	1	LC82180712013189LGN00	2013-07-08
	2	LC82190712013196LGN00	2013-07-15
	3	LC82180722013189LGN00	2013-07-08
OUTUBRO	1	LC82180712013285LGN00	2013-10-19
	2	LC82190712013276LGN00	2013-10-17
	3	LC82180722013285LGN00	2013-10-19

3.3. Desenvolvimento metodológico

Segue abaixo o fluxograma das etapas de realização desse estudo:

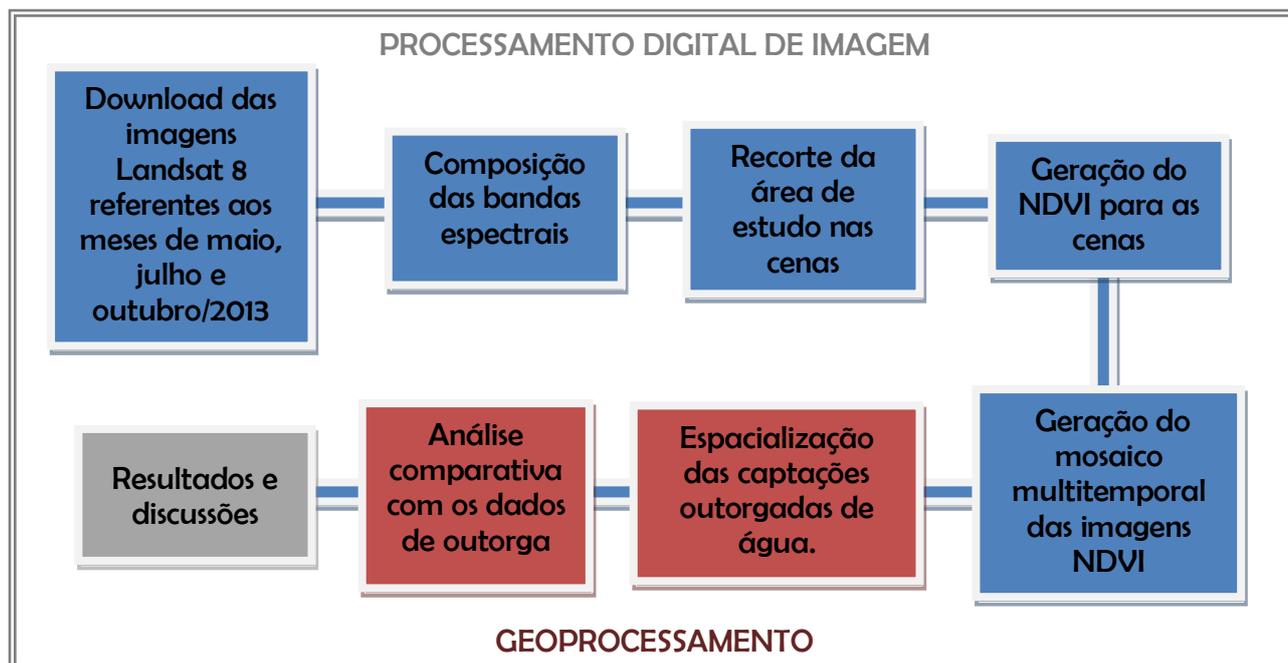


FIGURA 5: Diagrama do desenvolvimento metodológico do estudo.

Sobre a aquisição dos dados:

- 1) Foi feito o *download* das imagens orbitais Landsat 8 referentes aos meses de maio, julho e outubro de 2013, que correspondem ao período seco do ano e com percentual de cobertura de nuvens menor que 10%. O acesso se dá por meio de duas ferramentas eletrônicas (Glovis e EarthExplorer). As imagens podem ser acessadas pelos endereços <http://glovis.usgs.gov/> e <http://earthexplorer.usgs.gov/>.⁹
- 2) Os limites das microbacias do rio Riachão foram gerados com a utilização do Modelo Digital de Elevação (MDT) do SRTM (*Space Shuttle Radar Topographic Mission*), reamostrado para 25 m de resolução espacial para reduzir o “efeito de escala”. A rede de drenagem foi obtida pelo mapeamento sistemático nacional (IGAM, 2012).
- 3) A base de dados de outorgas, que se constitui na base de dados de usos regulares de recursos hídricos oficial do estado, apresenta as coordenadas geográficas de cada captação ou poço dos usuários de água que buscou regularizar a situação de uso de recursos hídricos. Daí a base conter tanto as outorgas concedidas quanto as indeferidas, bem como os pequenos usuários registrados sob “cadastro de uso”. Além das coordenadas dos pontos de captação de água, citam-se como dados relevantes para o gerenciamento da demanda e disponibilidade, a vazão captada por mês e a finalidade do uso (irrigação, dessedentação de animais, consumo humano etc.).

⁹ Acessos no período de 22 a 28 de outubro de 2013.

Sobre a metodologia de identificação das áreas irrigadas, é importante destacar que sua aplicação é iniciada com a geração da imagem NDVI e formação do mosaico multitemporal, onde prevalece o operador de máximo valor do pixel (Figura 6). Dessa forma, as áreas que apresentarem altos valores de NDVI ao longo do tempo, visualizadas na imagem final como as áreas mais brancas, são as que caracterizam atividade irrigada.

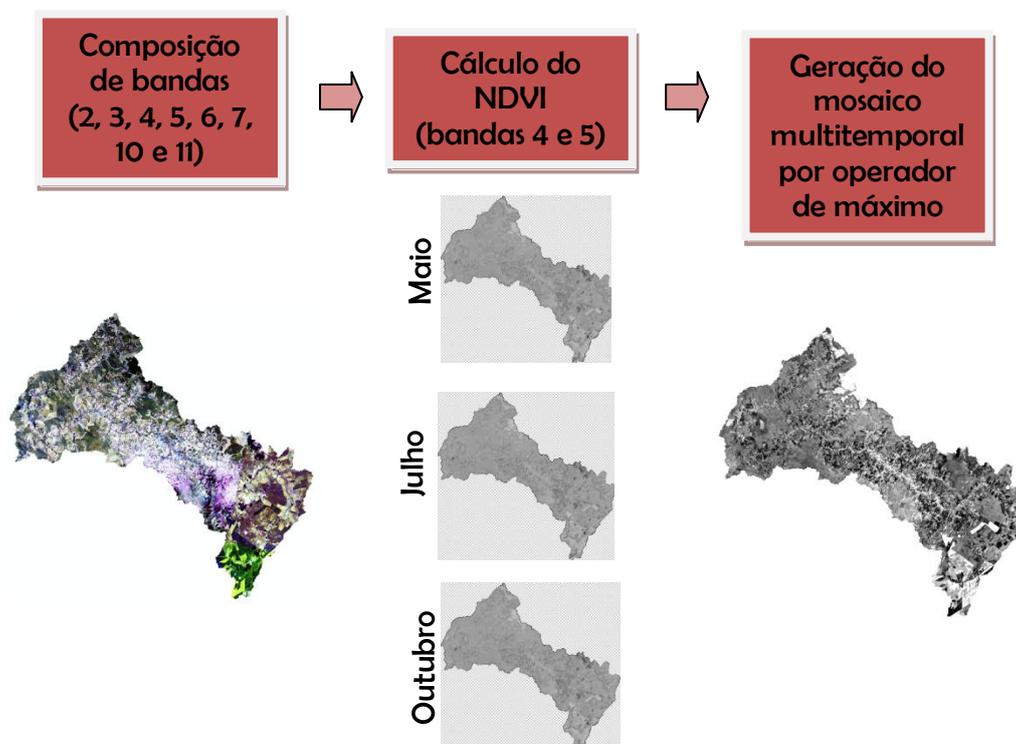


FIGURA 6: Representação esquemática da metodologia do processamento digital de imagens.

As etapas e técnicas de Processamento Digital de Imagens seguiram a seguinte ordem cronológica:

- 1) Composição de bandas, que é a transformação pelo empilhamento em um único raster de cada uma das bandas isoladas das cenas das imagens orbitais que cobrem a área de interesse. Para esse estudo, foram selecionadas as bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 e 11. Essa etapa foi realizada no software ENVI versão 4.7 de processamento de imagens de sensoriamento remoto. Excluíram-se as bandas 1 e 8, a primeira por não ter aplicabilidade no presente estudo e a segunda por aumentar o tempo de processamento das imagens e não contribuir diretamente nos resultados da geração do índice de vegetação NDVI, a não ser para a melhoria da resolução espacial.
- 2) O recorte da área de estudo, que se localiza na junção de 3 diferentes cenas, foi feito a partir de delimitação de polígono envolvente da bacia hidrográfica do rio Riachão. Foram utilizadas ferramentas de edição do software ArcGIS versão 10.0.

- 3) Procedeu-se à aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para cada cena. Essa etapa utilizou a ferramenta de transformação NDVI do ENVI 4.7, que gerou as imagens tendo as bandas 4 (vermelho) e 5 (infra-vermelho próximo) como parâmetro de cálculo.
- 4) Após as etapas anteriores, foi gerado no ArcGIS 10.0 o mosaico temporal das imagens NDVI, utilizando o operador de máximo valor entre os pixels sobrepostos. Essa operação consistiu na junção das diferentes imagens NDVI em um novo *raster*, que representa a síntese da evolução da área vegetação nos três meses de estudo (maio, julho e outubro).

4. Resultados e discussões

O mosaico temporal das imagens geradas pela aplicação do índice de vegetação NDVI resultou em uma imagem em tons de cinza (Figura 9), onde as áreas de maior brilho (mais claras) apresentam ocorrência de vegetação nos meses de maio, junho e outubro, inferindo-se, pela análise espacial da forma e do contexto, serem de mata ciliar ou área irrigada.

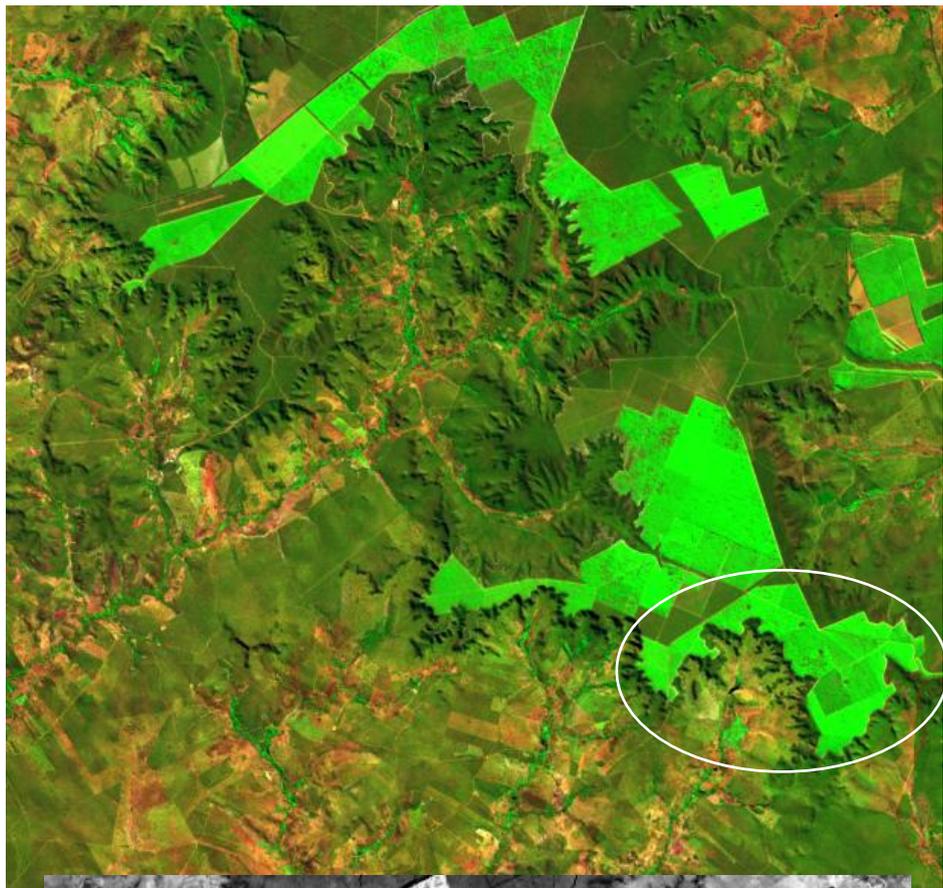
De modo geral, a análise visual do produto gerado corrobora as informações apresentadas na caracterização da área de estudo, onde as maiores extensões de áreas irrigadas estão concentradas no alto curso do rio Riachão (entorno da vereda do Acururi), no extremo sul da bacia (Figura 7), e no extremo norte, nas cabeceiras do rio São Lourenço e ribeirão das Pedras (Figura 8). Boa parte dessas áreas utiliza água subterrânea para a irrigação, conforme verificado na base de dados de captações outorgadas.

Analisando-se os pares de imagens das figuras 7, 8 e 9 – a primeira, Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2, que melhor retrata atividade agrícola, e a segunda, mosaico multitemporal NDVI – constata-se:

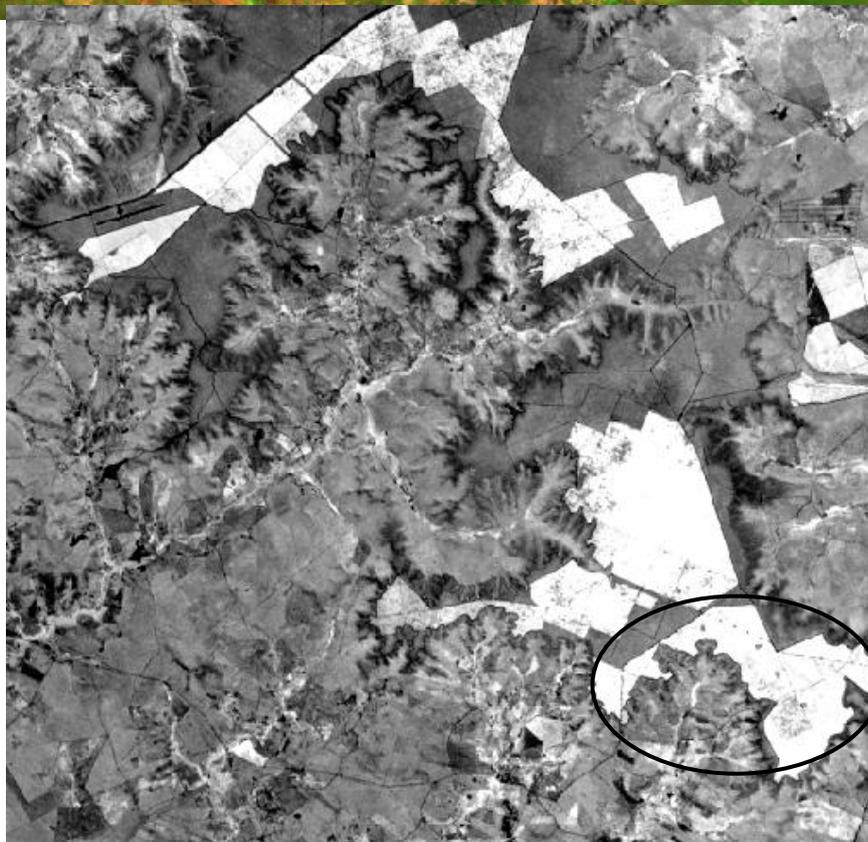
- Na imagem 7 (alto curso do rio Riachão): ocorrência de parcelas irrigadas ao longo do período de estudo. Essas parcelas irrigadas são evidenciadas no mosaico multitemporal pelas áreas mais claras. Em contraposição, quanto mais rara a vegetação e mais solo exposto, mais escuras aparecem essas áreas;
- Na imagem 8 (área no baixo curso do Riachão): observam-se chapadas cobertas por uso agrícola do solo;
- Na imagem 9 (médio curso do Riachão): ocorrem áreas de cultivos em pequenas extensões, espacialmente dispersas. Registra-se nesse trecho a relevância da metodologia aplicada, que permite identificar essas áreas com maior segurança.



FIGURA 7: Áreas irrigadas no alto curso do rio Riachão (imagem Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2 e mosaico multitemporal NDVI).



Chapada ocupada por agricultura irrigada



Chapada ocupada por agricultura irrigada (área clara)



0 0,75 1,5 3 4,5 6 km

FIGURA 8: Áreas irrigadas nas chapadas das cabeceiras do rio São Lourenço (imagem Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2 e mosaico multitemporal NDVI).

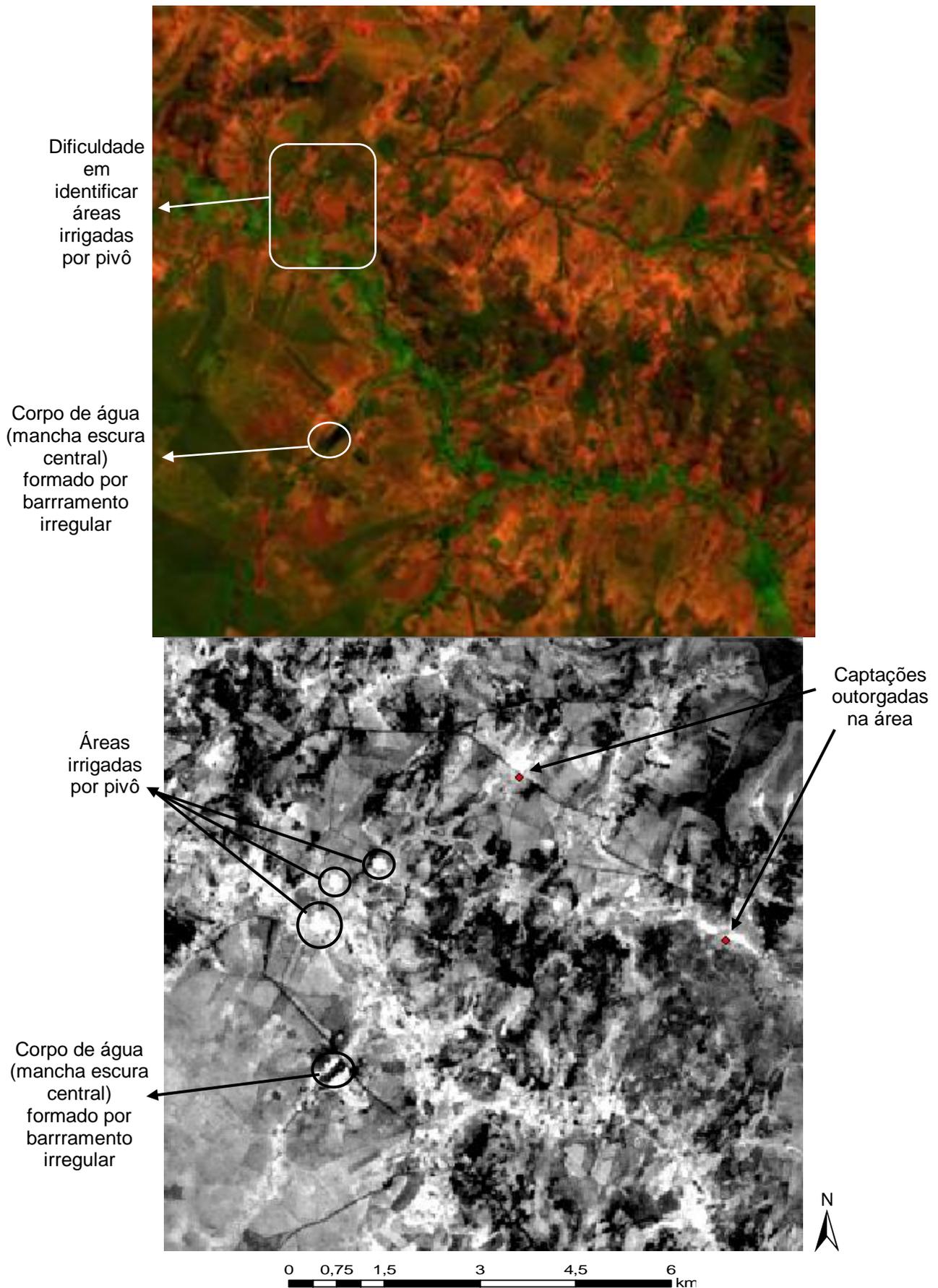


FIGURA 9: Médio trecho do rio Riachão, com destaque para barramento irregular e pequenas áreas irrigadas por pivôs, também sem outorga (imagem Landsat 8, de julho de 2013, RGB das bandas 6, 5 e 2 e mosaico temporal NDVI)

Em uma análise mais generalizada, é possível perceber que no médio trecho do rio Riachão concentram-se os usos irrigados em pequenas extensões de área. Ao se verificar a base de usos regularizados, constatam-se apenas 3 captações de água regularizados. Situação semelhante ocorre no baixo curso do Riachão, onde as atividades ocorrem de forma espacialmente dispersas e isoladas.

Com o intuito de melhorar a distinção dos alvos de interesse, é relevante adotar o procedimento de fusão da imagem referente à banda 8 (pancromática) do Landsat 8, antes da etapa de composição de bandas e geração do NDVI. Isso porque a banda em questão apresenta a resolução espacial de 15m, em contraposição às demais utilizadas (de 30m e 100m), contribuindo, assim, para aumentar a resolução espacial do produto gerado (mosaico temporal de imagens).

Destaca-se que é interessante que o mosaico temporal de imagens NDVI seja construído com imagens que considerem, além dos meses secos do ano, o ciclo fenológico das culturas cultivadas na área. Essa informação pode ser obtida por meio de trabalho de campo ou pela consulta ao relatório técnico de solicitação de outorga, documento físico apresentado pelo usuário ao Igam, que se encontra no arquivo inativo do Instituto.

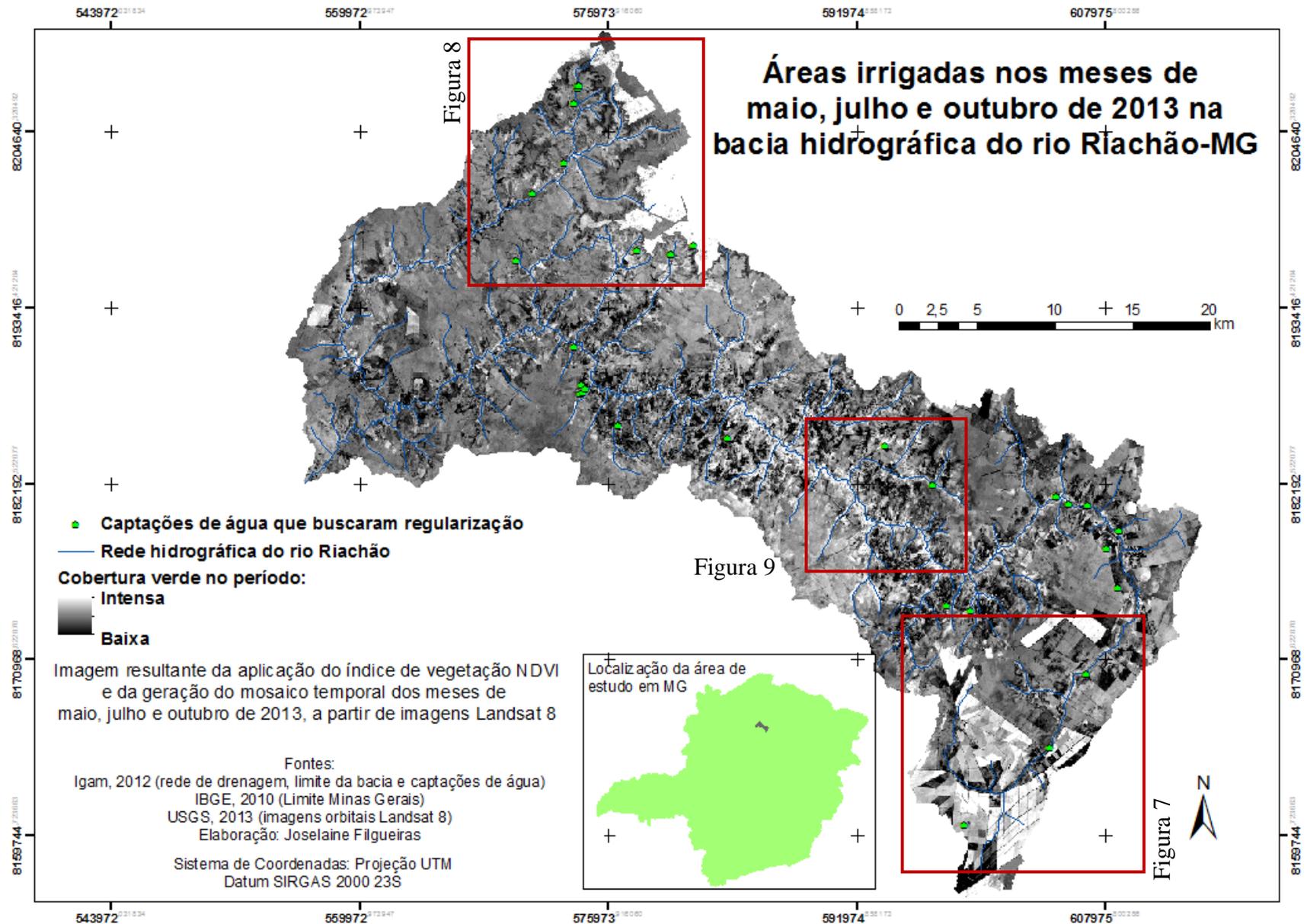


FIGURA 10: Mosaico temporal NDVI dos meses de maio, junho e outubro de 2013 da bacia hidrográfica do rio Riachão-MG.

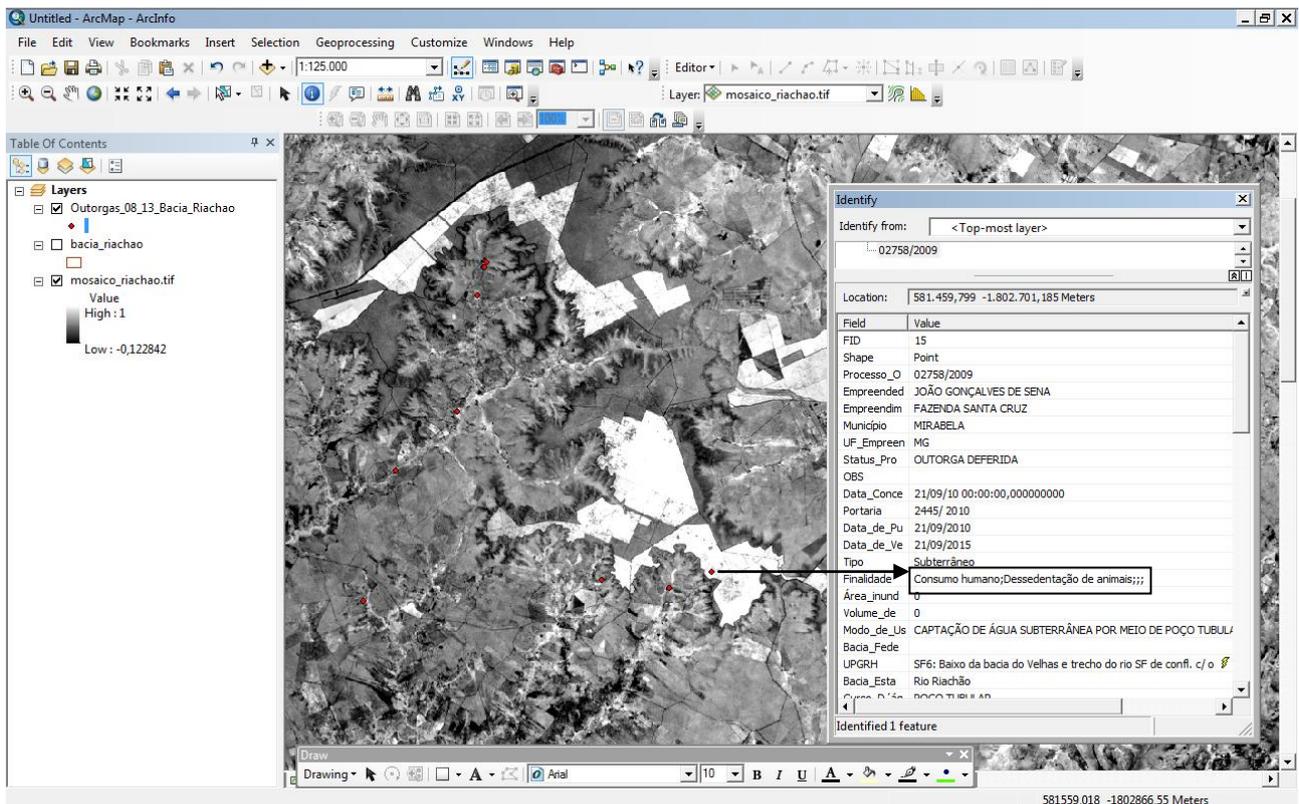


FIGURA 11: Correlação entre base de dados do IGAM e seu respectivo de ponto de captação espacializado, denotando inconsistência de informações.

Ao ser espacializada, a base de dados de outorga apontou algumas inconsistências, passíveis de verificação. Essas inconsistências tanto podem ser na entrada dos dados ou na finalidade de uso outorgado, que no caso, deve ser fiscalizada. Cita-se o exemplo retratado na Figura 11. As informações da captação afirmam que as suas finalidades de uso são consumo humano e dessedentação de animais. No entanto, ao verificar a localização do ponto de captação, percebe-se que está inserido em uma extensa área irrigada, incongruente com a finalidade de uso registrada.

Ao observar as informações dos 2 pontos de captação em regularização do alto curso do Riachão (Figura 12), constatou-se tratar de área potencial para fiscalização do uso dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que o mosaico NDVI permitiu visualizar parcelas que foram irrigadas no período de análise (meses de maio, junho e outubro), embora haja o registro no sistema de apenas 2 pontos de captação. Vinculado a um dos pontos há a informação de que a outorga não pode ser concedida por localizar-se na bacia do rio Riachão (a concessão de outorgas está suspensa na bacia) e ao outro ponto a informação de que a outorga foi cancelada em 2007.

Com o intuito de fiscalizar os usos de recursos hídricos, é imprescindível a análise visual do mosaico NDVI associada à verificação da situação do ponto de captação na base de dados de usos regularizados de recursos hídricos (status e período de vigência da concessão). A análise por consulta ao banco de dados está impossibilitada pela atual modelagem do banco de dados, que não permite realizar consultas em linguagem estruturada ou SQL (*Structured Query Language*), o que impede a verificação de forma mais sistemática.

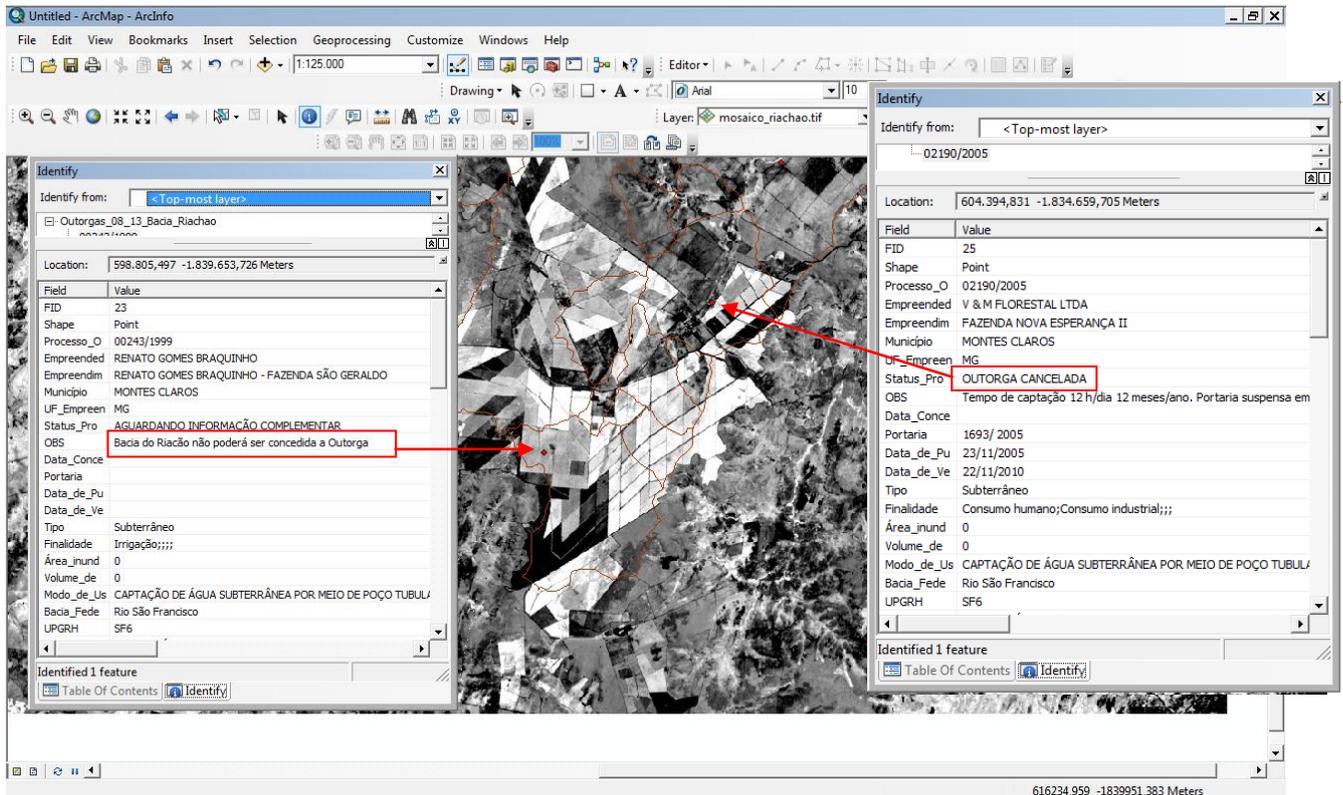


FIGURA 12: Relação entre informações da base de dados do IGAM e seus respectivos pontos de captação especializado.

5. Conclusões e considerações finais

A metodologia empregada nesse estudo, fundamentada nos usos do NDVI e do mosaico multitemporal, onde prevalece o operador de máximo valor do pixel para identificação de áreas irrigadas, se mostrou bem satisfatória, atendendo ao propósito de ser utilizada como estratégia para subsidiar a definição logística da fiscalização dos usos de recursos hídricos em bacias de conflito.

O seu diferencial é o fato de ser altamente replicável para outras áreas e facilmente aplicável, por se constituir em um método simples, mas ao mesmo tempo robusto, pelo resultado alcançado.

O uso das imagens Landsat 8 é promissor, uma vez que é esperado do programa um horizonte de muitos anos de aquisição de imagens, dado a confiabilidade e a história do programa Landsat. Há ainda o fato de que as imagens são adquiridas pré-processadas (corrigidas radiometricamente e ortorretificadas), o que dinamiza a sua utilização; apresentam boa resolução temporal (revisita à área em 16 dias) e são disponibilizadas gratuitamente, o que não gera custos para o usuário, no caso, o governo estadual. Considerando que as primeiras imagens foram geradas em março de

2013, apresentam possibilidades interessantes para emprego atual e futuro no gerenciamento de recursos hídricos.

Em linhas gerais, o método mostrou-se eficiente, rápido e de baixo custo para o monitoramento das áreas suspeitas de uso irregular de irrigação agrícola, passível de ser expandido para todo o Estado de Minas Gerais como ferramenta de apoio à fiscalização e à gestão do uso das águas para as autoridades competentes.

Em uma última reflexão, é importante registrar que o conflito pelo uso da água na bacia do rio Riachão pode ser considerado um conflito socioambiental que só será dirimido ao se associar à política de coerção e controle outras ações que harmonize a co-existência entre a pequena agricultura tradicional, de policulturas em pequenas extensões de áreas, com a agricultura de exportação.

6. Referências bibliográficas

AFONSO, P. C. S., JUNIOR, J. C. **Gestão e disputa pela água na sub-bacia do Riachão, Montes Claros – MG.** Dissertação. UFU, Uberlândia, 2008. Disponível em: <http://www.lagea.ig.ufu.br/biblioteca/dissertacoes/PriscillaCairesSantanaAfonso.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2013.

Água Consultores Associados Ltda; IGAM; COPASA. **Estudo Hidrológico da Bacia do Alto-Médio Rio Riachão.** Relatório Final – vol. 01, Belo Horizonte: 1999 (mimeo).

ANA. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande –** Relatório síntese. Versão para discussão na Câmara Técnica de Cobrança do CBH Verde Grande. Brasília: 2011.

ARAÚJO, L. S. I. **Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dado TM/Landsat e JERS-1.** Dissertação (INPE-7253-TDI-696) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 129 p. 1999. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/2000/07.19.09.09/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 27 de novembro de 2013.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M.L.; ESPINDOLA, G. M de. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal. Anais... São Paulo: INPE, 2009. p. 7619-7622. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.18/doc/7619-7622.pdf>. Acesso em: 23 de outubro de 2013.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto.** Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, 2005. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf. Acesso em: 12 de novembro de 2013.

IBGE. Mapa de Clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IGAM. **Relatório da Campanha de Regularização do Uso da Água em Minas Gerais –** Documento síntese. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2009.

IGAM. **Construção de base ottocodificada de Minas Gerais –** Manual técnico. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2012.

LANNA, A. E. L. (1997). **Modelos de gerenciamento das águas.** A Água em Revista, Rio de Janeiro, v.5, n.8, p.24-33, 1997.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (org.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** UnB, CNPq. Brasília: 2012.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 3ª Ed. revista e ampliada. São Paulo: Ed. Blucher, 2008.

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; NOVAES, L.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Análise do comportamento hidrológico no rio Verde Grande. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, n.1, p.55-60, 2005.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso e cobertura vegetal na bacia do rio Arguari-MG utilizando dados do sensor MODIS.** Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Gestão do Território. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 131 p. 2005. Disponível em: http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/jussara_santos.pdf. Acesso em: 27 de novembro de 2013.

SEMAD (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável) e BRASOL (Brasil Ação Solidária). Plano Diretor das Bacias Hidrográficas dos Rios Jequitaiá, Pacuí e trechos do rio São Francisco. Semad: Belo Horizonte, 2010.

SILVA, D. D da. **Fortalecimento do sistema de gestão de recursos hídricos no Brasil e na Bacia do Rio Doce**. Programa de Capacitação e Difusão Tecnológica para a Gestão das Águas. Módulo 3. UFV, CBH-Doce, CNPq e ANA. Viçosa: 2010.

UNESCO. **Managing Water under Uncertainty and Risk**. The United Nations World Water Development Report 4 – WWDR4. Volume 1. 2012. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>. Acesso em 10 de outubro de 2013.

USGS. Landsat 8. United States Geological Survey. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. Acessos em novembro de 2013.

VIEIRA, C. A. O; Soares, V. P. **Processamento Digital de Imagens**. Projeto UFV Geocapacitar. UFV. Viçosa, s/d. Disponível em: http://www.ufv.br/nugeo/pag/PROEXT/UFVGeocapacitar_SensoreiamentoRemoto.doc. Acesso em: 11 de outubro de 2013.