

Análise das áreas de preservação permanente no entorno das nascentes utilizando imagens de satélite

José Rafael Gonçalves Ribeiro¹, Débora Paula Simões²,
Camila Souza dos Anjos³, Paulo Augusto Ferreira Borges⁴

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, Discente. jose.rafael@alunos.ifsuldeminas.edu.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, Docente. debora.simo@ifsuldeminas.edu.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, Docente. camila.lacerda@ifsuldeminas.edu.br

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, Docente. paulo.borges@ifsuldeminas.edu.br

Recebido em: 07/12/2021

Aceito em: 19/09/2022

Resumo

O uso do Sensoriamento Remoto e do Processamento Digital de Imagens está cada vez mais presente no monitoramento e análise de dados ambientais, especialmente devido à facilidade de obtenção de imagens orbitais e aos avançados métodos de classificação de imagens. A avaliação temporal da restauração da vegetação nativa em torno de nascentes é de suma importância para a proteção dos recursos hídricos. Tendo em vista a preservação dessas fontes, o município de Extrema/MG desenvolveu, entre os anos de 2005 e 2015, o projeto Conservador das Águas, envolvendo 380 nascentes. A fim de quantificar e analisar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno desses corpos d'água, realizou-se o presente estudo. Por meio de imagens orbitais gratuitas, com resolução espacial de 30 m, adquiridas pelos satélites Landsat-7 e Landsat-8 nos anos de 2003 e 2021, respectivamente, e adotando-se a classificação orientada a objeto, avaliou-se a área total pertencente às APPs de nascentes regeneradas ao longo de 18 anos. Foi possível constatar que o sucesso do projeto Conservador das Águas proporcionou uma regeneração total de mais de 82% do entorno das nascentes envolvidas até o ano de 2021.

Palavras-chave: APPs. Nascentes. Lei 12.651/2012. Imagens Orbitais. Landsat. Processamento Digital de Imagens.

Introdução

Por meio do uso de sensores e imagens orbitais, bem como de técnicas de Processamento Digital de Imagens, é possível realizar a aplicação do Sensoriamento Remoto em diversas áreas de estudo, como no monitoramento de usos do solo, desmatamento, reflorestamento, manejo dos recursos hídricos, monitoramento de eventos catastróficos, monitoramento da degradação e erosão de solos e estudo das mudanças climáticas (ANDRADE, 2011; LIU, 2015).

A constante evolução do Sensoriamento Remoto, aliado ao Processamento Digital de Imagens, contribui para o aprimoramento de técnicas que auxiliam na execução de pesquisas científicas, como a classificação supervisionada orientada a objeto. Essa metodologia é realizada sobre segmentos da imagem (objetos) e não considera somente as características espectrais de cada pixel individualmente, mas também as

características espectrais dos pixels vizinhos que formam um objeto (segmento) (JENSEN, 2011).

Nesse sentido, grande parte das informações necessárias para o manejo e conservação dos recursos naturais pode ser extraída de imagens pelo processo digital da classificação orientada a objeto, e o mapa, resultado desta classificação, pode ser utilizado em um sistema de informações geográficas (SIG) para análise espacial aplicada na análise de impacto ambiental, monitoramento da cobertura vegetal e estudos da paisagem (CAMPOS, 2005).

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) incluem áreas de mata protegida em torno de nascentes com o objetivo de preservar os recursos hídricos, proporcionando a infiltração e a drenagem pluvial, contribuindo para a recarga dos aquíferos e evitando enxurradas, inundações e enchentes (FELIPPE, 2009). Assim, destaca-se o potencial da classificação orientada a objetos

para quantificar e avaliar as APPS no entorno de nascentes, as quais constituem elementos essenciais na dinâmica hidrológica, pois são responsáveis pela passagem da água subterrânea para a superfície e pela formação dos canais fluviais (FELIPPE, 2009).

Sendo as nascentes o afloramento natural do lençol freático com perenidade e que dá início a um curso d'água, ressalta-se a importância da preservação e da recuperação da vegetação no seu entorno para a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, a fim de garantir a estabilidade dos solos, atuar como corredor para a fauna e evitar o assoreamento dos cursos d'água (BRASIL; FARIA, 2012).

Nesse contexto, salienta-se que as ações para a preservação de nascentes são indispensáveis, visto que são consideradas um recurso natural de grande valor econômico, social e ambiental (WINER, 2017). Efetuar o mapeamento das APPs auxilia no seu monitoramento, facilitando sua quantificação e fiscalização para que atendam às normas estabelecidas pelo novo Código Florestal (PESSI, 2018).

Tendo em vista a relevância da preservação das nascentes para a conservação das águas, o município de Extrema, localizado no sul de Minas Gerais, desenvolveu, entre os anos de 2005 e 2015, o projeto conhecido como Conservador das Águas, cujo principal objetivo foi a recuperação e manutenção das nascentes localizadas no perímetro municipal. O projeto obteve como resultado o plantio de um milhão de árvores nativas, 6.135 ha protegidos e mais de 180 contratos efetivados com proprietários rurais que aderiram ao projeto para a conservação das nascentes (PEREIRA, 2017).

Analisando o grande potencial do uso de imagens obtidas por sensores a bordo de satélites orbitais para monitorar e detectar mudanças na cobertura florestal sobre grandes áreas geográficas (MUCHONEY; HAACK, 1994), bem

como a necessidade da avaliação e quantificação das APPs recuperadas no entorno das nascentes envolvidas no projeto, tem-se como objetivo, no presente estudo, quantificar as APPs no entorno das referidas nascentes no município de Extrema/MG, fazendo uso de imagens orbitais e classificação orientada a objetos.

Como o intuito principal do presente trabalho é a quantificação das APPs recuperadas em torno das nascentes envolvidas no projeto, espera-se que, a partir dos resultados obtidos, as APPs de cada uma das nascentes atendam às diretrizes determinadas pelo novo Código Florestal, o qual define que estas deverão ter raio mínimo de 50 m (BRASIL, 2012).

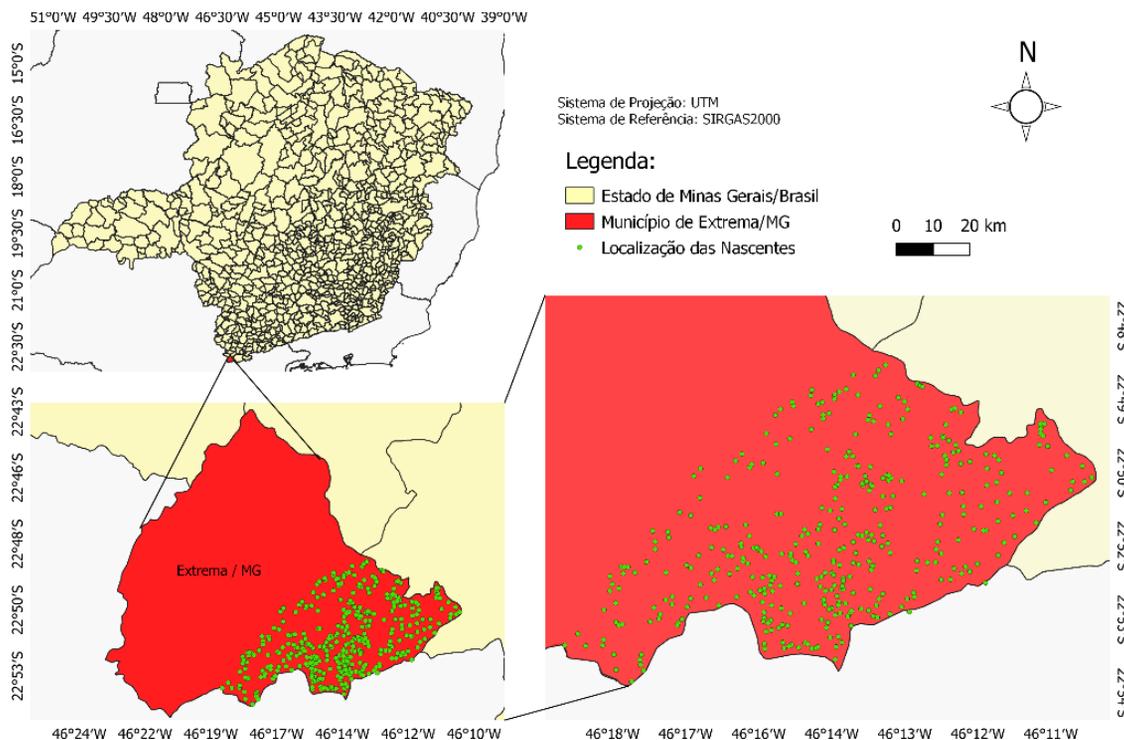
Material e métodos

As nascentes envolvidas no projeto Conservador das Águas, cujas APPs são objeto de estudo neste trabalho, localizam-se no município de Extrema, cidade no sul de Minas Gerais (22°51'17"S, 46°19'06"W), fazendo divisa com o estado de São Paulo (Figura 1).

O fluxograma (Figura 2) destaca a sequência metodológica. A princípio, para definição da localização correta da área de estudo e posterior aquisição das imagens orbitais da referida área, solicitaram-se à Prefeitura Municipal de Extrema os dados referentes às nascentes que fizeram parte do projeto Conservador das Águas, adquirindo-se um arquivo *shapefile* com a localização de 380 nascentes envolvidas no projeto (Figura 1).

Em seguida, realizou-se a aquisição das imagens orbitais da área correspondente à localização das nascentes. Como o objetivo do trabalho é quantificar e analisar a recuperação das APPs como resultado da implantação do projeto, foram utilizadas duas imagens orbitais com resolução espacial de 30 m: a primeira foi obtida em 25 de maio de 2003 pelo satélite Landsat-7, data anterior ao início do projeto em

Figura 1 – Localização da área de estudo no município de Extrema/MG.



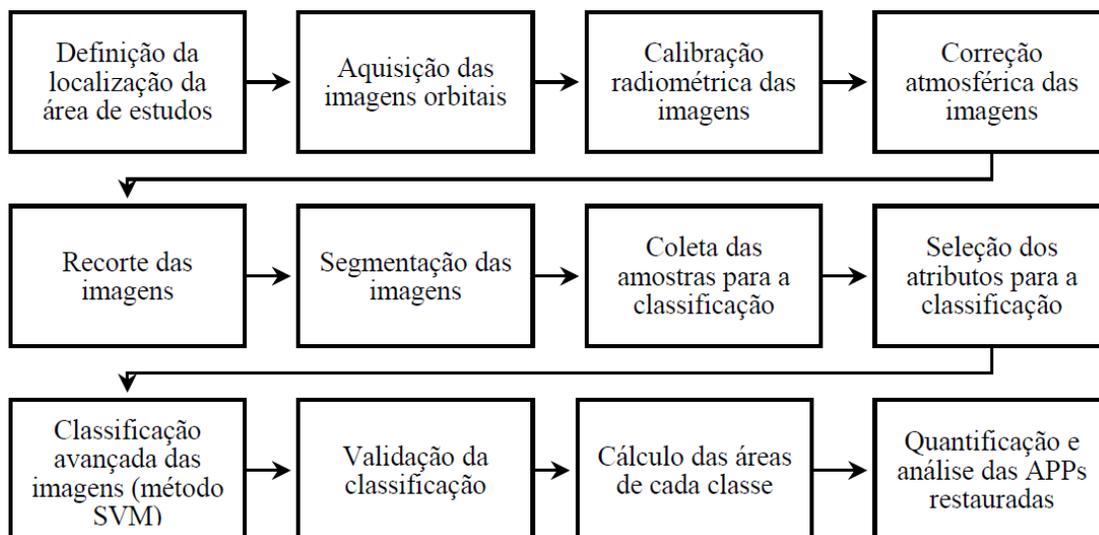
2005, e a segunda, com data de 3 de junho de 2021, pelo satélite Landsat-8, seis anos após o término do projeto Conservador das Águas.

Nesse contexto, destaca-se que é recomendável, em análises temporais por meio de imagens orbitais, que todas as imagens adotadas sejam adquiridas pelo mesmo satélite, em razão das especificidades do sensor de cada

um. Em relação às imagens adotadas no presente estudo, o sensor OLI do satélite Landsat-8 possui bandas espectrais mais estreitas, calibração melhorada, resolução radiométrica 12 bits mais alta e geometria mais precisa em comparação com o Landsat-7 ETM (ROY, 2016).

Contudo, para o trabalho em questão, ressalta-se a dificuldade em utilizar imagens

Figura 2 – Metodologia desenvolvida no trabalho.



de um mesmo satélite, visto que as imagens do satélite Landsat-7 posteriores a 31 de maio de 2003 tiveram problemas de sincronismo do *scanner*, também conhecidos como ruídos (ENGESAT, 2021).

Em consequência do problema citado, foi necessário utilizar duas imagens de satélites diferentes, sendo uma do Landsat-7 e uma do Landsat-8. As imagens do satélite Landsat-7 são disponibilizadas desde 1999 até os dias de hoje, mas com o problema de ruídos em imagens após a data de 31 de maio de 2003 (EMBRAPA, 2021). Como o satélite Landsat-8 disponibiliza imagens a partir de 2013 até os dias atuais, utilizou-se uma imagem proveniente do Landsat-7 de 25 de maio de 2003, período anterior ao surgimento dos ruídos e da implantação do projeto Conservador das Águas, e uma do Landsat-8 de 3 de junho de 2021, período posterior à finalização do projeto. As imagens provenientes do Landsat-7 e do Landsat-8 foram adquiridas pelos catálogos do Earth Explorer (USGS, 2021) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) (2021), respectivamente.

Adquiridas as imagens, realizou-se sua calibração radiométrica utilizando o *software* ENVI 5.3. A calibração radiométrica tem por objetivo transformar os números digitais presentes nas imagens em valores de reflectância, adequando os dados da imagem para uso no sensoriamento remoto (GOMES, 2020).

Contudo, os valores de reflectância, obtidos após a calibração radiométrica, não representam exclusivamente o objeto na superfície terrestre observado pelo sensor, mas, sim, uma mistura do sinal da superfície com os componentes da atmosfera, sendo necessário realizar a correção atmosférica das imagens. Esta tem como objetivo reduzir a influência da interação dos componentes da atmosfera com o sinal detectado pelo sensor, sendo viável a execução de qualquer tipo de avaliação na imagem somente após a eliminação ou a redução dos efeitos provocados

por tais componentes. Para realizar a correção atmosférica das imagens adquiridas dos satélites Landsat-7 e Landsat-8, adotou-se o *software* ENVI 5.3 (SOARES, 2015).

Realizada a correção atmosférica, delimitou-se a área de interesse de modo que esta envolvesse todas as nascentes estudadas, a fim de otimizar os processamentos. Em seguida, por meio do *software* ENVI 5.3, realizou-se o recorte das imagens. Com as imagens devidamente corrigidas e recortadas, realizou-se sua segmentação através do *software* eCognition. Esta etapa tem por objetivo fragmentar a imagem em objetos (segmentos) baseando-se em elementos de similaridade e descontinuidade de informação proveniente do comportamento da imagem em aspectos relacionados à forma e textura ou, até mesmo, no comportamento espectral que determinado conjunto de pixels pode expressar (FARIA, 2017).

No processo de segmentação, adotou-se o método *multiresolution segmentation*, no qual é necessário determinar alguns parâmetros iniciais, como escala, forma e compacidade. O parâmetro de escala utilizado foi de 15 m e os critérios de forma e compacidade foram de 0,5. A próxima etapa consistiu na determinação das classes de interesse para realização da classificação orientada a objeto. Definiram-se cinco classes: Vegetação Densa, Vegetação Rasteira, Solo Exposto, Construção e Água. Em seguida, realizou-se a coleta das amostras para cada uma das classes, procurando sempre selecionar os segmentos com um grau elevado de pureza, ou seja, amostras que melhor representassem a classe, uma vez que, a partir delas, todos os demais segmentos da imagem serão classificados. Foram coletadas, em cada imagem, 50 amostras de referência para cada uma das classes, com exceção da classe Água, para a qual foram coletadas 30 amostras, devido ao número reduzido de amostras puras do elemento analisado.

Também a partir do *software* eCognition, extraíram-se os atributos que contribuiriam para a classificação das imagens, selecionados a partir da análise visual dentre todos os atributos disponíveis no *software*, observando como cada um deles se comportava para as diferentes bandas espectrais das imagens. Nessa análise, foram selecionados 68 atributos que possuíam visualmente os resultados mais satisfatórios para a separação dos alvos, sendo eles agrupados – considerando as seis bandas espectrais da imagem – em média, moda, desvio padrão, quantil; e, baseado em pixel – além de alguns atributos mais específicos, como diferença média aos vizinhos (absoluto) –, diferença média à cena, razão à cena, área, volume e largura.

Finalizada a seleção de todos os atributos, realizou-se a classificação avançada orientada a objeto no *software* eCognition, que fornece alguns classificadores, como o *decision tree*, *random trees*, *support vector machine* (SVM), entre outros. Assim, efetuaram-se classificações teste adotando estes classificadores, sendo o SVM aquele com que se obtiveram os melhores resultados. O método de aprendizagem de máquina SVM constitui-se em melhorar a separação dos pontos em suas classes por meio de uma sequência de medidas. Inicialmente, cria-se um vetor separador que aumenta o máximo possível a distância entre os pontos, a que se denomina hiperplano ideal, intensificando a margem separadora que há entre os pontos de maior proximidade, ou seja, que são mais suscetíveis a confusão (MEYER, 2017). Quando ocorre não-linearidade (inexistência de um separador linear), os pontos são projetados em um espaço dimensional extra, onde se tornam linearmente separáveis de forma efetiva através de técnicas de Kernel. Por fim, quando uma proximidade persiste, faz-se a atribuição de peso reduzido para os pontos de região sobreposta.

Classificadas as imagens pelo SVM, avaliou-se a qualidade da classificação definindo-se a

matriz de confusão, onde constam os acertos e confusões entre as classes, e os índices Kappa e Exatidão Global, que representam as características totais da classificação. A matriz de confusão é uma matriz quadrada, cujos valores organizados em linhas e colunas representam as unidades amostrais atribuídas a uma determinada classe, relacionando-as com as classes de referência (CONGALTON, 1991). As colunas representam as referências, e as linhas, a classificação gerada. A matriz de confusão retrata a precisão da classificação baseando-se na sua referência juntamente com os erros (confusões) cometidos por cada classe. É possível determinar a Exatidão Global a partir dos valores na diagonal principal da matriz de confusão, que representam as amostras corretamente classificadas (CONGALTON, 1983). Conforme a Equação 1, esses valores são somados e divididos pelo número total de amostras classificadas, e o resultado representa o desempenho geral da matriz de confusão, sendo o principal método utilizado para a avaliação da precisão da classificação.

$$\theta_1 = \frac{\sum x_{kk}}{N} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

θ_1 : Exatidão Global;

$\sum x_{kk}$: somatório dos valores de amostras da diagonal principal;

N : número total de amostras.

No cálculo do índice Kappa, considera-se toda a matriz de confusão, isto é, tanto os acertos quanto os erros da classificação, diferente da Exatidão Global, que analisa somente a diagonal principal (CONGALTON, 1983). O cálculo do índice Kappa está representado na Equação 2.

$$K = \frac{\theta_1 + \theta_2}{1 + \theta_2} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

K : índice Kappa;

θ_1 : Exatidão Global;

θ_2 : Exatidão Global aleatória.

A Exatidão Global aleatória, adotada para o cálculo do índice Kappa, é dada pela Equação 3.

$$\theta_2 = \frac{\sum n_{ti} \times n_{it}}{N^2} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

θ_2 : Exatidão Global Aleatória;

nt_i : quantidade de amostras avaliadas na coluna i ;

nit : quantidade de amostras avaliadas na linha i ;

N : número total de amostras.

A partir do cálculo do índice Kappa, pode-se avaliar a qualidade da classificação, conforme a Tabela 1 (LANDIS, Korch, 1977).

Como o *software* eCognition não gera a matriz de confusão de forma automática, realizou-se sua construção de forma manual, coletando novas amostras nas imagens de 2003 e 2021, distintas das amostras adotadas na classificação, para analisar se cada objeto da imagem foi devidamente classificado. Nesse contexto, para avaliar adequadamente uma classificação, é fundamental a coleta de um número satisfatório de amostras de referência puras que se assemelhem o máximo possível da realidade encontrada no terreno (CONGALTON, 1991). Para a quantidade de cinco classes, como é o caso aqui presente, é recomendável coletar, no mínimo, 50 amostras para cada classe (CONGALTON, 1991). Assim, coletaram-se novas amostras e, adotando-se a planilha eletrônica Microsoft Excel, definiu-se a matriz de confusão e os índices Kappa e Exatidão Global.

Com base nos resultados obtidos nas classificações, analisaram-se as APPs no entorno das nascentes do projeto Conservador das Águas, considerando como APP um círculo de raio de 50 m no entorno das nascentes. Para tanto, no *software* QGIS, gerou-se um *buffer* de 50 m em

Tabela 1 – Valores do índice Kappa e desempenho da classificação.

Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
0 a 0,19	Ruim
0,2 a 0,39	Razoável
0,4 a 0,59	Moderado
0,6 a 0,79	Muito Bom
0,8 a 1	Excelente

Fonte: Adaptado de Lands e Korch (1977).

torno de cada ponto correspondente à localização das nascentes, determinando a APP. Dispondo da área total que, teoricamente, deveria estar recoberta com vegetação nativa no entorno de cada nascente, correspondente ao *buffer* de 50 m, verificou-se, com base nas imagens classificadas de 2003 e 2021, a condição das APPs em ambas as datas: se a APP encontrava-se realmente protegida, a área definida pelo *buffer* deveria ser classificada como Vegetação Densa; caso fosse classificada de outra maneira, a APP ainda requereria restauração. Obviamente, com a implantação do projeto Conservador das Águas, houve aumento das APPs, que se encontram de fato protegidas e foram classificadas como Vegetação Densa. Assim, por meio de análises no *software* QGIS, correlacionando as classificações das imagens de 2003 e 2021 e a APP definida pelos *buffers* de 50 m, verificou-se o quanto, em área, as APPs foram restauradas.

Com relação à definição das APPs, cabe ressaltar que, quando da elaboração do projeto Conservador das Águas, em 2005, ainda estava vigente o antigo Código Florestal (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965). De acordo o Art. 2º dessa lei, são consideradas de preservação permanente as áreas nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m de largura (BRASIL, 1965).

O novo Código Florestal, que entrou em vigor em 25 de maio de 2012 e revogou a Lei nº 4.771/1965, ainda define a APP com raio mínimo de 50 m de largura no entorno das nascentes, qualquer que seja a sua situação topográfica. Porém, determina em seu Art. 61, §5º, que:

Nos casos de áreas rurais consolidadas em APPs no entorno de nascentes, será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição do raio mínimo de 15 (quinze) metros (BRASIL, 2012).

Considerando como áreas rurais consolidadas qualquer alteração da vegetação nativa local

para uso do solo, seja para ocupação humana ou para realização de práticas de atividades rurais (TRENTINI, 2018), preexistente a 22 de julho de 2008 (BRASIL, 2012), e que, ao término do projeto Conservador das Águas (em 2015), já vigorava o novo Código Florestal, analisaram-se as condições das APPs das nascentes a partir da imagem classificada de 2021 também considerando as áreas rurais consolidadas. Para determinação destas, foram considerados todos os locais que, em 2003, foram classificados em qualquer classe exceto Vegetação Densa, como forma de comprovar a supressão da vegetação nativa anterior a 2008.

Resultados e discussão

As Figuras 3 e 4, apresentadas a seguir, mostram o resultado da classificação orientada a objeto, pelo classificador SVM, para as imagens de 25 de maio de 2003 e 3 de junho de 2021, respectivamente.

Visualmente, é possível perceber, na imagem de 2003, que houve algumas confusões na classificação de Construção e Solo Exposto, observadas próximas à região em que há maior concentração de água. Já na classificação da imagem de 2021, observa-se que houve um aumento na classe Vegetação Densa, além da ocorrência de algumas confusões na classe de Construção, que diminuiu nas áreas das regiões urbanas, sendo substituída pelas classes Solo Exposto e Vegetação Rasteira.

Tendo em vista a análise visual das classificações, para validá-las, definiu-se a matriz de confusão, coletando, em cada imagem, 50 amostras de referência para cada uma das classes, com exceção da classe Água, em que foram coletadas 30 amostras devido ao número reduzido de amostras puras de água. Nas Tabelas 2 e 3, indicam-se, respectivamente, as matrizes de confusão geradas para a classificação de 2003 e 2021.

Figura 3 – Classificação da imagem de 25/05/2003 no município de Extrema – MG.

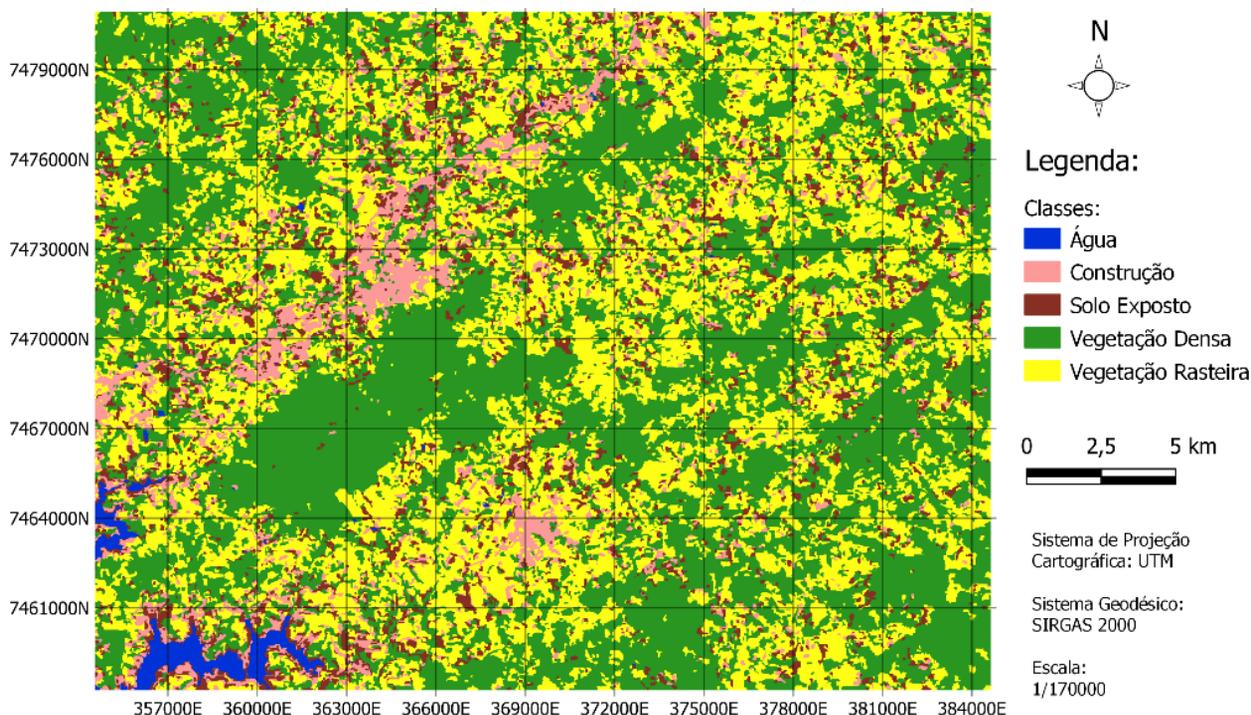


Figura 4 – Classificação da imagem de 03/06/2021 no município de Extrema/MG.

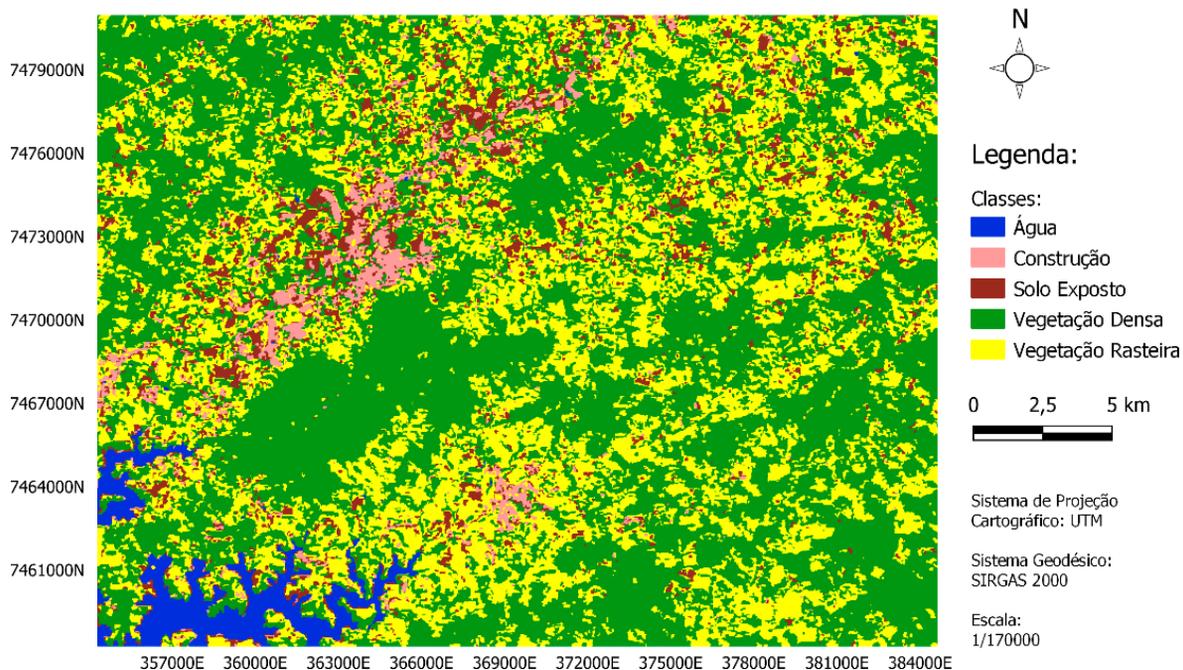


Tabela 2 – Matriz de confusão gerada a partir da classificação da imagem de 25/05/2003.

		Referência					
Classificação	Classes	Vegetação Densa	Vegetação Rasteira	Construção	Água	Solo Exposto	nit
		Vegetação Densa	50	0	0	0	0
	Vegetação Rasteira	0	50	3	0	0	53
	Construção	0	0	47	0	6	53
	Água	0	0	0	30	0	30
	Solo Exposto	0	0	0	0	44	44
	nti	50	50	50	30	50	230

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 3 – Matriz de confusão gerada a partir da classificação da imagem de 03/06/2021.

		Referência					
Classificação	Classes	Vegetação Densa	Vegetação Rasteira	Construção	Água	Solo Exposto	nit
		Vegetação Densa	50	0	0	0	0
	Vegetação Rasteira	0	50	1	0	0	51
	Construção	0	0	49	0	6	55
	Água	0	0	0	30	0	30
	Solo Exposto	0	0	0	0	44	44
	nti	50	50	50	30	50	230

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Analisando as matrizes de confusão de ambas as classificações, nota-se, na de 2003, algumas confusões na classe de Construção, também observada na classificação da imagem de 2021, com uma quantidade reduzida de confusão, e na de Solo Exposto, para ambas as datas, corroborando a análise visual das classificações. Porém, para as classes Vegetação Densa e Vegetação Rasteira, não foi identificada nenhuma confusão. Como o objetivo é analisar a evolução da vegetação densa no entorno das nascentes, consideraram-se as classificações como adequadas para a análise das APPs a partir dos resultados da matriz de confusão.

Para avaliar a qualidade da classificação a partir da matriz de confusão, definiram-se os valores de Exatidão Global e do índice Kappa geral para a classificação das imagens de 2003 e 2021, apresentados na Tabela 4.

Como os valores obtidos para o índice Kappa, para ambas as classificações, estão acima de 0,8, o desempenho delas pode ser considerado como Excelente, de acordo com o apresentado na Tabela 1 (LANDIS; KORCH, 1977). O valor da Exatidão Global encontrado para a classificação da imagem de 2003 foi de 0,9609, ou seja, 96,09% das amostras coletadas foram classificadas corretamente. Já para a classificação da imagem de 2021, foi encontrado o valor de 0,9696, obtendo assim 96,96% de acerto na classificação das amostras, o que também comprova os bons resultados.

Comparando-se as duas classificações, é possível notar uma diminuição na quantidade de solo exposto e vegetação rasteira, entre 2003 e 2021, na região onde se localizam as

nascentes do projeto Conservador das Águas, e, conseqüentemente, o aumento da vegetação densa no local. Além disso, destaca-se que, apesar de algumas confusões identificadas nas classificações nas regiões onde se encontram as nascentes de estudo, não houve confusões prejudiciais à análise da restauração da vegetação. A Figura 6 permite uma melhor comparação entre as imagens classificadas, com destaque para a região em que estão localizadas as nascentes, e, na Tabela 5, estão as áreas de cada classe em 2003 e 2021.

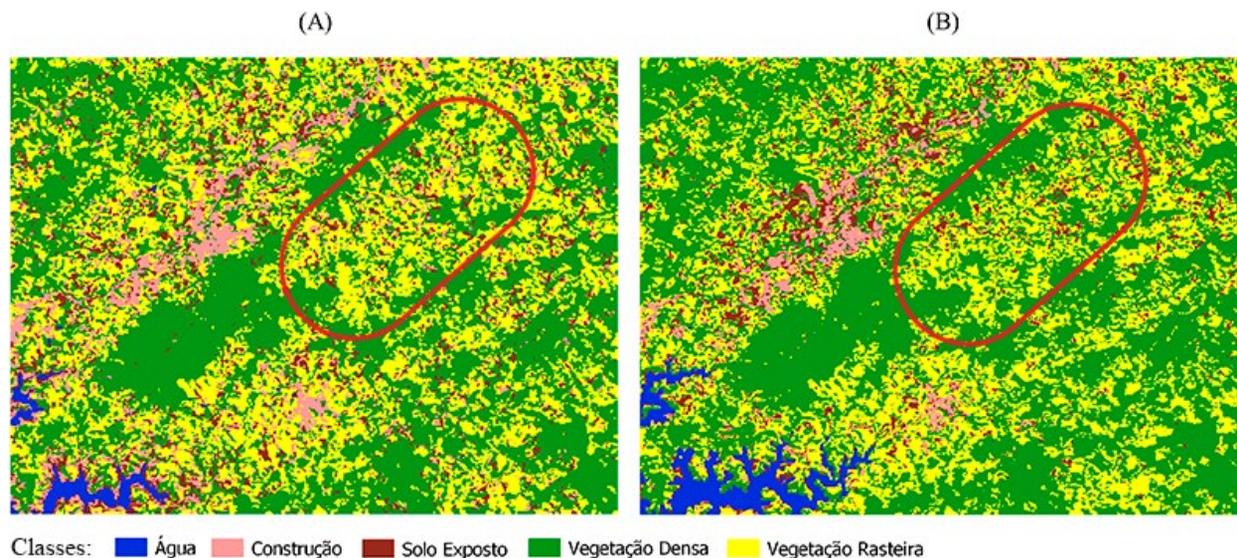
Observando os valores de área encontrados para cada classe, é possível notar que houve um aumento de área de vegetação densa de 11,32 % e uma diminuição média na área de solo exposto e vegetação rasteira de 11,71 %, o que possivelmente tem relação direta com a implementação do projeto Conservador das Águas.

Para a análise das APPs no entorno das nascentes, antes e após a implantação do projeto, calculou-se a área ideal para as APPs, definidas pelos *buffers* de 50 m em torno de cada ponto correspondente às nascentes. Além disso, correlacionando a classe Vegetação Densa das imagens de 2003 e 2021 e a delimitação das APPs (*buffers*), determinaram-se as áreas, dentro das APPs das 380 nascentes, que são protegidas pela vegetação nativa, considerando o raio de 50 m no seu entorno. A Tabela 6 possui os valores obtidos. Por meio dessa análise, comprova-se numericamente a efetividade do projeto Conservador das Águas, tendo em vista um aumento de 14,6% da área de vegetação nativa nas APPs das 380 nascentes, entre 2003 e 2021.

Tabela 4 – Índices Globais para as classificações das imagens de 2003 e 2021.

Índices Globais	Imagem de 25/05/2003	Imagem de 03/06/2021
Exatidão Global	0,9609	0,9696
Índice Kappa	0,9507	0,9617

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 5 – Comparação entre a classificação das imagens de 2003 (A) e 2021 (B)**Tabela 5** – Área de cada classe para a classificação da imagem de 25/05/2003.

Classes	Imagem de 25/05/2003	Imagem de 31/06/2021
	Área (ha)	Área (ha)
Vegetação Densa	32.401,80	36.535,99
Vegetação Rasteira	24.852,35	23.333,31
Construção	4.690,38	1.840,60
Água	717,25	1.833,69
Solo Exposto	5.406,59	4.470,67

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Por meio da análise visual das áreas ideais e reais de vegetação nativa em torno das nascentes, em 2003 e 2021, verificou-se que, em diversos casos, a APP não estava protegida em sua totalidade, isto é, nem todo *buffer* de 50 m em torno das nascentes encontrava-se na classe Vegetação Densa. Porém, em muitos casos, uma parte da APP já havia sido

restaurada, o que representa um ganho do ponto de vista ambiental e mais um resultado positivo do projeto Conservador das Águas. Sendo assim, quantificou-se o número de nascentes que possuíam APP recoberta por vegetação nativa em até 50%, entre 50% e 100 %, e as que estavam totalmente restauradas (100% de vegetação nativa), conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 6 – Comparação entre as áreas ideal e real recobertas por vegetação nativa nas APPs.

Área de vegetação nativa nas APPs	Área (ha)	Porcentagem
Área ideal	288,34	100%
Área real em 2003	131,31	45,5%
Área real em 2021	173,46	60,2%

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 7 – Quantificação do número de nascentes restauradas considerando a APP de 50 m.

Imagem	Abaixo de 50%	Acima de 50%	100%	Total de Nascentes
2003	110	176	94	380
2021	11	235	134	380

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

É possível perceber que houve uma diminuição significativa do número de nascentes que possuíam áreas de vegetação nativa no entorno das APPs abaixo de 50%: comparando-se a imagem de 2003 com a de 2021, notou-se uma diminuição de 26%. Para aquelas que se encontram com as APPs restauradas acima de 50%, houve um aumento de 15,5%. Outro fator importante a ser discutido é o aumento de nascentes que foram totalmente restauradas de 2003 para 2021, totalizando 10,53% das nascentes envolvidas no projeto.

A terceira análise realizada para as APPs considera as áreas rurais consolidadas, conforme define a Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012). Para tanto, inicialmente foram definidas as nascentes que se enquadrariam na condição imposta às áreas rurais consolidadas, quantificando todas as nascentes localizadas em áreas de vegetação rasteira conforme a imagem de 2003. Ao todo, 184 nascentes encontram-se em área rural consolidada. Em seguida, definiu-se a APP no entorno dessas nascentes considerando um raio de 15 m. A partir dessa delimitação, quantificou-se a área ideal de vegetação nativa no entorno dessas nascentes, correspondente à área definida por *buffers* de 15 m. Assim como na primeira análise realizada para as APPs, correlacionando a área ideal de vegetação nativa

Tabela 8 – APPs no entorno das nascentes nas áreas rurais consolidadas.

Vegetação nativa nas APPs	Área (ha)
Área ideal – <i>Buffer</i> de 15 m	12,80
Área ideal – <i>Buffer</i> de 50 m	139,44
Área real em 2021	5,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

e a classe Vegetação Densa da imagem de 2021, definiu-se a área real recoberta por vegetação nativa no entorno dessas nascentes, conforme apresentado na Tabela 8.

Analisando a Tabela 8, observa-se que, da APP total com *buffer* de 15 m, que deveria encontrar-se recoberta por vegetação nativa, somente 39% se encontra protegida, de fato, em 2021. A maior contribuição dessa análise é verificar o quanto há de diminuição de APP em função da consideração das áreas de uso consolidado pelo novo Código Florestal (BRASIL, 2021). De acordo com o antigo Código Florestal, considerando o *buffer* de 50 m, a porcentagem de vegetação nativa restaurada teria sido somente de 3,6%, e não de 39%. Isso demonstra o quanto as áreas rurais consolidadas impactaram a restauração de APPs, pois, sem elas, a área de vegetação nativa no entorno das nascentes a ser protegida seria maior.

A Tabela 9 mostra a quantificação do número de nascentes contidas em áreas rurais consolidadas que estão completamente restauradas (vegetação nativa em 100% de sua APP), parcialmente recuperadas (vegetação nativa ocupando entre 50% e 100% de sua APP) e pouco recuperadas (com menos de 50% de sua APP recoberta por vegetação nativa). Para complementar, a mesma quantificação foi realizada se a APP no entorno das nascentes ainda fosse de 50 m, como definia o antigo Código Florestal. Com base nos resultados apresentados na Tabela 9, nota-se que há uma quantidade significativa de nascentes com menos de 50% de sua APP recuperada, considerando as áreas rurais consolidadas. Foram contabilizadas 55 nascentes que estão totalmente restauradas

Tabela 9 – Quantificação do número de nascentes restauradas em áreas rurais consolidadas para a imagem de 2021.

Legislação	Abaixo de 50%	Acima de 50%	100%	Total de Nascentes
Em vigor (<i>buffer</i> de 15 m)	112	17	55	184
Antiga (<i>buffer</i> de 50 m)	128	48	8	184

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

segundo o raio mínimo de 15 m descrito no novo Código Florestal.

Além disso, como já era esperado, se a antiga legislação fosse considerada (antigo Código Florestal), o número de APPs com menos de 50% de sua área protegida com vegetação nativa seria maior (ao todo, 128 nascentes). O número de APPs totalmente regeneradas também cairia de 55 para 8 nascentes, o que é preocupante do ponto de vista ambiental.

A Tabela 10 contém o valor de APP que deveria constar para as 184 nascentes que se encontram em áreas rurais consolidadas, somadas com as 196 nascentes restantes, seguindo o novo Código Florestal. Também consta o valor de APP que está restaurada para a imagem de 2021, baseando-se também no novo Código Florestal.

Conclusões

O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto, por meio da classificação orientada a objeto, adotando o classificador SVM e imagens orbitais dos satélites Landsat 7 e 8, é aplicável para análises ambientais, possibilitando verificar a restauração das APPs no entorno das nascentes que participaram do projeto Conservador das Águas.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o uso de imagens orbitais com resolução espacial melhor que 30 m, a fim de quantificar de forma mais acurada as áreas restauradas no entorno das nascentes.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS pelo suporte financeiro concedido.

Referências bibliográficas

ANDRADE, S. F. Sensoriamento remoto e algumas aplicações. **Caderno de Estudos Geoambientais - CADEGEO**, v. 2, n. 1, p. 13-16, 2011.

BRASIL. **Lei nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Presidência da República Casa Civil. [S. l.], 15 set. 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm Acesso em: 5 dez. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Presidência da República Casa Civil. [S. l.], 25 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 30 nov. 2021.

Tabela 10 – Análise final para as APPs em 2021.

Áreas de APPs	Área (ha)	%
Área ideal	161,5	100
Área real / Imagem – 2021	132,8	82,23

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

- CAMPOS, M. A. A. **Padrão e dinâmica de floresta tropical, através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens LandSat**. 2005. 105 p. Tese (Pós-Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- CONGALTON, R. G.; ODERWALD, R. G. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1983.
- CONGALTON, R. G. A Review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, n.1, [s. l.], p. 35-46, 1991.
- EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 5 dez. 2021.
- ENGESAT. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-7-etm/> Acesso em: 4 dez. 2021.
- FARIA, R. A. V. B.; BOTELHO, S. A.; SOUZA, L. M. de. Diagnóstico ambiental de áreas do entorno de 51 nascentes localizadas no município de Lavras, MG. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 641-661, 2012.
- FARIA, T. S. **Classificação em área urbana apoiada em imagens aéreas e dados lidar**. 2017. 94 p. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. 2009. 275 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Geografia, Belo Horizonte, 2009.
- GOMES, A. P. A. **Calibração radiométrica de imagens obtidas por câmeras utilizadas em veículos aéreos não tripulados**. 2020. 53 p. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2021. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/> Acesso em: 5 dez. 2021.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N. (coordenador). São José dos Campos, SP: Parêntese editora, 2009. 598 p.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Washington. USA. **Biometrics**, v.33, n.01, p. 159-174, 1977.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2.ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2015. 539 p.
- MEYER, D. Support vector machines: the interface to libsvm in package e1071. **FH Technikum Wien**, Austria, fev. 2017.
- MUCHONEY, D. M.; HAACK, B. N. Change detection for monitoring forest defoliation. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 60, n. 10, p. 1243-1252, 1994.
- PEREIRA, P. H. **Conservador das águas 12 anos**. Extrema - MG, 2017. 187 p.
- PESSI, D. D.; EREIO, P. K. B.; ALVES, GUSTAVO B. M.; MARTARELLO, A. P.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. M. Qualidade da cobertura vegetal em áreas de preservação permanente de nascentes.

Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 3, p.270-280

ROY, D. P.; KOVALSKYY, V.; ZHANG, H. K.; VERMOTE, E. F.; YAN, L.; KUMAR, S.S.; EGOROV, A. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, s/n, p.57-70, 2016.

SOARES, F. S. Análise comparativa da correção atmosférica de imagem do Landsat 8: o uso do 6S e do ATCOR2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17., 2015. **Anais [...]** João Pessoa-PB: INPE, 2015. p. 1821-1828.

TRENTINI, F. O conceito de área rural consolidada no Código Florestal de 2012: Principais controvérsias. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental**, v. 4, n. 1, p. 77-93, 2018.

United States Geological Survey – USGS: EarthExplorer. 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov> Acesso em: 5 dez. 2021.

WINER, M. R. C. **Análise de comparação de métodos de recuperação de nascentes**. 2017. 40 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel) – Universidade Federal de Goiás Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia, 2017.