

## **Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas e Classificação do Uso e Ocupação do Solo**

*Use of Geographic Information Systems (GIS) for Automatic Basin Delimitation and  
Classification of Soil Use and Occupation*

*Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIGs) para Delimitación Automática de  
cuencas y clasificación de uso y ocupación del suelo*

### **Ludmilla Freitas Pereira**

Pós-graduanda, Unesp, Brasil.  
ludmillafp@yahoo.com.br

### **César Gustavo da Rocha Lima**

Professor Doutor, Unesp, Brasil.  
cesarlima@dec.feis.unesp.br

### **Euclides Cestari Junior**

Engenheiro Civil Mestre, Geometrisa, Brasil.  
euclides@geometrisa.com.br

**RESUMO**

As bacias hidrográficas são as unidades territoriais consideradas pelas leis federais para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Desse modo, o adequado delineamento dos limites destas áreas, tornam-se elementos chaves no que tange aos assuntos regulatórios de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Soma-se à delimitação da bacia hidrográfica, a importância de se conhecer a configuração do uso e ocupação do solo, de maneira que se possa compreender de que maneira as relações hidrológicas estão se comportando diante das características de permeabilidade da cobertura vegetal existente. Desse modo, este trabalho se propôs a aplicar a metodologia de delimitação automática de bacias hidrográficas, bem como classificar o uso e ocupação da área delimitada, a partir do uso de softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Os resultados obtidos, a partir do uso de dados digitais de elevação e imagens de satélite, confirmaram a praticidade de manuseio e produção de parâmetros quantitativos e qualitativos para caracterização das bacias. Assim, fundamenta-se a ideia de que estes sistemas são extremamente capacitados para elaboração de relatórios que vão além do âmbito acadêmico, podendo ser ferramentas de grande valia nas áreas técnicas e profissionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** SIGs. Bacia Hidrográfica. Cobertura Vegetal.

**RESUME**

The hydrographic basins are the territorial units considered by the federal laws for the implementation of the National Water Resources Policy and the National System of Water Resources Management. Thus, the adequate delimitation of the boundaries of these areas, become key elements in the regulatory issues of planning and management of water resources. It is added to the delimitation of the hydrographic basin, the importance of knowing the configuration of the use and occupation of the soil, so that one can understand in what way the hydrological relations are behaving before the characteristics of permeability of the existing vegetal cover. In this way, this work proposes to apply the methodology of automatic delimitation of hydrographic basins, as well as to classify the use and the occupation of the delimited area, from the use of Geographic Information Systems (GIS) software. The results obtained with the use of digital elevation data and satellite images confirmed the feasibility of the handling and production of quantitative and qualitative parameters for the basin characterization. Thus, it is based on the idea that these systems are extremely capable of elaborating reports that go beyond the academic reach, being able to be tools of great value in the technical and professional areas.

**KEY WORDS:** GIS. Hydrographic basin. Vegetal cover.

**RESUMEN**

Las cuencas hidrográficas son las unidades territoriales consideradas por las leyes federales para la implementación de la Política Nacional de Recursos Hídricos y del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos. De este modo, el adecuado delineamiento de los límites de estas áreas, se convierten en elementos claves en lo que se refiere a los asuntos regulatorios de planificación y gestión de los recursos hídricos. Se suma a la delimitación de la cuenca hidrográfica, la importancia de conocer la configuración del uso y ocupación del suelo, de manera que se pueda comprender de qué manera las relaciones hidrológicas se están comportando ante las características de permeabilidad de la cobertura vegetal existente. De este modo, este trabajo se propuso aplicar la metodología de delimitación automática de cuencas hidrográficas, así como clasificar el uso y ocupación del área delimitada, a partir del uso de softwares de Sistemas de Informaciones Geográficas (SIGs). Los resultados obtenidos, a partir del uso de datos digitales de elevación e imágenes de satélite, confirmaron la practicidad de manejo y producción de parámetros cuantitativos y cualitativos para caracterización de las cuencas. Así, se fundamenta la idea de que estos sistemas son extremadamente capacitados para la elaboración de informes que van más allá del ámbito académico, pudiendo ser herramientas de gran valor en las áreas técnicas y profesionales.

**PALABRAS CLAVE:** SIGs. Cuenca hidrográfica. Cobertura Vegetal.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Tucci (1993), a bacia hidrográfica é considerada um elemento de trivial importância para análise de processos hidrológicos, visto que pode ser entendida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos, por meio de suas vertentes, para um único ponto, denominado exutório.

A bacia, portanto, opera como um sistema composto por uma rede de drenagem formada por cursos hídricos e divisores topográficos, que contribuem para o surgimento de gradativos escoamentos superficiais, resultando em um volume de confluência resultante em uma única seção de saída.

Diante da possibilidade de usos múltiplos dos recursos hídricos, bem como dos resultados benéficos produzidos por eles, sejam de cunho qualitativo ou econômico, fez-se necessário criar um plano de gerenciamento destes recursos.

A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que são implementados e válidos sobre a unidade territorial doravante denominada bacia hidrográfica. Assim, compreende-se a importância de se delinear os limites da área da bacia de maneira adequada.

Por muitas vezes, a delimitação da bacia hidrográfica é realizada de maneira manual, utilizando-se as cartas topográficas como guia do traçado dos limites da área, que podem ser feitos em meio físico, sobre o papel impresso, ou em meio digital, a partir da vetorização de linhas.

No entanto, o processo de delimitação automática de bacias por meio do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) se tornou um processo frequentemente utilizado e foco de diversos estudos e análise, considerada uma ferramenta eficiente em casos de bacias muito extensas e complexas, como podemos ver nos trabalhos de SILVA (2014) e SOBRINHO et al. (2010).

Neste processo de delimitação automática, utiliza-se como arquivo de entrada, os dados do relevo local, representados por uma grade regular numérica de informações de altitude e coordenadas, denominado Modelo Numérico de Terreno (MNT). Estes modelos digitais de elevação podem ser obtidos por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou via sensoriamento remoto.

Dentre os modelos mais utilizados e disponíveis para acesso público, destacam-se aqueles advindos da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), realizada em 2000, que vem sendo aplicados a diversos estudos, sejam voltados para a geomorfologia ou hidrologia, e que serão utilizados no presente trabalho.

Ao se planejar a gestão integrada dos recursos hídricos, é de extrema importância conhecer de que maneira o solo está sendo utilizado e ocupado ao longo do tempo, uma vez que todas as condições do meio e possíveis modificações destas, interferem nas relações hidrológicas existentes na bacia.

A cobertura do solo é um dos fatores que condicionam a taxa de infiltração e o volume de água armazenado em uma bacia hidrográfica. Os locais onde ocorrem a presença de áreas vegetadas aumentam a permeabilidade do solo, o que implica no aumento da infiltração do volume precipitado sobre a bacia e a redução do escoamento superficial. Inversamente, áreas descobertas ou impermeabilizadas, aumentam as taxas de escoamento, podendo contribuir para problemáticas de inundação e assoreamento de corpos d'água.

Segundo Albergoni (2011), o mapeamento de uso e ocupação do solo é a base para a análise espacial da paisagem e o método mais empregado de mapeamento é realizado com imagens de satélites e de programas computacionais de classificação.

Uma das possibilidades de uso dos recursos hídricos envolve a produção de energia hidrelétrica, por vezes proporcionada pela construção de barramentos permanentes dos cursos para fins de acúmulo de água e armazenamento de energia.

O Brasil possui no total 4.661 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, totalizando mais de 152.136 MW de energia instalada. Inclui-se à esta capacidade, a previsão de adição, nos próximos anos, de mais de 24.608 MW, provenientes das usinas em construção e daquelas com a obra ainda não iniciada (BIG/ANEEL, 2017).

Determinar os limites da bacia hidrográfica contribuinte para um empreendimento gerador de energia elétrica, bem como conhecer o seu mapeamento do uso e ocupação do solo, permite definir com maior acurácia o comportamento da precipitação e escoamento na rede de drenagem, possibilitando a validação da capacidade de descarga volumétrica das estruturas extravasoras destes empreendimentos e reduzindo a probabilidade de ocorrência de desastres.

Para o presente trabalho, o exutório da bacia hidrográfica a ser delimitada estará situado no reservatório da UHE Barra do Braúna, localizada no leito do Rio Pomba, nos municípios de Leopoldina, Recreio e Laranjal, no estado de Minas Gerais. Desta forma, a rede de drenagem utilizada para fundamentar o traçado da bacia hidrográfica, será aquela existente a montante do barramento da usina.

A aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas para a delimitação automática de bacia hidrográfica e classificação do uso e ocupação do solo à um estudo de caso real irá contribuir para a ratificação dos resultados produzidos por elas e ampliará as possibilidades de desenvolvimento de análises, não só no âmbito acadêmico, como também sob uma perspectiva profissional.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivos:

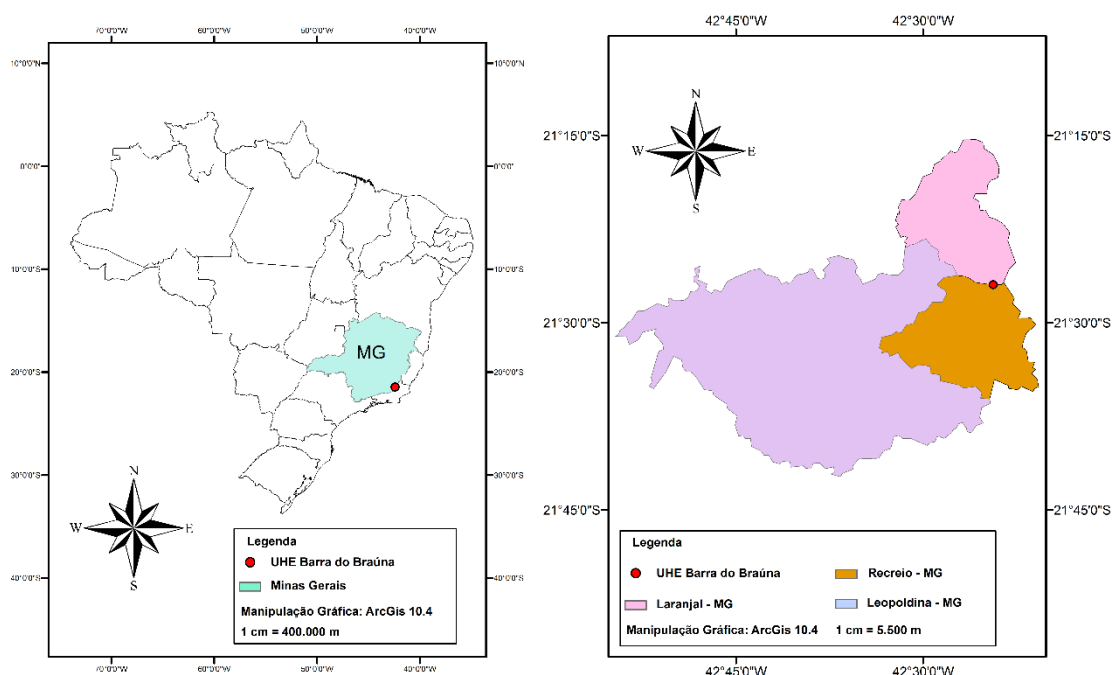
- a) Delimitar automaticamente uma bacia hidrográfica, utilizando dados de projeto MNT e processamento por SIGs, para projetar a rede de drenagem contribuinte da UHE Barra do Braúna; e
- b) Classificar o uso e ocupação do solo desta bacia, tendo como suporte imagens obtidas por sensoriamento remoto e geoprocessamento de dados.

### 3 METODOLOGIAS

#### 3.1 DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA BACIA

A área de estudo escolhida trata-se da rede de drenagem localizada a montante do barramento da Usina Hidrelétrica Barra do Braúna, situada nos limites municipais de Laranjal, Leopoldina e Recreio, no estado de Minas Gerais (Figura 1).

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica de interesse no estado de Minas Gerais



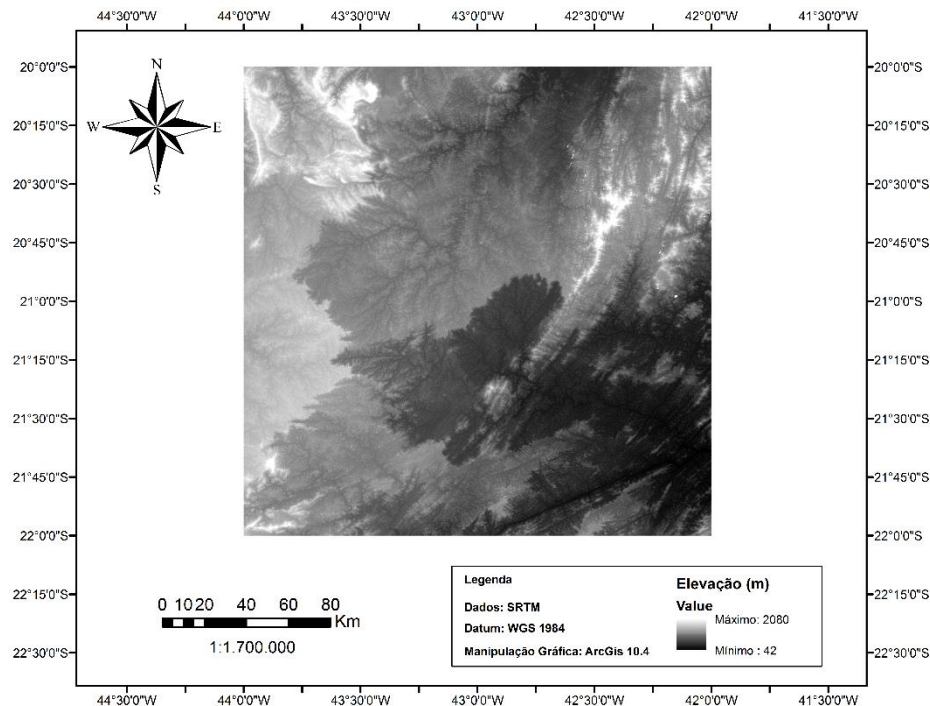
Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

O Rio Pomba, curso d'água principal da rede hídrica, apresenta uma declividade bastante acentuada em sua cabeceira, o que permitiu a instalação de diversos empreendimentos geradores de energia elétrica ao longo da sua extensão.

A rede contribuinte analisada está inserida na sub-bacia do Rio Paraíba do Sul, pertencente à hidrografia do Atlântico, trecho Sudeste, e pode ser entendida como a projeção, em um plano horizontal, da superfície contida entre os divisores topográficos.

O modelo digital de elevação da área de análise (Figura 2) foi obtido por meio do site Earth Explorer, administrado pelo USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Com uma resolução de 90 m e elipsoide de referência WGS84, utilizou-se o SIG ArcGis 10.4 para o processo de delimitação automática da bacia.

**Figura 2: Mapa do modelo digital de elevação obtido a partir de dados SRTM**



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo elas, cronologicamente: preenchimento de depressões (“fill sinks”), direção de fluxo (“flow direction”), fluxo acumulado (“flow accumulation”) e delimitação de bacia (“Watershed”).

### **a) Preenchimento de Depressões**

Esta etapa do processo de delimitação da bacia hidrográfica visa à preparação dos dados SRTM para que este arquivo seja utilizado pelas etapas subsequentes.

Isto é necessário porque estes arquivos podem conter vazios em determinadas áreas do globo, possivelmente originadas da má interpretação do relevo pelo radar, se tornando obstáculos durante a execução do traçado da área.

Estas falhas também denominadas depressões ou “sinks”, serão preenchidas pela função “Fill Sinks” do ArcGis, gerando um novo arquivo, denominado “raster”, desprovido de imperfeições de dados referentes à superfície.

### **b) Direção de Fluxo**

A partir do raster gerado na etapa anterior, cria-se um novo arquivo, onde cada uma de suas células irá conter a informação da direção do fluxo na rede de drenagem.

A função “Flow Direction” irá produzir uma grade regular definindo as direções do fluxo, baseando-se no cálculo da maior declividade de um ponto em relação a seus oito vizinhos. Pode-se adotar aqui o conceito de “ponto” como sendo “pixels”, para melhor entendimento. A execução desta função com o modelo numérico de terreno corrigido e ajustado fornecerá o mapa de direção de fluxo, também denominado mapa de orientação de vertentes, possibilitando a visualização da tendência de escoamento pela inclinação topográfica ao longo da rede de drenagem.

#### **c) Fluxo Acumulado**

O raster criado nesta etapa, pela função “Flow Accumulation”, determinará a acumulação do fluxo a partir do arquivo de direção de fluxo produzido anteriormente. Isto é, serão determinadas as áreas de confluência e captação da rede de drenagem.

A nova grade regular produzida irá conter informações do acúmulo de água em cada “pixel”. Desse modo, para cada célula será atribuído o valor correspondente ao número de células que contribuem para que a água chegue até ela (SOBRINHO, 2010).

#### **d) Delimitação da Bacia**

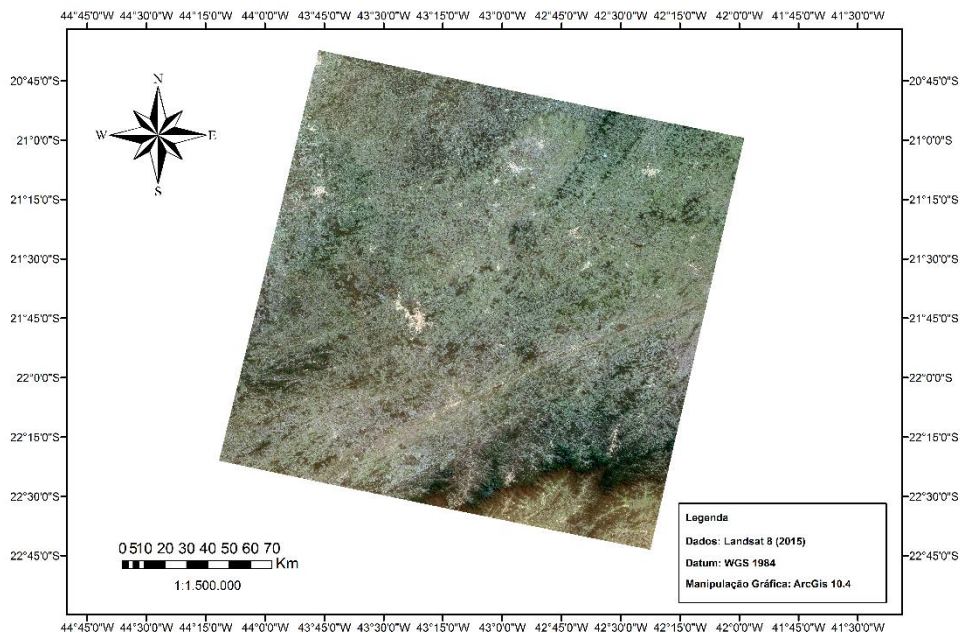
Serão utilizadas como arquivos “raster” de entrada, aqueles produzidos pelas duas etapas anteriores. Isto se deve ao fato de que a função “Watershed” processa um fatiamento dos vetores das feições de drenagem e relevo, para delimitação de zonas similares.

Nesta etapa, foi escolhido como ponto exutório da rede de drenagem da bacia, o barramento da UHE Barra do Braúna. Desse modo, processou-se uma bacia resultante localizada a montante deste ponto.

### **3.2 CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

O mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica gerada foi produzido com base em imagens de satélite **Landsat-8** referentes ao mês de setembro de 2015. Adotou-se a composição de bandas RGB-234. A imagem utilizada (Figura 3) apresenta resolução espacial de 30 m, considerada adequada para o desenvolvimento deste estudo.

Figura 3: Imagem de satélite Landsat-8 com a composição RGB-234



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

Utilizando-se o software ArcGis 10.4, recortou-se esta imagem de satélite sob o formato da área de drenagem, utilizando-se o polígono da bacia gerado a partir da última etapa do processo de delimitação automático.

A imagem recortada foi registrada pelo SIG Spring 5.3 (CÂMARA et al., 1996), pela metodologia “Teclado”, associando pontos de controle e coordenadas obtidas pelo Google Earth. Além disso, manipulou-se o contraste gráfico da imagem, para fins de melhoramento visual.

A imagem foi segmentada e pré-classificada para a metodologia de “Crescimento de Regiões”. Esta técnica é utilizada para o agrupamento de dados, na qual somente regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas. O processo de segmentação fundamenta-se na fusão de regiões que extrai objetos de contraste local. Isto é, delimitam-se unidades homogêneas da imagem e atribui-lhes um código de identificação.

São requeridos dois parâmetros iniciais neste procedimento: a similaridade, que mede a distinção entre a homogeneidade de pixels, e o tamanho do pixel da imagem que será gerada. Assim, adotou-se 20 para a similaridade e 30 para o tamanho do pixel, valores considerados suficientes para o desenvolvimento adequado da análise.

O classificador adotado foi do tipo Bhattacharya e adotou-se um limiar de aceitação igual a 99%. Este classificador requer a seleção de áreas de treinamento, utilizando-se as regiões obtidas pela segmentação para estabelecer o espaço amostral e então, ampliar a classificação para toda a área analisada.

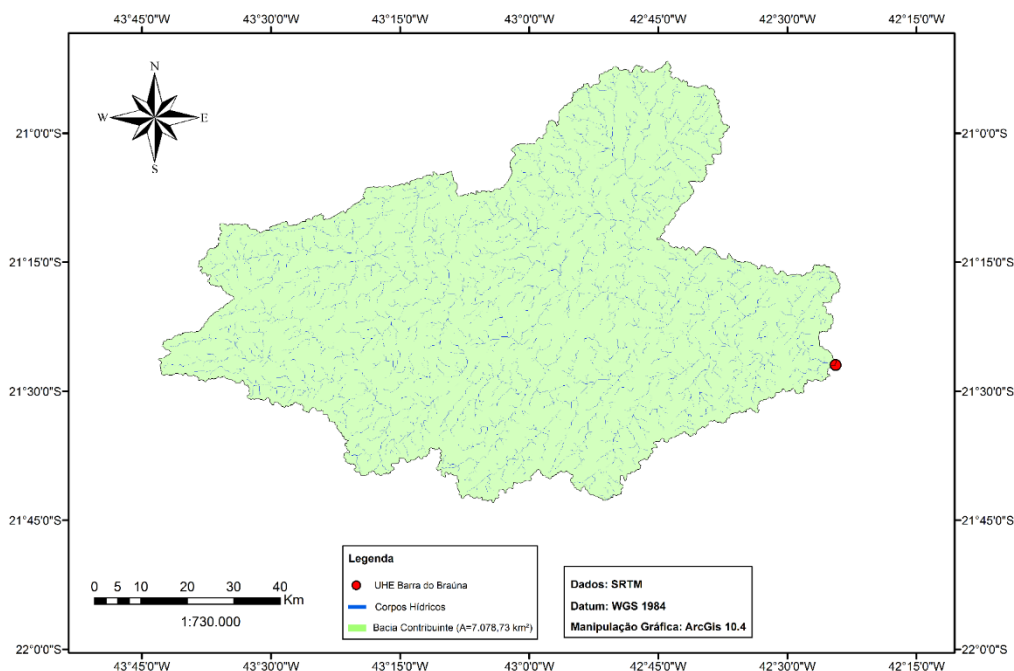
Após a produção da classificação automática, foi realizada uma etapa pós-classificatória, manual e comparativa, para correção de eventuais divergências existentes entre as classes geradas pelo Spring e as áreas reais mostradas pela imagem de satélite.



## 4 RESULTADOS

A bacia hidrográfica foi delimitada automaticamente pela metodologia aplicada pelo ArcGis, gerada a partir de dados SRTM com resolução espacial de 90 m. A área de drenagem contribuinte para a UHE Barra do Braúna apresenta valor igual a 7.078,73 km<sup>2</sup> e pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4: Bacia hidrográfica delimitada automaticamente por meio do uso de SIG

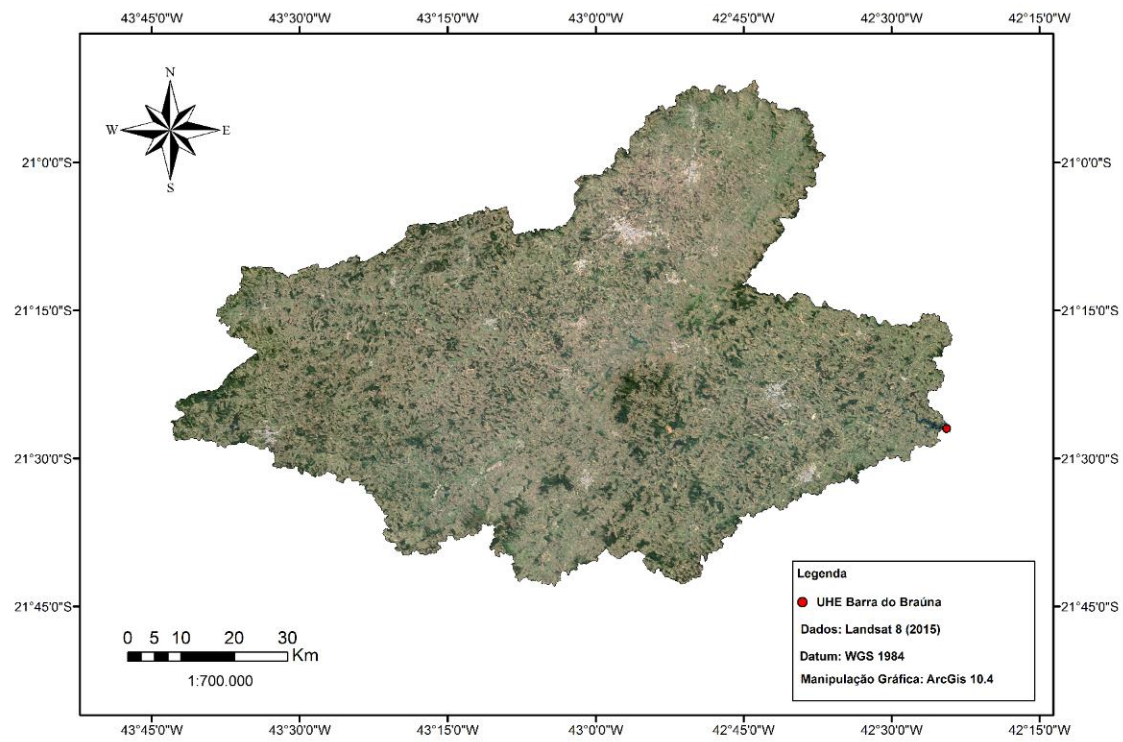


Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

Para o caso de uma delimitação manual da bacia hidrográfica, deve-se utilizar as curvas de nível de cartas topográficas da região de interesse e executar o processo de vetorização dos limites. No entanto, diante da dimensão da área exposta e da disposição de uma significativa quantidade de corpos hídricos localizados em toda a sua extensão, o processo manual de delimitação desta bacia seria um processo considerado, potencialmente, menos prático e preciso.

A partir do polígono que limita a área da bacia contribuinte, recortou-se a imagem de satélite obtida, como podemos visualizar na Figura 5, para que este arquivo fosse utilizado no processo de classificação.

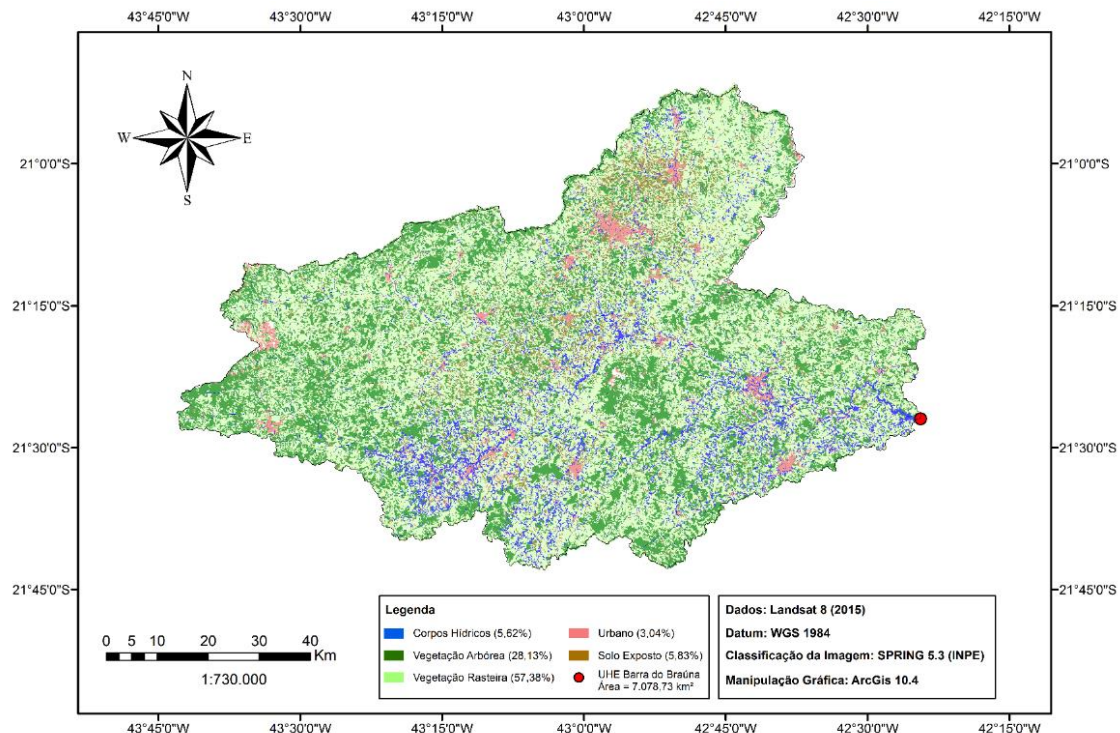
Figura 5: Imagem de Landsat 8 (RGB-234) referente à bacia hidrográfica de interesse



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

A classificação do solo da bacia produzida pelo Spring foi exportada para o ArcGis para efeitos de manipulação gráfica e encontra-se na Figura 6.

Figura 6: Classificação do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica delimitada



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

Quadro 1: Classificação do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica

Títulos	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem correspondente
Corpos Hídricos	397,82	5,62%
Urbano	215,19	3,04%
Vegetação Arbórea	1.991,25	28,13%
Vegetação Rasteira	4.061,78	57,38%
Solo Exposto	412,69	5,83%
Total	7.078,73	100%

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2017.

A quantidade de classes para a categorização do uso e ocupação do solo é uma decisão arbitrária do operador. Neste caso, como não se objetivava a estratificação detalhada das classes, a cobertura foi dividida em cinco categorias: Corpos Hídricos, Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Urbano e Solo Exposto.

Percebe-se que a área analisada é majoritariamente coberta por Vegetação Rasteira (cerca de 57%), isto é, áreas entendidas como campos permanentes, pastagens e áreas de cultivo. Em termos quantitativos, a segunda maior predominância é representada pela Vegetação Arbórea (cerca de 28%), ilustrando a vegetação mais encorpada e densa, com maiores índices de transpiração. Os outros 15% que totalizam a área analisada se compõe dos cursos d'água e reservatórios, regiões de solo exposto e as áreas urbanizadas.

No caso ilustrado, este tipo de metodologia poderia ser utilizado para embasar estudos hidrológicos que se fundamentassem, por exemplo, em cálculos de escoamento superficial efetivo com base na cobertura vegetal da bacia hidrográfica, quantificando o volume de água afluente que chega ao barramento.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho delimitou, de maneira automática, a bacia hidrográfica contribuinte do barramento da UHE Barra do Braúna, utilizando a manipulação de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), resultando em uma área total de 7.078,73 km<sup>2</sup>.

A partir de imagens de satélite e geoprocessamento dos dados pelos SIGs, classificou-se o uso e ocupação do solo desta bacia, observando-se que esta apresenta uma cobertura vegetal predominantemente rasteira (57%), seguida pela existência de vegetação arbórea (28%). As áreas urbanizadas compreendem cerca de 3%, enquanto a parcela restante é representada pela presença de solo exposto.

O estudo de caso apresentado para um empreendimento real, se propunha a demonstrar a capacidade destes sistemas de produzir resultados por meio de uma aplicação rápida e prática sobre áreas extensas e compreendidas por uma complexa rede hidrográfica, dispensando o uso da delimitação manual e comprovando a possibilidade de serem empregados para fins de diagnósticos de alta qualidade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERGONI, L. **Caracterização do Uso e Cobertura da Terra como Subsídio para Análise de Paisagem e de Vulnerabilidade de um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista**. Dissertação de Mestrado. Curitiba, 2011.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

Câmara, G. et al. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**". May-Jun 1996.

SILVA, R. R. **Bacia do Rio Pomba (MG): Uso e Ocupação do Solo e Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos**. 2014. 135 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia, 2014.

SOBRINHO; T. A. et al. **Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas Utilizando Dados SRTM**. 2010.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, ABRH, 2009.