

Análise de parâmetros morfométricos através do SIG: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji (Oeste do RS)

Igor da Silva Knierin ¹
Romario Trentin ¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Av. Roraima - 1000 - 97105-900 - Santa Maria - RS, Brasil
igorknierin@gmail.com
romario.trentin@gmail.com

Abstract. In the context of environmental studies, analysis of basins enables an integrated evaluation of the medium, allowing the understanding of morphogenetic processes associated hydrological dynamic and geomorphology of the areas. In this sense the use of morphometric parameters are presented as important analytical tool enabling the development of the study of the physical characteristics of the environment of these. As a result, the present study aimed to evaluate the morphometric parameters with the help of GIS (Geographic Information System) for the Arroio Inhanduji Basin, located in the west of Rio Grande do Sul, Brazil. To develop the study was carried out the literature review, and sequentially developed to analyze the morphometric parameters of the basin, which stood out: ordering of river channels, drainage density, sinuosity of the stream, index of circularity, hipsometria, analysis of topographic profiles and slope. From this emerged as a result, the influence that the lithological constitution plays in the area of study, arranging themselves on the total number and distribution of segments of river channels, still observing a not-so area susceptible to flooding and a form and elongated debut. From what has been discussed, the study allowed through a quantitative analysis, contribute information related morphogenetic features of the basin, associated with planning, decision-prognostic actions against the occupation and use of the area. Finally, it is also noted that the potential ally to work with geoprocessing GIS respond to these analyzes, in order to support a study quickly and effectively.

Palavras-chave: hydrography, morphometry, geographic information system, planning, hidrografia, morfometria, sistema de informação geográfica, planejamento

1. Introdução

Inserido no âmbito dos estudos ambientais, a análise de bacias hidrográficas possibilita uma avaliação integrada do meio, permitindo a compreensão dos processos morfogenéticos, associados a dinâmica hidrológica e geomorfologia da área. Dessa forma, apresentando-se como fator condicionante para o uso e ocupação da terra vinculados as potencialidades e vulnerabilidades da área de interesse.

Nessa perspectiva, desponta-se os estudos de parâmetros morfométricos, como um importante instrumento de análises em bacias hidrográficas, assim como, para o relevo. Em face disso, considerando a morfometria, Guerra e Guerra (2008) definem que esta refere-se ao estudo quantitativo das formas do relevo, destacando-se frente a morfometria fluvial os estudos de bacias hidrográficas com base em uma análise linear, areal e hipsométrica.

Conforme, Reckziegel e Robaina (2006), os trabalhos norteados através de índices morfométricos do relevo e rede de drenagem podem ser aplicados como um instrumento base direcionado ao estudo do meio ambiente e para o desenvolvimento de planos de gestão, a fim de estabelecer um uso racional do meio, assim como a compreensão de processos naturais.

Associado a isso, observa-se através do geoprocessamento integrado a aplicabilidade dos SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) uma ferramenta com grandes potencialidades a estes estudos. Isso faz-se referência pelo fato destes permitirem a avaliação de parâmetros associados a rede de drenagem e relevo fundamentais em um estudo de morfometria para bacias hidrográficas e para o relevo, permitindo analisar, por exemplo, número de canais fluviais, amplitudes, declividades, dimensões, desníveis, extensões e etc.

Nesse contexto, Guerra e Guerra (2008, p. 321) destacam que

Através do geoprocessamento, a pesquisa geomorfológica, apoiando-se nos Sistemas de Informações Geográficas, pode, de forma mais rápida e precisa, analisar e classificar as formas do relevo, bem como os processos geradores dessas formas, ou seja, das várias unidades territoriais, existentes na superfície terrestre.

Desse modo, diante do que foi exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji, RS com o auxílio do SIG. A bacia hidrográfica encontra-se situado no município de São Francisco de Assis, no oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, sendo afluente da margem direita do rio Jaguari, estabelecida entre as coordenadas geográficas $-29^{\circ}23'40''$ a $-29^{\circ}39'30''$ (Latitude Sul) e $-54^{\circ}49'30''$ a $-54^{\circ}59'45''$ (Longitude Oeste), Figura 1.

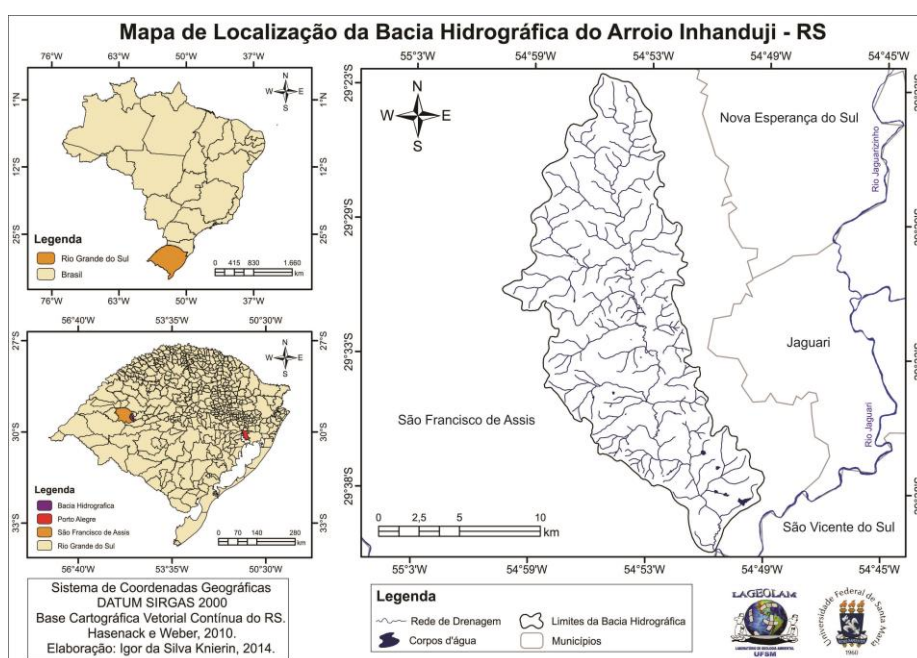


Figura 1. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji - RS. Organização: Knierin, 2014.

2. Metodologia de Trabalho

Os procedimentos metodológicos para a realização deste trabalho, foram desenvolvidos a partir da revisão bibliográfica, relacionada aos estudos de bacias hidrográficas e também na aplicabilidade do geoprocessamento e do SIG na análise destas. Assim subsidiado por meio destes, ocorreu em um segundo momento o processo análise da morfometria integrada a elaboração dos mapas (localização, rede de drenagem, hipsometria e declividade) da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji.

Para isso foi utilizado o SIG, ArcGIS versão 10.1 desenvolvido pela ESRI, que proporciona a geração e gerenciamento de bancos de dados georreferenciados, além de permitir o desenvolvimento de análises espaciais, bem como de bases em ambiente digital. Ademais, de maneira a trabalhar com o SIG, foi utilizada a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul organizada por Hasenack e Weber (2010), em escala 1:50.000, a qual foi analisada e corrigida suas informações referentes aos pontos cotados, curvas de nível e rede de drenagem.

A partir disso, a análise da morfometria da bacia hidrográfica teve como princípios a classificação do ordenamento dos canais fluviais, a densidade de drenagem, a sinuosidade do

curso d'água, o índice de circularidade, a hipsometria, a análise de perfis topográficos e da declividade.

Para a classificação do ordenamento dos canais fluviais, foi adotada a classificação de Strahler (1952 apud Christofolletti, 1974) e para a análise do padrão de drenagem seguiu-se as observações de Christofolletti (1974).

Referente a avaliação da densidade de drenagem (Dd) aplicou-se as proposições de Villela e Mattos (1975), a qual é representada a relação do comprimento total dos canais fluviais frente à área total da bacia hidrográfica (Equação 1):

$$Dd = L_t/A \quad (1)$$

Dd: densidade de drenagem;
L_t: comprimento total dos canais;
A: área total da bacia hidrográfica.

Para a sinuosidade do curso d'água (Sin) da bacia hidrográfica, adaptou-se as definições de Villela e Mattos (1975), onde estabeleceu-se a relação entre o comprimento do canal principal e o comprimento axial da bacia hidrográfica (Equação 2):

$$Sin = L_{CP}/L \quad (2)$$

Sin: sinuosidade do curso d'água principal;
L_{CP}: Comprimento do canal principal;
L: comprimento axial da bacia hidrográfica.

A fim de indicar as formas da bacia, foi analisado o índice de circularidade (Ic) definido por Miller (1953 apud Christofolletti, 1974) e apresentado por Christofolletti (1974) o qual estabelece a relação entre a área de uma bacia hidrográfica com a área de um círculo com mesmo perímetro ao da bacia (Equação 3):

$$Ic = A/A_c \quad (3)$$

Ic: índice de circularidade;
A: área da bacia;
A_c: círculo com perímetro igual ao da bacia.

O estudo da hipsometria para a bacia foi realizado de acordo com a variação das altitudes do relevo, frente a distribuição espacial das curvas de nível (com equidistância de 20 metros), pontos cotados do terreno e limites da área. A partir disso foi gerado o Modelo Numérico do Terreno (MNT) ou Modelo Digital de Elevação (MDE) para área de estudo, através do ambiente do SIG, no módulo *3D Analyst*, com a ferramenta *Topo to Raster*. Após isso, o MDE foi reclassificado em quatro classes (hipsométricas): altitudes inferiores 130 metros, altitudes entre 130 e 220 metros, altitudes entre 220 e 310 metros e altitudes superiores 310 metros. Seguido estes passos, foi realizada a conversão do arquivo *raster* para *vetorial*, permitindo dessa forma o cálculo das áreas e trabalho com o *layout*.

Para analisar as vertentes da área de estudo através do plano horizontal, foram elaborados dois perfis topográficos no SIG, tendo como base o MDE gerado e sendo utilizado o módulo *3D Analyst*, delimitando os perfis na função *Interpolate line* e a partir do *Point profile* para geração dos perfis topográficos. Posteriormente estes foram trabalhados no *software* CoreIDRAW X5 desenvolvido pela Corel Inc., a fim de modelamento do *layout* final dos

mesmos. A partir dos perfis foram analisados, atributos como: declividades e amplitudes do terreno, perfil de curvatura e formas do modelado.

Por fim para a análise das declividades do relevo foram utilizados três limites de declividades conforme estabelecidos pelo IPT (1981), em 2%, 5% e 15%, definindo a partir disso quatro classes para as declividades da bacia hidrográfica, em: declividades inferiores a 2%, declividades entre 2% e 5%, declividades entre 5% e 15% e declividades superiores a 15%. Para a elaboração do mapa foi utilizada a ferramenta *Slope* do módulo *3D Analyst*, sendo reclassificado o arquivo resultante para as classes de interesse (< 2%, 2-5%, 5-15% e > 15%) e posteriormente realizada a conversão do arquivo *raster* em *vetorial* a fim de trabalho com as áreas e *layout* do mapa.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise da Rede de Drenagem e Análise Areal da Bacia Hidrográfica

A Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji é afluente da margem direita do rio Jaguari, a qual contribui para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari, que por sua vez contribui junto a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. O arroio drena uma área total de 204,52 km² apresentando perímetro de 88,23 km, o seu curso principal possui orientação no sentido sul ao norte, com extensão de 39,05 km.

A rede de drenagem encontra-se distribuída em 206 segmentos de canais fluviais, nos quais apresentam um comprimento total de 298,60 km. Com base na hierarquia fluvial, o arroio Inhanduji, apresenta 5º ordem de drenagem, conforme a classificação de Strahler (1956 apud Christofolletti, 1974). Neste sentido, os segmentos de canais de 1º ordem de drenagem, correspondem 155 canais os quais apresentam o comprimento de 173,53 km, a 2º ordem distribui-se em 37 segmentos de canais fluviais, em um comprimento total de 70,92 km. Já os segmentos de 3º ordem totalizam 11 que conferem ao comprimento total de 29,15 km. Para a 4º ordem de drenagem desponta-se 2 segmentos de canais que apresentam o comprimento de 11,59 km e, por fim a 5º ordem de drenagem possui um segmento de canal apenas, que soma o comprimento total de 13,41 km (Figura 2).

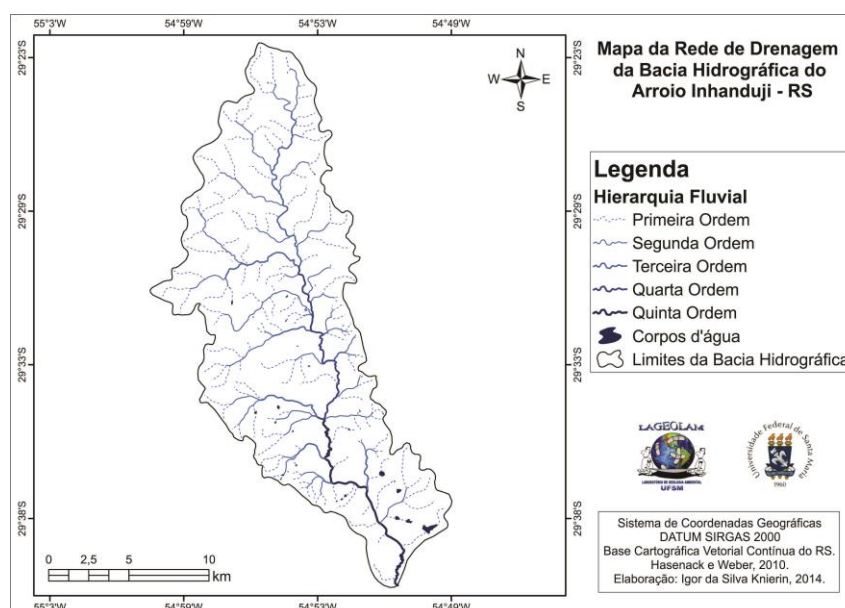


Figura 2. Mapa da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji - RS. Organização: Knierin, 2014.

Considerando a distribuição dos canais fluviais e os aspectos físicos da área de estudo, identificou-se um padrão de drenagem predominantemente retangular-dendrítico, visto que os cursos fluviais apresentam seu escoamento superficial de forma encaixada a estrutura da área, seguindo os planos de fratura ou fraqueza do substrato geológico, conduzindo com isso ao controle estrutural das drenagens. Para Christofolletti (1974) o padrão de drenagem é representado pelo arranjo espacial dos cursos fluviais, influenciados por fatores condicionantes como morfogênese, disposição das camadas rochosas, diferenças de resistência das litologias, diferenças de declividades do terreno e a evolução geomorfológica do relevo.

Relacionando a área da bacia hidrográfica e a distribuição do número de segmentos de canais fluviais, foi possível identificar densidade de drenagem de 1,46 km/km² para a área de estudo. Dessa forma, considera-se a partir deste valor, uma bacia com densidade de drenagem média, visto que, conforme Villela e Mattos (1975), valores de densidade de drenagem inferiores a 0,5 km/km², referem-se a bacias com densidades de drenagem pobres, já valores de densidade de drenagem superiores a 3,5 km/km² estabelecem bacias hidrográficas excepcionalmente bem drenadas.

Neste sentido pode-se destacar que a área da bacia constitui-se de maneira geral por uma associação de rochas permeáveis e impermeáveis, uma vez que o comportamento hidrológico das rochas reflete na densidade de drenagem. Considerando isso, rochas com menor capacidade de infiltração, ou seja, menos permeáveis, permitem que haja maior escoamento superficial e, por conseguinte, a formação de mais canais fluviais, o mesmo ocorre no sentido contrário, em que rochas mais permeáveis absorvem mais a água resultando no menor escoamento superficial e em função disso, a um menor número de canais fluviais.

Em relação a sinuosidade do curso d'água principal, o arroio Inhanduji apresentou variável de 1,15 (observa-se para o índice de sinuosidade unidade adimensional). Segundo Villela e Mattos (1975) este índice serve de fator para indicar o quanto sinuoso é o canal, e pode se estabelecer como um fator condicionante a velocidade dos fluxos d'água.

Quando o índice apresenta-se em valores próximos a 1 indica-se que os canais fluviais tendem a ser retilíneos, já os valores superiores a 2,0, indicam que os canais fluviais tendem a ser sinuosos e os valores intermediários indicam formas transitórias, regulares e irregulares. Mediante tal observação, constata-se que o arroio Inhanduji, possui um canal de forma transitória e que, Antoneli e Thomaz (2007), apontam a isso um transporte mediano de sedimentos.

Associado as formas das bacias hidrográficas, destaca-se o tempo de concentração, que, conforme Villela e Mattos (1975) representa o tempo em que a água da precipitação despõe para percorrer as distâncias entre um ponto mais afastado da bacia e o seu exutório. Para isso procurou-se avaliar o índice de circularidade que, segundo Machado e Torres (2012) apresenta como valor máximo 1,0, observando nesta situação uma bacia hidrográfica totalmente circular. Nesse sentido, quanto mais próximo a um (1,0) for o índice de circularidade, mais circular apresenta-se a forma da bacia hidrográfica, e de maneira inversa, quanto mais próximo a zero (0,0) for este índice, mais estreita e alongada é forma da bacia.

Desse modo, a Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji apresentou índice de circularidade com o valor de 0,329, de modo a observar para a bacia uma forma estreita e alongada. Assim, nestas condições as águas que precipitam ao longo da área da bacia apresentam tempos distintos para chegarem ao exutório e, dessa forma não ocorre o extravasamento do leito ao escoarem as águas, permitindo-se indicar com isso, em uma área pouco propícia a cheias.

3.2 Análise da Hipsometria

Com base nas altitudes do terreno, a bacia hidrográfica apresentou como menor cota altimétrica o nível de 74,05 metros localizado no baixo curso, porção sul da área de estudo. A

cota máxima foi de 430 metros localizada no alto curso, ao norte da área da bacia, estabelecendo a partir disso uma amplitude altimétrica de 355,95 metros.

Na Figura 3, é apresentado o mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji, onde são representadas as quatro classes hipsométricas conforme propostas na metodologia. Na Figura (3) também estão localizados e representados os perfis topográficos A-A' e B-B'.

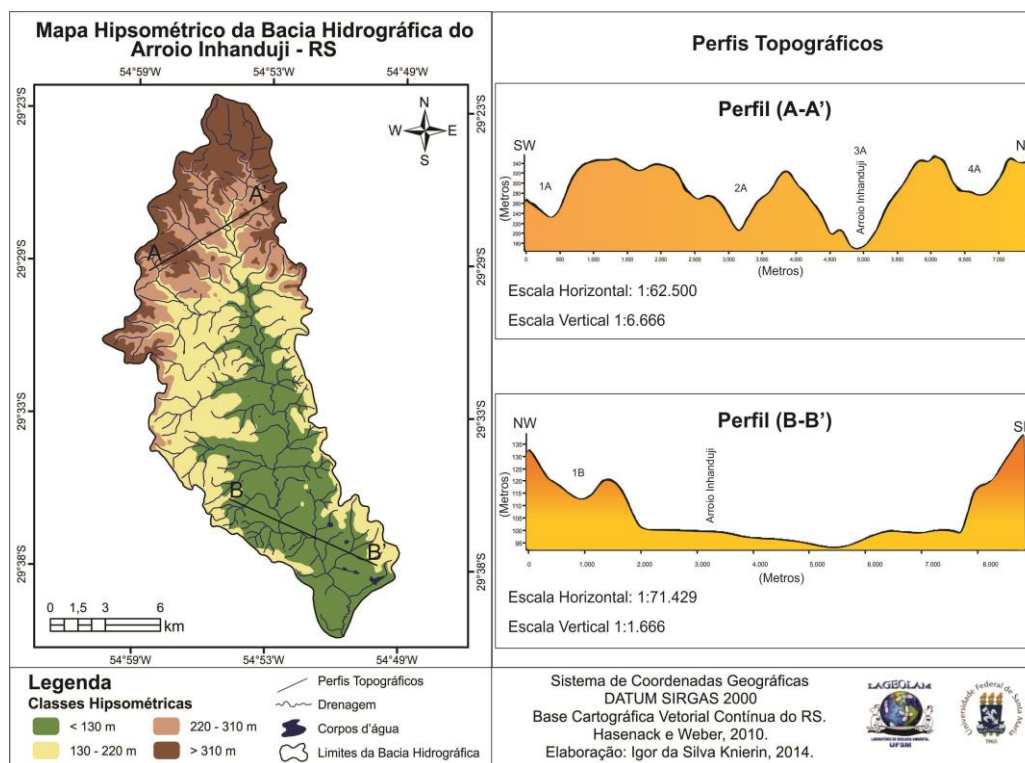


Figura 3. Mapa Hipsométrico e Perfis Topográficos A-A' e B-B' da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji - RS.

Organização: Knierin, 2014.

A classe hipsométrica de altitudes inferiores a 130 metros, situa-se associada a rede de drenagem da bacia hidrográfica e também as áreas de inundação, localizando-se em especial, no médio e baixo curso. Esta classe é a que apresenta-se em maior área, estabelecida em 72,51 km² o que representa a 35,45% da área da bacia.

Em relação a classe distribuída entre as cotas altimétricas que variam entre 130 e 220 metros apresenta-se distribuída em área de 66,98 km², correspondendo a 32,75% da área da bacia. A classe esta distribuída no alto, médio e baixo curso da bacia, a qual corresponde a segunda classe maior em área.

Com face à classe, distribuída nas cotas altimétricas que variam entre 220 e 310 metros, apresenta-se localiza principalmente no alto e médio curso, onde representam área de 31,92 km², equivalendo a 15,61% da área da bacia. Para esta classe, pode-se destacar associada à ocorrência de cabeceiras de drenagem do médio e alto curso da bacia, em um relevo fortemente ondulado.

As elevações superiores a 310 metros encontram-se distribuídas no médio e alto curso, em porções a leste, oeste e norte da bacia, representando área igual a 33,11 km², o que equivale a 16,19% da área de estudo. Nestes locais se estabelecem as maiores altitudes da bacia, o qual relaciona-se aos limites da área da bacia hidrográfica junto aos pontos divisores d'água do terreno.

No perfil topográfico A-A' (Figura 3) é apresentado em sentido sudoeste a nordeste, o recorte transversal do alto curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji. Neste pode ser observado um relevo ondulado formado por uma associação de morros e morrotes, com vertentes íngremes e escarpadas. A partir dos pontos 1A, 2A, 3A e 4A são observados vales encaixados, com vertentes côncavas e com amplitudes altimétricas, em geral, superiores a 100 metros e comprimentos de vertentes variando entre 500 e 1.000 metros.

O perfil topográfico B-B' (Figura 3) apresenta recorte transversal com orientação de noroeste a sudeste do baixo curso fluvial da área de estudo. O perfil corta o rio principal da bacia, em quinta ordem, associado a um relevo levemente ondulado a ondulado, com amplitudes altimétricas que variam dos 20 aos 40 metros e com comprimentos de vertente entre 1.000 e 2.000 metros. No relevo ocorrem vertentes, associadas a áreas planas, junto as drenagens, e a colinas de topos com perfis convexos apresentando declividades mais acentuadas nos divisores d'água, por exemplo, entre o canal principal e ao segmento fluvial do ponto 1B.

3.3 Análise da Declividade

A análise das declividades da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji permite caracterizar a área com um relevo levemente ondulado a ondulado em porções associadas a colinas, até formas fortemente onduladas marcando uma área de associação de morros e morrotes no alto curso. Nesta perspectiva, o estudo das declividades das vertentes torna-se importantes a fim de avaliar as potencialidades da área relacionando estas ao uso e ocupação da terra (Figura 4).

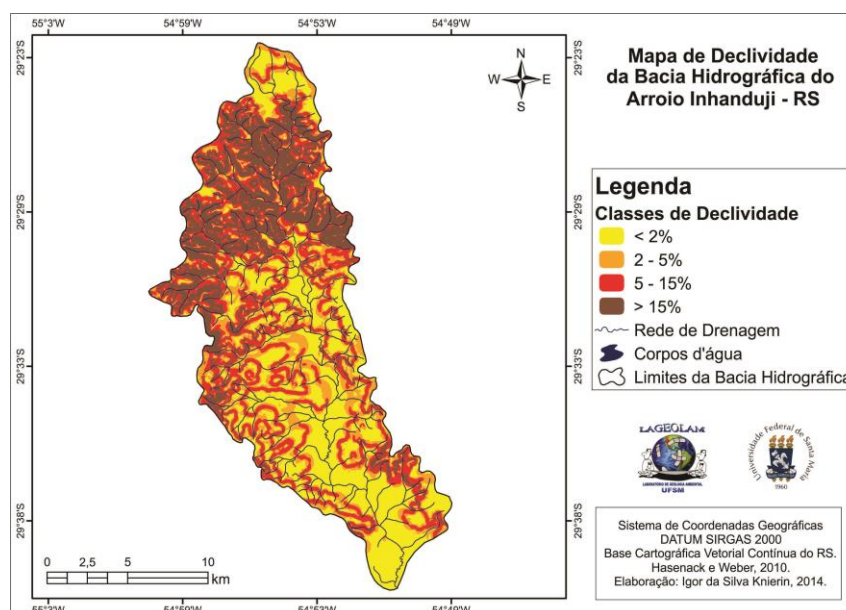


Figura 4. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji - RS. Organização: Knierin, 2014.

As declividades inferiores a 2% apresentam-se em maior área na bacia, ocupando 66,58 km², o que compreende em 32,55% da área total desta. Esta classe apresenta-se distribuída nas porções sul, centro e norte da área da bacia e ocorrem principalmente associadas próximas às drenagens. Estes locais caracterizam-se por serem áreas planas onde ocorrem processos de acumulação de sedimentos fluviais e também áreas suscetíveis a inundações, decorrentes do extravasamento das águas dos leitos fluviais.

As declividades com variação entre 2% e 5% distribuem-se em 39,47 km², equivalendo a 19,30% da área total da bacia hidrográfica. Esta classe se encontra principalmente no médio e alto curso da bacia, as quais correspondem as áreas de colinas levemente onduladas.

Para as declividades distribuídas entre os 5% e 15%, situam-se em área de 55,72 km², representando 27,25% da área de estudo, distribuídas no alto, médio e baixo curso da bacia hidrográfica, marcam um relevo ondulado associado a colinas, apresentando como áreas limítrofes no uso de maquinário agrícola.

Por fim a classe de declividades superiores a 15%, apresentam-se em área de 42,75 km², o que corresponde a 20,90% da área total da bacia hidrográfica. Esta classe associa-se a um relevo em geral ondulado, com formas íngremes e escarpadas, em vales encaixados, nos quais ocorrem áreas de nascentes de cursos d'água, principalmente no alto curso da bacia.

4. Conclusões

O processo de análise dos parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji compreendeu-se de forma eficiente, uma vez que possibilitou caracterizar a rede de drenagem e o relevo da área, a partir de métodos quantitativos, subsidiados através da aplicação do SIG como ferramenta. Dessa forma, proporcionando a compreensão das formas do relevo e dos processos de dinâmica superficial recorrentes na área da bacia hidrográfica.

Diante disso, mediante ao que foi abordado, aponta-se que os trabalhos associados a avaliação de parâmetros morfométricos, apresentam-se em destaque nos estudos geomorfológicos e geoambientais, nos quais, possibilitam que sejam aplicadas estas informações como auxílio ao planejamento, servindo em ações prognósticas e na orientação para o uso e ocupação da terra para as áreas de estudo. Por fim, destacando-se ainda as grandes potencialidades que o geoprocessamento aliado aos SIGs respondem a estas análises, no sentido de subsidiar um estudo de maneira rápida e eficaz.

Agradecimentos

Projetos FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências Bibliográficas

Antoneli, V.; Thomaz, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.

Christofoletti, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1974. 147 p.

Guerra, A.T.; Guerra, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 652 p.

Hasenack, H.; Weber, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 21 p.

IPT. **Mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000. v. 2. (IPT - Publicações, 1183), 1981. 130 p.

Machado, P.J.O.; Torres, F.T.P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178 p.

Reckziegel, E.W; Robaina, L.E.S. Estudo de Parâmetros Morfométricos do Relevo e da Rede de Drenagem da Área Situada entre os Rios Jaguari e Ibicuí no Município de São Vicente do Sul – RS. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. 2006, Goiânia-GO. **Anais...** Artigos, p. 1-11, On-line. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/lageolam/arquivos/Reckziegel_E.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2014.

Villela, S.M.; Mattos, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.