

CONTRIBUIÇÃO DA MORFOMETRIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA A CONSERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SOB O AVANÇO DA AGRICULTURA IRRIGADA EM ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

JOYCE REISSLER¹ E RODRIGO LILLA MANZIONE²

¹ Departamento de Solos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP. Avenida Universitária, 3780 – Altos do Paraíso, Botucatu – SP, 18610-034. E-mail: joyce_reissler@hotmail.com

² Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, SP. Rua Domingos da Costa Lopes, 780 - Jardim Itaipu, Tupã – SP, 17602-496. E-mail: manzione@tupa.unesp.br

1 RESUMO

A análise da morfometria de uma bacia é a base de compreensão de suas condições fisiográficas naturais e seus resultados oferecem indicadores de suscetibilidade à degradação ambiental e auxiliam no planejamento para o manejo e incentivo à ações mitigadoras para o uso e conservação dos recursos naturais. O objetivo do estudo foi a caracterização morfométrica em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e geração de informações para o melhor planejamento e conservação da água subterrânea em áreas vulneráveis. A área de estudo foi a Bacia do Ribeirão do Jacú, Tejupá, SP, localizada integralmente em região de recarga do SAG, de alta vulnerabilidade e com tendência ao avanço da agricultura irrigada intensiva. Ferramentas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) foram utilizadas para a avaliação morfométrica. Os resultados apontaram que ocorre uma menor tendência de escoamento superficial e maior capacidade de infiltração do solo, o que confere um maior cuidado com o uso e manejo do solo local.

Palavras-chave: SAG, planejamento ambiental, água subterrânea.

REISSLER, J. E MANZIONE, R. L.

CONTRIBUTION OF WATERSHED MORPHOMETRY FOR GROUNDWATER CONSERVATION AND ADVANCE OF IRRIGATED AGRICULTURE IN THE OUTCROP AREA OF GUARANI AQUIFER SYSTEM

2 ABSTRACT

The basin morphometric analysis is the basis for understanding the natural physiographic conditions. The results provide susceptibility indicators to environmental degradation and assist in planning management and mitigating actions for the conservation and use of natural resources. The objective of this study was the morphometric characterization in an outcrop Guarani Aquifer System (GAS) area and to generate information for a better planning for groundwater resources conservation. The study area was Ribeirão do Jacú, Tejupá, SP, entirely in the outcrop area of GAS, a high vulnerability region with a tendency towards the advance of intensive irrigated agriculture. The Geographic Information System (GIS) was used for

morphometric evaluation. The results indicated that there is lower surface runoff trend and greater soil infiltration capacity, which leads to greater care in land use and local management.

Keywords: GAS, environmental planning, groundwater.

3 INTRODUÇÃO

Com a avaliação ambiental de uma região através de sua caracterização permite a identificação de complexidade do ecossistema perante à dinâmica de sua ocupação e vulnerabilidade, permitindo, desta forma, o seu uso sustentável e consciente da terra e a gestão de oportunidades de acordo com a realidade local (REISSLER e MANZIONE, 2017). Ao se compreender a dinâmica local é tornar possível a compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção e recuperação dos recursos naturais e seus serviços ecossistêmicos.

Áreas vulneráveis como as de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) constituem importantes entradas de água no sistema hídrico e são essenciais para a manutenção da qualidade e quantidade de água dos mananciais (REISSLER e MANZIONE, 2016). A intensificação da agricultura e pecuária em áreas de afloramento e recarga do aquífero põe em risco a disponibilidade de água (LUCAS e WENDLAND, 2016) - do ponto de vista quantitativo, quando a água é bombeada para alimentar campos de produção, bem como qualitativo, por carregar nutrientes e agroquímicos para a profundidade, atingindo os lençóis freáticos e contaminando as águas subterrâneas.

Adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio é fazer uma parceria entre uma ocupação ambientalmente responsável com as características naturais do terreno (HIRATA, 1994). Proteger e recuperar mananciais são ações importantes para atenuar futuros problemas com o abastecimento de água garantindo a

segurança hídrica em situações de escassez sem o perigo de se chegar ao seu esgotamento caso não forem preservados (REISSLER e MANZIONE, 2016).

Assim, o objetivo do estudo foi a caracterização morfométrica da Bacia do Ribeirão do Jacú, sabendo-se que o conhecimento da morfometria de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais com o objetivo de elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental e analisar as tendências da degradação ou conservação ambiental de bacias (TEODORO et al., 2007). Trata-se de um instrumento valioso tanto para a obtenção de indicadores ambientais como para a avaliação da capacidade de suporte ambiental diante dos diferentes usos e manejos da terra.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange a Bacia do Ribeirão do Jacú, afluente à margem esquerda do Rio Paranapanema à jusante da Represa Jurumirim. A bacia localiza-se no município de Tejuapá, sudoeste do Estado de São Paulo e está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos n° 14 (UGHRI-14), que corresponde à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA). O município localiza-se na latitude 23°20'34" Sul e na longitude 49°22'35" Oeste, a uma altitude de 765 metros, classificado como tipo climático tropical úmido e pluviosidade média de 1.200 mm/ano.

De acordo com o Relatório Síntese do Plano de Desenvolvimento e Proteção

Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (PDPA-SAG), proposto por Albuquerque Filho et al. (2011), o município de Tejupá está inserido em área delimitada como de proteção ao afloramento do Aquífero Guarani. Nos estudos realizados por Reissler e Manzione (2016), demonstra-se a apropriação de sistemas agrícolas e pecuária em Área de Preservação Permanente (APP) e o avanço da agricultura irrigada na Bacia do Ribeirão do Jacú, com uma tendência à intensificação da produção local.

Para a delimitação da área da Bacia do Ribeirão do Jacú, sua rede de drenagem e todas as medições de morfometria relativas ao comprimento dos canais de drenagem ou distâncias, utilizou-se ferramentas de medição de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) SPRING, via geoprocessamento da rede hidrográfica digitalizada e utilizando como referência as cartas topográficas do IBGE em escala de 1:50.000.

A ordem da bacia foi obtida segundo o sistema de Strahler (1957). Para os parâmetros dimensionais da bacia, foram utilizados os seguintes atributos: comprimento do rio principal (HORTON, 1945), comprimento total da rede de drenagem, perímetro da bacia e área da bacia.

Com os parâmetros dimensionais da bacia calculou-se as variáveis relacionadas à forma e à drenagem da bacia: composição da rede de drenagem e fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade, razão de ramificação ou de bifurcação, relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem e relação entre o comprimento de cada ordem (HORTON, 1945; VILLELA e MATTOS, 1975).

As variáveis relativas à drenagem foram: densidade de drenagem (HORTON, 1945; FRANÇA, 1968; RODRIGUES et al, 2013), densidade hidrográfica e extensão do percurso superficial da enxurrada (CHRISTOFOLETTI, 1969) e índice de sinuosidade dos canais (HORTON, 1945; ALVES e CASTRO, 2003).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os atributos da rede de drenagem e parâmetros dimensionais do Ribeirão do Jacú constatou-se a área da Bacia calculada em 36,74 km², perímetro de 37,21 km, comprimento do canal principal de 16,64 km e rede de drenagem total de 54,03 km (Tabela 1).

Tabela 1. Características físicas da Bacia do Ribeirão do Jacú.

Características Físicas	Unidade	Resultados
Área da Bacia (A)	km ²	36,74
Perímetro da Bacia (P)	km	37,21
Comprimento da drenagem total (Cr)	km	54,03
Comprimento do canal principal (Cp)	km	16,64
Fator de forma (Ff)	-	0,13
Índice de circularidade (Ic)	-	0,33
Coefficiente de compacidade (Kc)	-	1,72
Ordem (W)	-	4
Densidade hidrográfica (Dh)	-	1,28
Densidade de drenagem (Dd)	km/km ²	1,47
Coefficiente de manutenção (Cm)	m/m ²	0,68
Extensão do percurso superficial (Eps)	m	340
Índice de sinuosidade (Is)	-	1,28

Os resultados (Tabela1) apresentam Ff= 0,13, Ic= 0,33 e Kc = 1,72. Esses valores revelam que o formato da Bacia do Ribeirão do Jacú constitui-se como comprida, com baixa suscetibilidade à degradação e tendências à conservação. Para todos esses valores, quanto mais eles forem próximos a 1, maior a sua correspondência com uma bacia circular (GANDOLFI, 1971, citado por SILVA et al, 2006).

Em relação aos parâmetros Ff e Ic, quanto maior o seu valor, mais circular ou redonda será a bacia. Como consequência de um alto valor, maior será o risco de concentração rápida da água da chuva em seu canal principal, aumentando sua vulnerabilidade a inundações, assoreamentos e degradação ambiental.

Para valores de Kc, quanto maior for o seu índice, mais alongada será a bacia, o que diminui os riscos de concentração rápida da água das chuvas para o canal principal, diminuindo também os eventos de assoreamentos, inundações e degradação ambiental.

A Dh está relacionada à frequência de cursos de água na área da bacia, representando sua dinâmica hidrográfica e

sua propensão de gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1969). O valor do Dh encontrado para a Bacia do Ribeirão do Jacú foi de 1,28, indicando que há 1,28 canais por km² da bacia.

A bacia possui uma Dd calculada em 1,47 km de rios/km² de área, o que possibilita inferir que o substrato da bacia permite uma maior infiltração da água da bacia e baixo escoamento superficial e maior, conferindo a esta bacia características de um funcionamento estável pela alta relação infiltração/deflúvio.

O Cm, que corresponde a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1969), foi de 0,68 m²/m na bacia de estudo. Já a Eps, que representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente foi de 340 m.

O Is, que relaciona o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) com a sua distância vetorial (comprimento em linha reta), foi de 1,28 para a Bacia do Ribeirão do Jacú. Valores próximos a 1 (um) retratam que o canal possui tendência a ser retilíneo e menos sinuoso, com alto controle estrutural ou energia

(RODRIGUES et al, 2013). O fator sinuosidade dos canais também pode ser influenciado pela carga de sedimentos nos canais, pela sedimentação litológica, estruturação geológica e sua declividade (LANA et al, 2001).

De acordo com o sistema de classificação de Strahler (1957), o Ribeirão do Jacú se apresenta como uma bacia de 4ª ordem, com padrão de drenagem definido como dendrítico, apresentando um grande

número de nascentes e consideráveis ramificações. Esse aspecto configura uma grande ocorrência de segmentos de primeira ordem e um relevo consideravelmente recortado. Pela Tabela 2 é possível identificar a ocorrência de 65 canais de primeira ordem, 19 canais de segunda ordem, 12 canais de terceira ordem e 13 canais de quarta ordem. Com a soma de 109 canais, a bacia totaliza uma rede de drenagem de 15,7 km de extensão.

Tabela 2. Ordem, quantidade e comprimento dos segmentos de rios da Bacia do Ribeirão do Jacú.

w	Nw	Lw (km)	Rb	Lmw (km)	RLm
1ª	65	30,74	2,37	0,68	1,02
2ª	19	8,84	1,58	0,46	1,24
3ª	12	6,88	0,92	0,57	0,68
4ª	13	7,57	–	0,58	–
Nt / Lt	109	54,03	–	–	–
Média	–	–	1,62	0,57	0,98

w: canais de cada ordem; Nw: número total de canais de cada ordem, Lw: comprimento total dos canais de cada ordem (em km); Rb: razão de bifurcação dos canais; Lmw: comprimento médio dos canais de cada ordem (em km); Rlm: relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; Nt: número total de Nw; Lt: número total de Lw.

A Rb na bacia de estudo foi considerada como baixa, calculada em 1,62. Segundo Horton (1945), quanto menor a razão de ramificação ou bifurcação da bacia, desde que ela esteja conservada, menor será a sua tendência de escoamento superficial e maior será a capacidade de infiltração da água pluvial no solo, conferindo alta relação entre infiltração e deflúvio.

Foi possível observar que a maioria dos tributários do Ribeirão do Jacú encontra-se em sua margem esquerda. Isso se explica pela formação geológica do terreno que se caracteriza por formações de basalto em sua margem esquerda e, que pelo seu aspecto de menor infiltração da água precipitada para o subsolo, maior a ocorrência de cursos superficiais nesta margem. Em contrapartida, a margem direita do Ribeirão do Jacú é caracterizada

pela ocorrência de arenitos que facilitam a infiltração da água pluvial, bem como qualquer insumo agrícola utilizado em superfície, podendo percolar mais facilmente no subsolo, atingindo mais facilmente corpos d'água subterrâneos e agravar os processos de contaminação neste meio.

6 CONCLUSÃO

Embora a Bacia do Ribeirão do Jacú se apresentar com uma tendência à conservação por sua baixa suscetibilidade à degradação natural sem grandes preocupações com inundação e assoreamento, ela também confere a característica de menor tendência de escoamento superficial e maior capacidade de infiltração do solo, o que remete à

necessidade de uma maior prudência com o uso e manejo da terra local, sabendo-se de sua característica de vulnerabilidade por estar em área de afloramento do SAG. Ao considerar que as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas estão

relacionadas ao uso da terra, neste caso em especial a atividade agrícola, são imprescindíveis as boas práticas de manejo da terra, uso controlado de agroquímicos e o descarte correto de resíduos sólidos.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, J. S. et al. **Sistema Aquífero Guarani: Subsídios ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPLA – Coordenação de Planejamento Ambiental, 2011. 102p.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões delineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

GANDOLFI, P. A. **Investigações sedimentológicas, morfométricas e físico-químicas nas bacias do Mogi-Guaçu, do Ribeira e do Peixe**. 1971. 108 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Geologia e Mecânica dos Solos, EESC-USP, São Carlos, 1971.

HIRATA, R. C. A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no Estado de São Paulo, São Paulo**. 1994. 195 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. v. 56, n.3, p. 275-370, 1945.

LANA, C. L; ALVES, J. M. P; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da Bacia do Rio Tanque, MG – Brasil. **Revista da Escola de Minas**. v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001.

LUCAS, M.; WENDLAND, E. Recharge estimates for various land uses in the Guarani Aquifer System outcrop area. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 7, p. 1253-1262, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2015.1031760>.

REISSLER, J; MANZIONE, R. L. Classificação do uso da terra em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani entre 2002 e 2011: o caso da bacia do Ribeirão do Jacú, Tejuapá/SP. **Águas Subterrâneas**. São Paulo, v. 30, n. 2, p. 127-189, 2016.
<http://dx.doi.org/10.14295/ras.v30i1.28512>.

REISSLER, J; MANZIONE, R. L. Conservação das águas subterrâneas e o avanço da agricultura irrigada em áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR, 18., 2017, Santos, SP. Anais... Santos: INPE, 2017.

RODRIGUES, V. A. et al. Morfometria da microbacia Ribeirão das Araras. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Garça, v. 21. n. 1, p. 25-37, 2013.

STRAHLER, A. N. Quantitative analyses of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, v.38, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.