

POTENCIALIDADES DO USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIGs) NO ENSINO DE HIDROLOGIA: A UTILIZAÇÃO DE UM ESTUDO DE CASO

POTENTIAL USE OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) IN THE TEACHING OF HIDROLOGY: A CASE STUDY USE

Alexandra Rodrigues Finotti

Engenheira civil. Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFRGS). Professora adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFCS).

Gisele Cemin

Licenciada em Ciências Biológicas. Mestre e doutoranda em Sensoriamento Remoto (UFRGS). Professora Assistente da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

Eduardo Périco

Biólogo. Doutor em Ecologia (USP). Professor Adjunto do Centro Universitário UNIVATES. (UNIVATES).

RESUMO: O uso do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) no estudo do espaço geográfico vem se tornando um forte aliado dos professores que buscam incorporar novos métodos e tecnologias no processo de ensino aprendizagem. A manipulação, representação e visualização de dados da superfície terrestre na forma de mapas, facilitam a compreensão e estimulam o interesse do aluno pelo conteúdo. Neste sentido, este trabalho visa mostrar as potencialidades do uso do sensoriamento remoto e dos SIGs no ensino, especificamente no ensino de hidrologia, utilizando a análise fisiográfica de uma bacia hidrográfica piloto.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Sistema de informação geográfica; Hidrologia; Ensino.

ABSTRACT: *The use of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) in the geographical space study has become a strong ally of teachers seeking to incorporate new methods and technologies in teaching and learning process. The manipulation, representation and visualization of earth surface data in the form of maps, facilitate understanding and stimulate student interest by the content. Thus, this paper shows the potential of using remote sensing and GIS in education, specifically in the teaching of hydrology, using as a study case the physiographic analysis of a pilot watershed.*

Keywords: *Remote sensing; Geographic information system; Hydrology; Education.*

INTRODUÇÃO

Os recursos da informática vêm sendo utilizados, na educação, de diversas formas desde 1960, mas apenas na década de 80, com a diminuição dos preços dos computadores e o surgimento de interfaces mais amigáveis se tornou possível instituir projetos de informática na educação (ALMEIDA & FONSECA JÚNIOR, 2000). Este avanço da informática, aliado a processadores cada vez mais potentes, permitiu a utilização de programas específicos para o processamento, manipulação e tratamento de imagens de satélite e fotografias aéreas como apoio no ensino-aprendizagem em diversas disciplinas que buscam estudar o espaço geográfico.

A nova Lei de diretrizes e bases da educação nacional (BRASIL, 1996) aborda a necessidade da educação básica e superior trabalhar conteúdos e recursos que qualifiquem o cidadão para a vida na sociedade moderna e tecnológica. Neste sentido, dados cartográficos digitais e de sensoriamento remoto, aliados aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) constituem uma ferramenta de grande importância no estudo do meio ambiente, sendo assim, um instrumento que pode auxiliar professores que ministram disciplinas que tem como foco principal o meio ambiente.

O sensoriamento remoto permite a aquisição de informações sobre objetos da superfície terrestre sem contato físico com eles. Segundo Novo (1989) o sensoriamento remoto consiste na utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações. Para a extração de informações das imagens de sensoriamento remoto são utilizados os SIGs. Os SIGs são definidos por um poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real (BORROUGH, 1986).

O sensoriamento remoto e os SIGs constituem uma técnica relativamente nova e que infelizmente ainda não foi incorporada a várias áreas do conhecimento em toda sua plenitude. Isto ocorre muitas vezes em função da deficiência na formação de vários profissionais que na época de sua graduação/formação ainda não dispunham da técnica desenvolvida ou mais popularizada.

Uma destas áreas é o ensino da hidrologia nos mais variados cursos de graduação. A incorporação desta ferramenta no ensino da hidrologia, além do benefício trazido para a própria disciplina em si, traz uma série de outras conseqüências importantes na formação do aluno. Melhora a integração entre áreas do conhecimento, o que no estudo do ambiente é fundamental. Permite a visualização da bacia hidrográfica como ponto de partida para o desenvolvimento de outras disciplinas integrando a hidrologia com estas. E permite ainda a incorporação da análise de paisagem e da cobertura vegetal na geração de escoamentos de forma antes impossível ou bastante precária na hidrologia, apesar de sempre ter sido considerada sua importância. Além de facilitar a incorporação da hidrologia no planejamento ambiental.

Após a adoção da bacia hidrográfica como unidade do planejamento dos recursos hídricos, com a Lei Federal N° 9433/97, esta unidade passa a ser de fundamental importância em todos os estudos associados ao meio ambiente. A bacia hidrográfica pode

ser definida como unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo divisor de água. Atualmente, configura-se como uma das principais unidades de gerenciamento territorial para as atividades agrossilvopastoris, sendo modelada pelas condições geológicas e climáticas locais. Entretanto, em função do desenvolvimento da sociedade, cada vez mais as bacias hidrográficas têm sofrido alterações na estrutura física dos canais, no aporte de sedimentos, na composição da biota, no regime hidráulico e no fluxo de matéria e energia. Tais alterações e o padrão espacial do uso e cobertura do solo têm importantes efeitos sobre a produção e o transporte de sedimentos (VANACKER *et al.*, 2005). Na formação de alunos dos cursos que envolvem a área ambiental, esta unidade pode ser integradora na produção do conhecimento, podendo ser o suporte para o ensino-aprendizagem mais voltado para a abordagem holística e menos compartimentada.

Sensoriamento remoto e hidrologia

O sensoriamento remoto (nos currículo dos cursos das áreas ambientais, tais como: geografia, biologia e engenharia ambiental) foi inserido como uma disciplina isolada e não tem sido trabalhado como uma ferramenta auxiliar em outras disciplinas. Algumas das disciplinas em que esta ferramenta deve apresentar bons resultados são: hidrologia e climatologia, na gestão dos recursos hídricos e nos estudos de impactos ambientais. Entretanto as grades curriculares ainda primam pela compartimentalização assim como a ciência ocidental de uma forma geral.

A grande dificuldade em promover a comunicação entre estas áreas com o sensoriamento remoto e os SIGs está na formação dos professores, que na maioria das vezes, são especialistas em uma ou outra área, tornando mais difícil a comunicação entre as disciplinas. O especialista em sensoriamento remoto e com conhecimento dos SIGs não possui grande domínio sobre a área da hidrologia e o hidrólogo, por sua vez, não domina estas ferramentas, bem como nenhum dos dois trabalha os resultados obtidos a partir da visão da ecologia. Os maiores prejudicados são os alunos que deverão fazer as inter-relações por conta própria sem o auxílio do professor e do ambiente de sala de aula.

Neste artigo é relatada a proposta de inserção do sensoriamento remoto e dos SIGs dentro do currículo das disciplinas de hidrologia e climatologia a partir do conhecimento e experiência de três professores com diferentes áreas de especialização: engenharia, sensoriamento remoto e ecologia; os quais, atuam em diferentes disciplinas ligadas à área ambiental, em duas diferentes instituições de ensino superior no Rio Grande do Sul. A idéia é fazer o elo entre os diferentes campos de conhecimento sem perder de

vista o objetivo da disciplina que é o ensino da hidrologia. Este elo permite que a hidrologia seja mais facilmente inserida em outras áreas de atuação, como o planejamento ambiental e a análise de impactos ambientais. Neste sentido está sendo conduzido um projeto de compatibilização destas áreas que objetiva:

- Melhorar a formação dos alunos de cursos que trabalham a área ambiental em seus currículos;
- Ampliar a escala de estudo dos fenômenos da hidrologia para a escala da bacia, visto que hoje alguns dos compartimentos do ciclo são trabalhados na bacia, mas em uma dimensão pontual devido à dificuldade de avaliação espacial;
- Auxiliar professores na montagem de um currículo de hidrologia que traga as ferramentas de sensoriamento remoto dentro de sua proposta;
- Produção de material didático que permita o ensino em conjunto.

Há várias áreas da hidrologia nas quais o sensoriamento remoto e os SIGs podem trazer grandes avanços. Como por exemplo, avaliação da evapotranspiração, toda a parte de descrição fisiográfica da bacia, avaliação da magnitude do impacto da vegetação sobre os escoamentos através do uso de imagens de satélite e sua evolução ao longo do tempo, avaliação da distribuição da precipitação, estudos climatológicos, modelagem espacial, avaliação da recarga de aquíferos e modelos de simulação hidrológica e ambiental.

ESTUDO DE CASO

Fisiografia, hidrologia, sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)

A integração do sensoriamento remoto e dos SIGs com as disciplinas relacionadas iniciou pela hidrologia e mais especificamente pela fisiografia da bacia hidrográfica. Esta área da hidrologia requer o uso de mapas e, antes dos SIGs, era feita manualmente com o auxílio de equipamentos de desenho como planímetro e curvímetro. Com o uso dos SIGs, os dados do meio físico passaram a ser manipulados digitalmente, permitindo realizar medidas diretas, efetuar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados.

No Brasil, desde 1986, com a resolução CONAMA 001 (BRASIL, 1986), a bacia hidrográfica é reconhecida legalmente como unidade de planejamento. No seu artigo 5º,

item III, é explicitado: “definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominados da área de influência do projeto, considerando em todos os casos, a bacia hidrográfica, na qual se localiza”. Isso se deve ao fato da bacia hidrográfica ser a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas.

A manutenção dos recursos hídricos, no que diz respeito ao regime de vazão dos cursos d’água e da qualidade de água, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem. Um destes mecanismos, por exemplo, é a relação íntima que existe entre a cobertura vegetal e a água, especialmente nas cabeceiras dos rios onde estão suas nascentes. Esta condição natural de equilíbrio dinâmico vem sendo constantemente alterada pelo homem através do desmatamento, expansão da agricultura, abertura de estradas, urbanização e vários outros processos de transformação antrópica da paisagem, que alteram os ciclos biogeoquímicos e o ciclo da água. Levando em conta as projeções de crescimento da população mundial, não há dúvida de que os impactos ambientais destas transformações começam a ameaçar a sustentabilidade dos recursos hídricos (LIMA, 2000).

O sensoriamento remoto e os SIGs sempre foram apresentados como uma disciplina isolada, como um fim, e não como um meio, uma ferramenta. Utilizados como um fim têm sentido apenas se o objeto de estudo é de fato a técnica em questão e a criação de novas formas e campos de aplicação, o que normalmente não é o caso dos estudantes de cursos da área ambiental. Desta forma, a necessidade de aplicação da ferramenta em várias das disciplinas é fundamental. Neste caso ficam evidenciadas as limitações dos vários profissionais, formados no esquema compartimentado. Para transpor estes obstáculos é imprescindível a união de dois ou mais profissionais interessados em trabalhar de forma interdisciplinar.

Aplicação do sensoriamento remoto e SIGs na fisiografia de bacias hidrográficas

Para estudo de aplicação prática do sensoriamento remoto e dos SIGs na fisiografia foi escolhida uma área piloto, a sub-bacia do arroio Boa Vista, no Rio Grande do Sul. Esta sub-bacia está inserida entre as coordenadas 29°15’30” e 29°31’15” de latitude Sul e 51°26’43” e 51°58’20” de longitude Oeste.

Para a realização deste trabalho foi necessária a utilização das cartas planialtimétricas elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (BRASIL. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO, 1980), em escala 1:50.000, referente às folhas de Brochier (SH.22-V-D-V-2), Estrela (SH.22-V-D-V-1), Feliz (SH.22-V-D-III-3), Garibaldi

(SH.22-V-D-II-4) e Lajeado (SH.22-V-D-II-3), *software* de SIG *Idrisi*, versão 3.2, *software* de processamento de informações georreferenciadas SIG *Spring*, versão 4.3 e *software* *Microsoft Excel*.

Geração da base de dados

Para a obtenção da rede de drenagem da sub-bacia do arroio Boa Vista, as cartas planialtimétricas do Exército foram escaneadas e georreferenciadas no *software Idrisi* para a digitalização em tela desta informação. Este processo resultou em linhas vetoriais, que foram classificadas segundo sua hierarquia fluvial, de acordo com a metodologia proposta por Strahler (1952). Segundo este autor, os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordem, e assim sucessivamente.

As cartas planialtimétricas do Exército também foram utilizadas para a delimitação do perímetro da sub-bacia, através da identificação em tela, dos divisores de água, cotas das curvas de nível e valores dos pontos mais elevados (topos de morro).

Para a análise fisiográfica da sub-bacia optou-se pela utilização dos dados no formato vetorial, devido à maior precisão e praticidade. Os dados referentes ao limite da bacia e da rede de drenagem foram exportados do *software Idrisi* no formato “*.dxf”. Estes dados foram importados para o *software Spring 4.3* para a obtenção da área e perímetro da sub-bacia e comprimentos da rede de drenagem, utilizando a ferramenta “Operações Métricas”.

Análise linear da rede hidrográfica

Segundo Christofolletti (1979) a análise linear da rede hidrográfica refere-se às medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Neste trabalho foram avaliados os seguintes parâmetros:

Número total de canais (Nt) e número de canais por ordem (Nu): Neste caso também foi utilizado o sistema de ordenamento proposto por Strahler (1952), portanto, o valor do índice Nt será correspondente ao número de canais de primeira ordem, já que um rio sempre surge de uma nascente.

Comprimento total de rede de drenagem (Lt), comprimento total dos canais por ordem (Lu) e comprimento médio dos canais de cada ordem (Lmu): São variáveis dimensionais que neste trabalho foram expressas em km.

Relação de bifurcação: Expressa a relação entre o número de canais de certa ordem e o número de canais imediatamente superior (HORTON, 1945), conforme mostrado na Equação 1.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1} \quad (1)$$

Em que:

Nu é o número de canais de certa ordem;

Nu+1 é o número de canais de uma ordem imediatamente superior.

Análise areal da sub-bacia hidrográfica

Na análise areal estão englobados os índices das medições planimétricas e das medições lineares. Foram avaliados os seguintes índices:

Área e perímetro da bacia: O perímetro é o comprimento da linha que delimita o divisor de águas de uma bacia e que circunda a área da bacia. Estes parâmetros área e perímetro são duas variáveis de maior importância, havendo a necessidade de maior rigor na sua delimitação, pois, oferecem características que influenciam diretamente na geração de escoamentos na bacia hidrográfica (LIMA, 1996).

Índice de compacidade de Gravelius (índice de forma) e índice de circularidade: Relaciona perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de mesma área (equação 2). Quanto mais próximo de 1 mais compacta é a bacia, e maior a tendência em produzir escoamentos rápidos. De acordo com Villela & Mattos (1975) esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo da unidade:

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Em que:

P é o perímetro da bacia (km);

A é a área da bacia (km²).

As bacias com o formato retangular ou triangular são menos susceptíveis a enchentes que as circulares, ovais ou quadradas, que têm maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (ROCHA, 1997).

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (CARDOSO *et al.*, 2006). Para o cálculo deste índice, utilizou-se a equação 3, proposta por Miller, 1953.

$$I_c = \frac{4\pi * A}{P^2} \quad (3)$$

Sinuosidade do curso d'água - Índice de Sinuosidade: É a relação entre a distância foz do rio e a nascente mais distante em linha reta e o comprimento do rio principal no formato vetorial adaptado de Mansikkaniemi (1970), citado por Christofolletti (1981) (equação 4).

$$I_s = \frac{100(L - L_r)}{L} \quad (4)$$

Em que:

L é o comprimento do rio principal;

L_r é o comprimento, em linha reta, do exutório até a nascente mais distante.

Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade:

I muito reto	<20,0%
II reto	20,0-29,9%
III divagante	30,0-39,9%
IV sinuoso	40,0-49,9%
V muito sinuoso	50,0%

Densidade de drenagem: Consiste na relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica, sendo este índice considerado importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, vegetação e solos de uma bacia hidrográfica e está relacionado, com o tempo gasto para o escoamento superficial da bacia (HORTON, 1945).

Quanto maior a densidade de drenagem maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos no exutório (equação 5):

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (5)$$

Em que:

L é o comprimento de cada curso da água da bacia;

A é a área da bacia.

Densidade hidrográfica: Relação existente entre o número de canais e a área da bacia. Como neste trabalho foi utilizada a ordenação proposta por Strahler (1952), o número de cursos d'água deve corresponder ao número de canais de 1° ordem (equação 6):

$$Dh = \frac{Nu_{1^\circ \text{ ordem}}}{A} \quad (6)$$

Em que:

$Nu_{1^\circ \text{ ordem}}$ é o número total de canais de 1° ordem;

A é a área da bacia (km²).

A densidade hidrográfica (Dh) é uma variável de grande importância por representar o comportamento hidrológico de uma determinada área em um dos seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Constituição do perfil transversal do curso d'água principal: O perfil transversal consiste na verificação da variação de cotas altimétricas ao longo do comprimento do rio principal. A conformação do terreno para a elaboração do perfil foi obtida com base na interpolação nas curvas de nível, eqüidistantes 20 metros.

RESULTADOS

Sobre a aplicação da técnica

Os índices foram obtidos através do cálculo de dados primários, como o comprimento dos canais de cada ordem, utilizando a ferramenta de "Operação Métrica", disponível na barra de menus de ferramentas do *software* de SIG *Spring 4.3*. Todos os dados calculados pelo *software Spring* foram salvos no formato "*.txt" e posteriormente trabalhados no *software Excel*.

A sub-bacia do arroio Boa Vista abrange os municípios de Boa Vista do Sul, Barão, Brochier, Carlos Barbosa, Estrela, Garibaldi, Maratá, Poço das Antas, Salvador do Sul, São Pedro da Serra, Teutônia e Westfália, compreendendo uma área de aproximadamente 576,09 Km² e 150,68 km de perímetro, conforme o **quadro 1**, a sub-bacia apresenta uma ordem hierárquica correspondente a uma bacia de 5^o ordem. É composta por 436 canais, sendo que 351 de 1^a ordem, 65 de 2^a ordem, 16 de 3^a ordem, 3 de 4^a ordem e apenas um canal de 5^a ordem (**figura 1**).

Ordem fluvial	Nu (km)	Lu (km)	Lmi (km)	Rb
1 ^a ordem	351	466,93	1,33	5,40
2 ^a ordem	65	131,65	2,03	4,06
3 ^a ordem	16	63,60	3,98	5,33
4 ^a ordem	3	45,48	15,16	3,00
5 ^a ordem	1	47,59	47,59	
Total	436	725,55	-	-

Quadro 1 - Dados da análise linear da rede hidrográfica da sub-bacia do arroio Boa Vista. Nu: nº de canais por ordem; Lu: comprimento total; Lmi: comprimento médio; Rb: relação de bifurcação.

O índice de bifurcação reflete o grau de ramificação dos canais de uma bacia hidrográfica. Observa-se no **quadro 1** que o maior valor de Rb foi para os canais de 3^a ordem (5,33), seguidos pelos canais de primeira e segunda ordem.

No **quadro 2**, observam-se os dados relativos à análise areal da sub-bacia. A densidade de drenagem (Dd) foi de aproximadamente 0,60 km/km², sendo considerada, segundo Christofolletti (1969) baixa (Dd < 7,5 km/km²). Segundo o autor supracitado, nas rochas e regolitos em que a infiltração é mais dificultada há maior escoamento superficial, gerando possibilidades para a esculturação de canais permanentes e conseqüentemente uma densidade de drenagem mais elevada. Para Christofolletti (1980) a baixa densidade de drenagem permite comparar a suscetibilidade de ocorrer erosão em uma bacia. Neste sentido, um baixo valor de Dd torna a bacia menos suscetível à erosão dos solos. É importante ressaltar que a densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Esses valores ajudam substancialmente o planejamento do manejo da bacia hidrográfica (CARDOSO, 2006). A densidade hidrográfica indica o número de rios por unidade de área. Para a sub-bacia em questão, o valor encontrado foi de 0,48 rios/km², o que corrobora com o resultado da densidade de drenagem.



Figura 1 - Ordem hierárquica da sub-bacia do arroio Boa Vista, segundo Strahler (1952).

O índice de sinuosidade constitui um fator controlador da velocidade de escoamento das águas. O valor deste índice encontrado para a área de estudo foi de 42,41%, sendo considerado sinuoso. Analisando os valores encontrados para os índices de compacidade de Gravelius e circularidade ($Kc=1,75$ e $Ic=0,31$) pode-se inferir que a bacia não apresenta forma circular, tendendo a um formato mais alongado, apresentando menor possibilidade de enchentes rápidas em condições normais de precipitação. Uma bacia estreita e longa, com índice de compacidade maior que a unidade e índice circularidade menor que a unidade, apresenta uma menor possibilidade de ocorrências de chuvas intensas cobrindo concomitantemente toda a sua área, o que diminui a possibilidade de inundação.

Índices	Unidade	Resultados
A	Km ²	576,09
P	Km	150,68
Kc	adimensional	1,75
Ic	adimensional	0,31
Is	%	42,41
Dd	km/km ²	0,60
Dh	rios/km ²	0,48

Quadro 2 - Dados da análise areal da rede hidrográfica da sub-bacia do arroio Boa Vista. A: área; P: perímetro; Kc: coeficiente de compacidade de Gravelius; Ic: Índice de circularidade; Is: sinuosidade; Dd: densidade de drenagem; Dh: densidade hidrográfica

A **figura 2** ilustra o perfil longitudinal ao longo do arroio Boa Vista. A velocidade de escoamento de um rio depende, fundamentalmente, da inclinação do talvegue, sendo que quanto maior a inclinação do talvegue maior será a velocidade com que a água escoar. O perfil é também determinante na geração e transporte de sedimentos

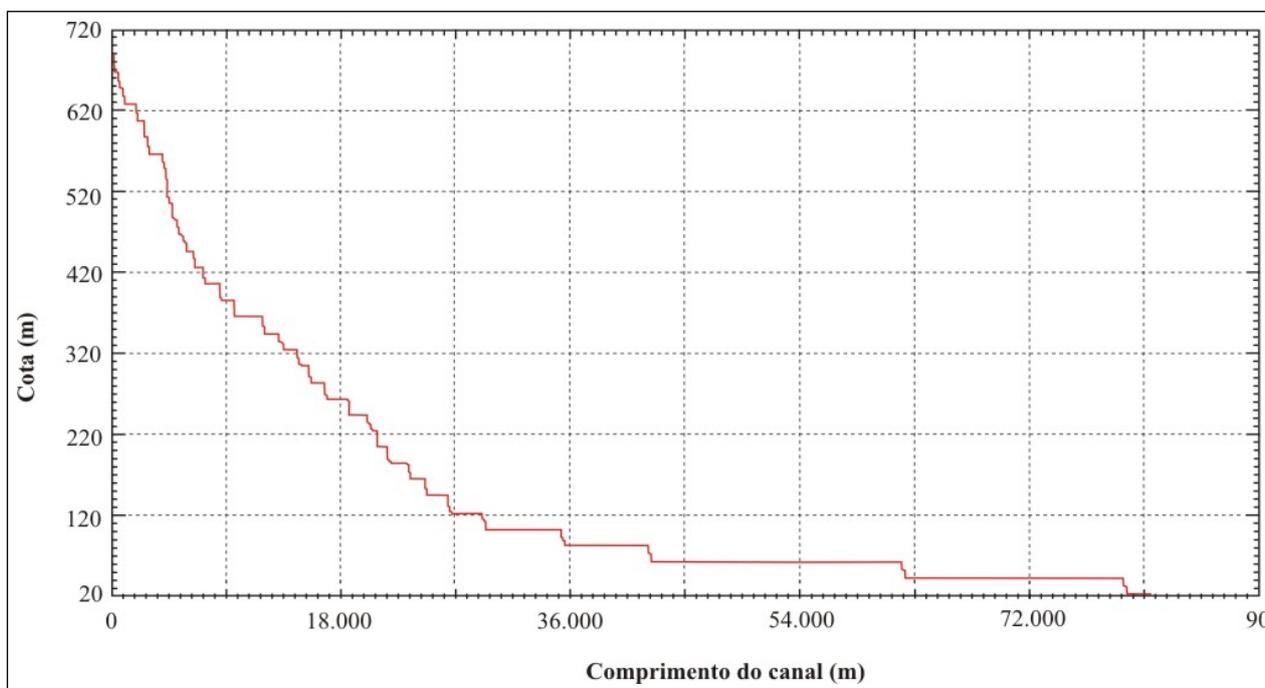


Figura 2 - Perfil longitudinal do curso d'água principal.

Preparação do material didático

Após a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e dos SIGs no estudo da sub-bacia hidrográfica do arroio Boa Vista, foi possível a elaboração de material didático de aplicação desta ferramenta na hidrologia. Antes desta iniciativa, toda a parte de fisiografia de bacias hidrográficas era trabalhada analogicamente através de mapas, curvímetros e planímetros. Esta nova ferramenta vem aumentar as habilidades dos alunos e contribuir com a formação de indivíduos que podem dar outro tipo de resposta aos problemas tradicionais da hidrologia.

A mesma metodologia continua sendo implementada para que os outros conteúdos da hidrologia venham a ser trabalhados com o sensoriamento remoto e SIGs. Posteriormente pretende-se expandir esta metodologia para a revisão dos conteúdos das disciplinas de Planejamento Ambiental, Gestão Ambiental e Avaliação de Impactos Ambientais presentes em alguns cursos da instituição. Todas estas disciplinas podem ter grandes ganhos quando trabalhadas com o auxílio do sensoriamento remoto.

CONCLUSÕES

Neste artigo foi discutida a inserção do sensoriamento remoto na disciplina de hidrologia e climatologia. Há uma grande dificuldade em se trabalhar o sensoriamento remoto como ferramenta nas mais variadas disciplinas em função da formação compartimentada dos professores. Neste sentido, com o trabalho conjunto, foi possível, através da interdisciplinaridade se atingir o objetivo. Para tanto, trabalhou-se sobre o conteúdo de fisiografia de bacias hidrográficas como laboratório para implementação da metodologia.

A aplicação do sensoriamento remoto e dos SIGs a uma bacia piloto, com finalidade didática, possibilitou concluir que estas ferramentas permitiram uma análise fidedigna da fisiografia da sub-bacia do arroio Boa Vista. A partir da caracterização fisiográfica, pode-se concluir que:

- a sub-bacia do arroio Boa Vista é de 5ª ordem, apresentando um sistema de relativamente ramificado;
- a densidade de drenagem é baixa, apresentando 0,60 km/km², indicando que as rochas da área de estudo são permeáveis;
- a sub-bacia apresenta uma forma alongada, sendo comprovado pelo índice de circularidade e coeficiente de compacidade, apresentando uma menor probabilidade de enchentes.

A partir da aplicação prática passou-se a elaboração de material didático sobre como aplicar o sensoriamento remoto e os SIGs para caracterização fisiográfica na hidrologia. A aplicação do material aos alunos iniciou-se com uma palestra sobre o tema, o que os deixou bastante satisfeitos com a possibilidade de trabalhar sob esta nova perspectiva. Afinal, antes desta experiência, a disciplina de sensoriamento remoto era quase que um fim em si mesmo, sem maior vinculação com suas aplicações em outras disciplinas. Este exercício prático de inserção do sensoriamento remoto no ensino de hidrologia facilitará o exercício da aplicação desta ferramenta, permitindo que sejam feitas ligações entre as duas disciplinas dentro de sala de aula e não isoladamente, como acontecia. Além disso, a sua inserção vai facilitar a análise fisiográfica de bacias hidrográficas, que poderá ser feita mais rapidamente e aplicada no cálculo de índices que manualmente seriam muito demorados e difíceis de executar.

O exercício interdisciplinar foi muito importante na própria formação dos professores e o material didático gerado deverá ser expandido, para outros conteúdos dentro da hidrologia e posteriormente para outras disciplinas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. J.; FONSECA JR., F. M. **PROINFO: projetos e ambientes inovadores**. Brasília: MEC-SEED/Parma, 2000. 96 p.
- BORROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems: methods and requirements for land use planning**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 194 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 001 de 23 de janeiro de 1986. Define impacto ambiental e toma outras providências. D.O.U de 17/02/1986.
- BRASIL. Lei Federal 9.394 de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases educação nacional. D.O.U de 23/12/1996.
- BRASIL. Ministério do Exército/Departamento de Engenharia e Comunicações/Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG). Folhas: **SH.22-V-D-V-2** (MI-2969/2) de Brochier, **SH.22-V-D-V-1** (MI-2969/1) de Estrela, **SH.22-V-D-III-3** (MI-2953/3) de Feliz, **SH.22-V-D-II-4** (MI-2952/4) de Garibaldi, **SH.22-V-D-II-3** (MI-2952/3) de Lajeado. Cartas topográficas na escala 1:50.000. Porto Alegre, 1980.
- CARDOSO, C. A; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**. v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**. v. 9, n. 18, p. 19-34, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blüchler, 1981. 313 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blüchler, 1980. 149 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. **Geografia**. v. 4, n. 8, p. 23-42, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blüchler, 1974. 149 p.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin Geological Society of America**. v. 56, n. 3, p. 275-330, 1945.
- LIMA, W. P. Importância das florestas para a produção de água. *In*: SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/ESALQ, 2000.
- LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 318 p.
- MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland: **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, v. 52, p. 16-32, 1970.
- MILLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee**. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, Columbia University. 1953.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blüchler, 1989. 308 p.
- ROCHA, J. S. M. da **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997. 423 p.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-920, 1952.

VANACKER, V.; MOLINA, A.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DERCON, G.; DECKERS, S. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. **Geomorphology**. v. 72, n. 1-4, p. 340-353, 2005.

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

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

FINOTTI, Alexandra Rodrigues; CEMIN, Gisele; PÉRICO, Eduardo. Potencialidades do uso do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) no ensino de Hidrologia: a utilização de um estudo de caso. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 51-65, jan./abr. 2011. URL: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>>

EDITOR DE SEÇÃO:

Rosely Sampaio Archela

TRAMITAÇÃO DO ARTIGO:

✓ Recebido em 05/05/2010

✓ Aceito para publicação em 22/02/2012