

# UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA TOMADA DE DECISÃO EM ESTUDOS DE POLUIÇÃO URBANA

USING THE REMOTE SENSING DATA AS IMPLEMENT TO MAKING A DECISION IN URBAN POLLUTION STUDIES

Marcelo Guimarães Ribeiro<sup>1</sup>  
Jorge Antonio Silva Centeno<sup>2</sup>

RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S. Utilização de dados de sensoriamento remoto como ferramenta para tomada de decisão em estudos de poluição urbana. **Akrópolis** Umuarama, v. 21, n. 1, p. 55-62, jan./jun. 2013.

**RESUMO:** O viés da preocupação ambiental tem estado cada vez mais em evidência em nossa sociedade, destacando-se a questão da qualidade dos corpos hídricos que margeiam ou atravessam as grandes cidades. As técnicas de Sensoriamento Remoto, em especial as informações obtidas por análise de imagens de satélite, fotografias aéreas e tecnologia LIDAR (*Light Detection And Ranging*), podem fornecer importantes subsídios sobre o potencial poluidor de áreas urbanas edificadas aos corpos hídricos. Desta maneira, este trabalho verifica o aproveitamento dos dados de sensoriamento remoto para quantificar a poluição difusa dos diferentes telhados presentes em uma cena urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto; Poluição urbana; Corpos Hídricos.

<sup>1,2</sup>UFPR – Depto. De Geomática – Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas  
Caixa Postal 19001 – CEP: 81531-990.  
Curitiba-PR  
mgcivil@hotmail.com; centeno@ufpr.br

**ABSTRACT:** The environmental concerning has being on evidence on our society more and more. Where we highlight the quality of water bodies, which surround or cross out big cities. The remote sensing technique, in special as obtained information by analysis of satellite images, aerial photographs and LIDAR (*Light Detection And Ranging*) technology, it can provide important subsidy about the polluting potential of urban areas to the water bodies. On this way, this paper verifies the use of remote sensing data to qualify the diffuse pollution of the different roofs on the urban context.

**KEYWORDS:** Remote sensing; Urban pollution; Water bodies.

Recebido em Novembro de 2013  
Aceito em Dezembro de 2013

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, essencial para a vida na terra, todos os seres vivos dependem dela para a sua sobrevivência. Embora a quantidade de água no planeta esteja se mantendo constante ao longo dos tempos, o produto “água” vem se tornando escasso. A responsabilidade deste fato recai sobre o ser humano e as atividades realizadas por ele para manter o seu modo de vida. Estima-se que em pouco tempo este recurso possa vir a tornar-se motivo de conflito entre os povos. Neste sentido, medidas de manutenção e até mesmo recuperação da qualidade dos corpos de água se tornam necessárias. O planejamento das ações da sociedade deve levar em conta a preservação das condições ambientais, para garantir a oferta deste bem no futuro.

Em espaços urbanos, o acúmulo de indivíduos em espaços reduzidos acaba por gerar uma série de problemas ambientais. Pode-se destacar a disposição final do lixo sólido, produzido diariamente. Outro problema é a demanda cada vez maior por água potável, fazendo com que empresas fornecedoras de água tenham que realizar a captação em locais excessivamente distantes dos pontos de consumo. Tais problemas são de fácil percepção da sociedade, isto é, o cidadão consegue visualizar, de uma forma simples, a necessidade de medidas de mitigação para resolver tal situação.

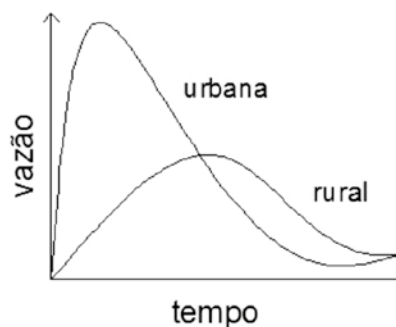
Para se combater este problema é necessário o conhecimento a respeito da distribuição espacial dos materiais que compõem a cobertura dos solos, deve-se conhecer os caminhos percorridos pela água durante o seu escoamento, e as substâncias que ela entra em contato neste percurso. Também são necessárias informações a respeito da qualidade atual da água dos corpos receptores. O profissional de recursos hídricos necessita então de informações atualizadas e de qualidade para lidar com este problema. A utilização de dados provenientes de sensores remotos aparece como uma saída de custo reduzido e de rápida aquisição quando comparada aos métodos de investigação *in situ*.

A possibilidade de utilização da informação integrada de dados multiespectrais e tridimensionais aparece como uma alternativa promissora nesta área. Países desenvolvidos como os da Europa e América do norte têm feito uso desta tecnologia para avaliar o efeito da ativida-

de humana nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Nesta pesquisa, técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas para fazer o uso integrado de dados de diferentes sensores, com diferentes resoluções, para determinar a ocorrência e distribuição espacial dos diferentes materiais na cena urbana.

## ESCOAMENTO SUPERFICIAL E A POLUIÇÃO HÍDRICA

O escoamento superficial urbano é a principal causa da poluição dos corpos receptores de água, segundo Akan et al. (2003). Tucci em 1993 afirmou que em ambientes urbanos onde a cobertura da bacia é alterada, substituindo o solo e a vegetação por superfícies impermeáveis, é verificado o aumento da velocidade e quantidade de água escoada, como mostra a figura 1. Nota-se que na bacia urbana o pico da vazão em um evento de chuva, acontece mais rápido e com maior intensidade, o que acaba gerando as enchentes nas grandes cidades. Quanto mais rápido é o escoamento superficial, maior será o poder destrutivo das águas e, portanto as superfícies dos objetos serão mais facilmente lavadas, aumentando com isso o aporte de sedimentos e poluentes aos corpos receptores.



**Figura 1:** Diferenças entre o hidrograma em uma bacia urbana e rural.

Akan et al. (2003), comentam que as superfícies das cidades acumulam vários tipos de poluentes durante a fase seca. Estes poluentes têm as mais diversas origens: gasolina e óleo de veículos automotores, sedimentos das atividades da construção civil, substâncias químicas de gramados, lixo e materiais sólidos descartados pelas pessoas, além de matéria fecal de animais. Estes poluentes em um período de chuva podem ser lavados e transportados por escoamento superficial, atingindo os corpos de água

receptores e diminuindo a qualidade da água destes.

Para Gnecco et al. (2005) a principal causa da deterioração da qualidade da água em corpos receptores é a poluição difusa resultante de escoamento superficial urbano. Artina et al. (1999) apud Gnecco et al. (2005), aponta que a carga de poluição associada ao primeiro fluxo de escoamento em eventos de chuvas pode ser maior que o aporte de poluentes de efluentes domésticos em períodos secos. Leite Costa (2013) corrobora a importância do fluxo inicial de chuvas na lavagem dos poluentes e o consequente aumento da concentração de poluentes nesta fase do escoamento.

Na Literatura são encontrados vários estudos sobre a produção de poluentes nas superfícies dos diferentes materiais encontrados na cena urbana e que afetam os corpos receptores de água. A se destacar os trabalhos de Quek e Förster (1993), Ekstrand et al. (2001), Chang et al. (2004), Gnecco et al. (2005) e Figueroa et al. (2007).

## POLUIÇÃO CONFORME O TIPO DE MATERIAL

Basicamente a carga de poluentes associada ao escoamento superficial em áreas urbanas é produzida pelo tráfego veicular, telhados de edificações e outras atividades humanas. A interação da água da chuva com as superfícies encontradas no ambiente urbano transporta os poluentes para os corpos de água.

Os materiais constituintes das telhas das edificações, podem afetar de forma diferente a qualidade da água da chuva que cai sobre os mesmos. Chang et al. (2004) concluem que os telhados podem ser fontes de poluição difusa, porém eles alertam para o fato de que os efeitos desta poluição podem variar. A variação reflete os diferentes materiais utilizados na fabricação das telhas, cuidados e manutenção, idade, condições climáticas e a qualidade do ar na região. Hagemann, S. E. (2009) aponta que a qualidade da água pluvial, coletada diretamente da atmosfera, apresenta uma qualidade maior do que aquela que entra em contato com telhados de edificações.

Segundo Metre e Mahler (2003) telhas de materiais metálicos tornam-se uma maior fonte de contaminação, por cádmio e zinco, quando comparadas com telhas de materiais asfálticos.

Por outro lado o betume das coberturas asfálticas é uma importante fonte de contaminação por chumbo.

Yaziz et al. (1989) apontou que a concentração de coliformes fecais na água da chuva escoada é maior em amostras coletadas do escoamento de telhas cerâmicas, quando comparado a coberturas metálicas. Este fenômeno pode ser explicado devido a maior temperatura alcançada na superfície dos telhados metálicos que acaba por eliminar muitos coliformes.

Os diversos materiais encontrados em rodovias são uma fonte de poluição difusa cujos efeitos não provocam efeitos agudos imediatos, mas ao longo prazo a principal causa da degradação do solo e da água são normalmente metais pesados (LEITÃO, 2005). A origem dos poluentes em uma rodovia é bastante diversa, a tabela 1 mostra um resumo destes focos.

**Tabela 1:** Origem dos poluentes gerados em rodovias, de Leitão (2005).

TIPOS DE POLUENTES	FONTES DA POLUIÇÃO
Metais pesados	Pneus e pastilha de freio, combustível, aditivos para motor, ferrugem e barreira de choque.
Cádmio	Pneus e pastilhas de freio.
Cromo	Mancais, pneus e pastilhas de freio.
Cobre	Pneu, pastilhas de freio, radiadores .
Chumbo	Combustível, pneus e pastilhas de freio.
Zinco	Óleos lubrificantes, barreiras de choque, pneus e pastilhas de freios.
Hidrocarbonetos	Óleos, Combustíveis e gases emitidos.
PAHs <sup>1</sup>	Combustível, plásticos e pavimentos
Material Orgânico	Vegetação, Lixo e excrementos de animais.

## SENSORIAMENTO REMOTO E A POLUIÇÃO

A estimativa e identificação de fontes de poluição difusa geralmente demandam de investigações em campo. Esta prática ao longo dos

anos tem se demonstrado física e financeiramente onerosa. A solução para a determinação da distribuição espacial e intensidade da pavimentação em áreas urbanas passa pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto (BUTZ e FUCHS, 2003). O mapeamento da distribuição espacial de materiais em uma cena urbana, com dados de Sensoriamento remoto pode trazer rapidez e economia tanto na atualização como na confecção de novos mapas. Oliveira et al. (2013) utilizaram dados de imagens de satélite como auxílio para caracterização da qualidade de um corpo hídrico próximo a cena urbana.

Ekstrand et al. (2001) utilizaram fotografias aéreas digitais para o mapeamento da distribuição de telhados de cobre na cidade de Estocolmo, Suécia. Os autores utilizaram uma câmara analógica com sensor CIR (*colour infrared*), as fotografias foram escaneadas com resolução espacial de 0.4 metros, e um modelo digital de elevação derivado de fotografias aéreas em preto e branco. Ekstrand et al. (2001) apontam que telhados de cobre e outras classes urbanas são mais facilmente separadas nas faces iluminadas pelo sol. Os principais problemas ocorreram em telhados ou outros objetos com faces não expostas a luz solar.

Para uma estimativa da produção de poluentes em ambiente urbano, pode ser necessário além de discriminar os diferentes materiais, também, verificar o grau de deterioração de cada material. Bassani et al. (2007) realizaram uma pesquisa na qual foram identificados a idade e o estado dos telhados com telha de cimento amianto na cidade de Follonica, Itália. Para este estudo foram coletadas imagens com o sensor MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*).

## ÁREA DE ESTUDO

Foram selecionadas duas áreas de estudo no município de Curitiba, estado do Paraná, para a realização desta pesquisa. A área 1 localiza-se no bairro Parolim desta capital. A empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A disponibilizou um levantamento laser scanner do equipamento ALS 50 e uma fotografia aérea com a câmera DS-40, ambos do ano de 2002.

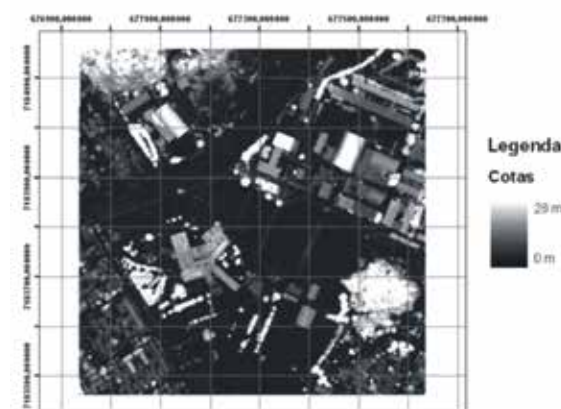
Uma segunda área de estudo foi selecionada no bairro Jardim das Américas, próxima ao centro politécnico da Universidade Federal do Paraná. Foram disponibilizados pelo LACTEC

(Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) um levantamento LIDAR realizado com o sensor ALTM 2050 em 2006, e uma fotografia métrica obtida com uma câmera da marca WILD modelo RC-10, voo realizado no ano 2002. Além disso uma imagem do satélite QuickBird II encontrava-se disponível. A tabela 2 apresenta um quadro resumo sobre os dados disponíveis em cada uma das regiões utilizadas neste trabalho.

**Tabela 2:** Dados disponíveis.

Região	Dados disponíveis
1 Bairro Jardim das Américas	-Levantamento Laser Scanner LACTEC -Fotografia Aérea RGB. - Imagem QuickBird II
2 Bairro Parolin	-Levantamento Laser Scanner Esteio S.A. -Ortofoto CIR.

Ao se analisar dados de sensores remotos e classificá-los de maneira automática pode haver confusão na separação dos telhados e dos pavimentos, uma vez que alguns tipos de materiais como pavimento asfáltico e cobertura com telhas de fibrocimento apresentam resposta espectral parecida. Para se contornar este problema utiliza-se um MDS (modelo digital de superfície) produzido a partir dos dados do sensor laser. A figura 2 mostra um resultado do MDT produzido, no qual é possível haver a separação de materiais com resposta espectral próxima, a partir da análise de suas cotas.



**Figura 2:** Exemplo de um MDS

Com base nos dados espectrais oriundos da fotografia aérea, da informação da região do infravermelho próximo de uma imagem de

satélite do sensor QuickBird II e do MDSn foi realizada a classificação multispectral dos dados de um recorte da cena (figura 3).



**Figura 3:** Recorte da ortofoto.

Para classificação espectral utilizou-se os métodos da distância mínima e da máxima verossimilhança por serem consagrados na literatura do tema. Os processos de classificação estatísticos (Distância mínima, Máxima verossimilhança), necessitam de uma fase preliminar onde são coletadas amostras de treinamento. Após esta etapa a classificação propriamente dita é efetuada, e os resultados são comparados com novas amostras, denominadas de amostras de verificação. O objetivo do método da distância mínima é calcular a média de cada classe através das amostras coletadas. Em seguida é calculada a distância espectral entre um segmento a ser classificado e as médias derivadas do conjunto das amostras de treinamento. O segmento será atribuído à classe associada à menor distância. A equação 1 demonstra este procedimento. A equação 2 é usada como teste para executar a classificação do segmento.

$$d(x, w_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^M (x_i - m_{i,j})^2}$$

Onde:

$x_i$  - valor do segmento no descritor  $i$ ;

$m_{i,j}$  - média da classe  $j$  no descritor  $i$ ;

$$d^2(x, w_j) < d^2(x, w_k) \forall j \neq k$$

Por sua vez o método da máxima verossimilhança avalia quantitativamente a dispersão dos dados por meio da matriz variância e covariância de cada classe (LILLESAND e KIEFER, 1994). Para isso, é assumido que a distribuição dos membros de uma classe é normal. O cálculo da função discriminante utilizada para classificar os elementos é executado segundo a equação 3:

$$g_k(X) = \ln(p(\theta_k)) - \frac{1}{2} \cdot \ln|\Sigma_k| - \left[ \frac{1}{2} \cdot (X - m_k)^t \cdot \Sigma_k^{-1} \cdot (X - m_k) \right]$$

Onde:

$g_k(X)$  é a função discriminante;

$p(\theta_k)$  é a probabilidade *a priori* da classe  $k$ ;

$m_k$  vetor da média da classe;

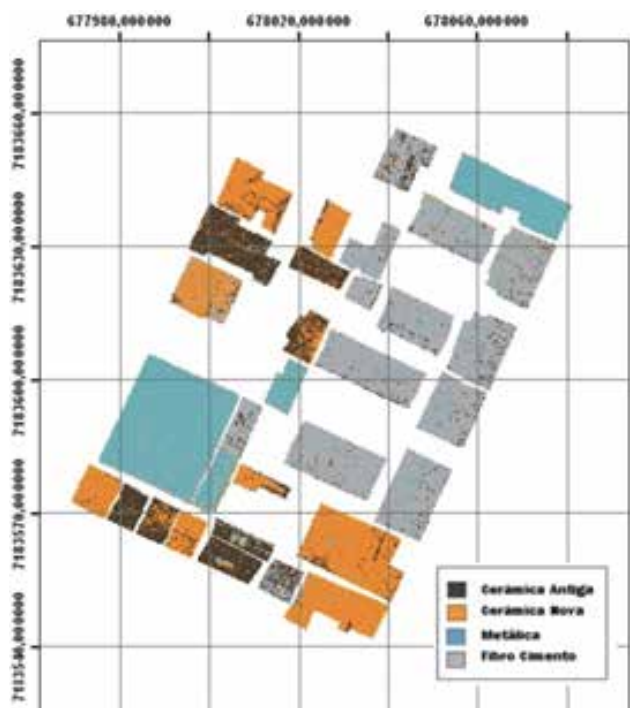
$\Sigma_k$  é a matriz de variância;

A decisão sobre a classificação é baseada na probabilidade condicional de um pixel pertencer a determinada classe, definida pela equação 4:

$$X \in \theta_j, \text{ caso } \dots g_j(X) > g_k(X)$$

para todo  $j \neq k$

A figura 4 apresenta o resultado da classificação pelo método da máxima verossimilhança utilizando um recorte que separa o telhado das edificações e a tabela 03 demonstra o resultado de acerto entre ambos os métodos.



**Figura 4:** Classificação pelo método da máxima verossimilhança

**Tabela 3:** Acerto da classificação pelos métodos da distância mínima e máxima verossimilhança.

Combinação	% porcentagem de acerto				Global
	Metálica	Fibroci-mento	Cerâ-mica nova	Cerâ-mica antiga	
Distância mínima	97,16	82,49	67,53	64,53	77,92
Máxima verossimi-lhança	93,77	83,09	86,68	66,95	82,62

### UTILIZAÇÃO DOS DADOS ESPACIAIS EM MODELOS DE POLUIÇÃO

Com base nos dados da espacialização da cena urbana e a presença de diferentes materiais sintéticos em sua cobertura superficial, pode-se alimentar sistemas SIG (Sistema de Informação Geográfica) criando assim um banco de dados com importantes informações a cerca do potencial poluidor destes diversos materiais.

Libos et al. (2003) monitoraram a qualidade da água de uma bacia hidrográfica com base na utilização de um sistema SIG que avaliava a distribuição espacial de poluentes de nitrogênio que seriam transportados por processo de lixiviação. Assim, com esta metodologia, pode-se estimar a carga poluente em um determinado corpo hídrico a partir da análise espacial.

Segundo Motta (2009), os SIGs são utilizados como ferramenta de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, entre outras aplicações complexas, que envolvem diferentes componentes dinâmicos.

O sistema nacional de Gerenciamento de recursos Hídricos (Singreh), é alimentado pelos diversos comitês de Bacia hidrográfica espalhados pelo país, sendo responsável pela gestão das águas no Brasil, (ANA, 2005). Assim as informações obtidas por meio dos dados de Sensoriamento remoto, como espacialização dos materiais presentes na cena urbana, aliados ao potencial poluidor destes materiais, podem alimentar o Singreh.

### CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida neste trabalho possibilitou a identificação de diferentes telhados presentes em uma cena urbana. Sabendo quais materiais estão presentes, se torna possível prever a quais tipos de riscos de poluição os corpos de água da mesma região estão expostos. Esta informação é útil para auxiliar os profissionais de recursos hídricos à tomada de decisão no gerenciamento de uma bacia hidrográfica. Durante a elaboração e execução deste trabalho, algumas conclusões puderam ser tomadas.

A integração de diferentes fontes de informações como imagens espectrais e dados altimétricos foi decisiva para melhorar o processo de classificação digital das imagens da região estudada. A inclusão da informação da região do infravermelho do espectro da luz visível se torna melhor aproveitada na forma de índice de vegetação (NDVI) do que como informação isolada.

### REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA/SPR, 2005. 179 p.

AKAN, A. O.; HOUGHTALEN R. J. **Urban hydrology, hydraulics, and stormwater**

**quality**. New Jersey, USA. 2003. 373 p.

ARTINA, S. et. al. **Water quality modeling in ephemeral streams receiving urban overflows. The pilot study in Bologna**. In 8<sup>th</sup> int. Conf. on Urban Storm Drainage, ICUSD, 1689-1596 p.; Sydney, 1999.

BASSANI, C. et. al. **Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data**. In Remote Sensing of Environment, 2007.

BUTZ, J.; FUCHS, S. **Estimation of sealed surfaces in Urban areas and the impact on calculated annual pollution load due to combined sewer overflows**. Symposium Remote Sensing of Urban areas, 35-40 p. Resenbourg, 2003.

CHANG, M.; McBROOM, M. W.; BEASLEY, R. S. Roofing as a source of nonpoint water pollution. **Journal of Environmental Management**, v. 73, p. 307-315, 2004.

EKSTRAND, S.; ÖSTLUND, P.; HANSEN, C. **Digital air photo processing for mapping of copper roof distribution and estimation of related copper pollution, in Water, Air and Soil Pollution: Focus**, v. 1, p. 267-278, 2001.

FIGUEROA, D. M.; O-VILLANUEVA, M. de; PARRA, M. L. de la. **Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México, in Atmospheric Environment**, v.41, p. 276-288, 2007.

GNECCO, I. et. al. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy. In: **Atmospheric Research**, v. 77, p. 60-73, 2005.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso. ... f.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LEITÃO, T. E. **Impact of road runoff in soil and groundwater. Synthesis of Portuguese and other European case-studies**. In The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Portugal, 2005.

LEITE COSTA, M. E. **Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. ...f.** 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 2013.

LIBOS, M.; ROTUNNO, O. C.; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá. Baseada em Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, 2003.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W.. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons. 3. ed. New York, EUA, 1994. 750 p.

METRE, P. C. V.; MAHLER, B. J.; **The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams**, in Chemosphere 53, 2003.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

OLIVEIRA, W. N. et al. Aplicação de geotecnologias na caracterização da qualidade da água de um trecho do Rio Extrema, no município de Anápolis – Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013.

QUEK, U.; FÖRSTER, J. Trace metals in roof runoff. **Water, Air and Soil pollution**, v. 68, p. 373-389, 1993).

TUTTI, C. E. M., **Hidrologia ciência e aplicação**. São Paulo, 1993. 943 p.

YAZIZ, M. I. et. al. Variations in rainwater quality from roof catchments. **Water Research**, v. 23, p. 761-765, 1989.

#### UTILIZACIÓN DE DATOS DE DETECCIÓN REMOTA COMO HERRAMIENTA PARA TOMA DE DECISIÓN EN ESTUDIOS DE POLUCIÓN URBANA

**RESUMEN:** El sesgo de la preocupación ambiental ha sido cada vez más evidente en nuestra sociedad, sobre todo la cuestión de la calidad de los cuerpos hídricos que bordean o cruzan las grandes ciudades. Las técnicas de teledetección, en particular, las informaciones obtenidas mediante análisis de imágenes

RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S.

de satélite, fotografías aéreas y la tecnología LIDAR (*Light Detection And Ranging*), pueden proporcionar informaciones importantes sobre el potencial contaminante de las aglomeraciones urbanas a los cuerpos hídricos. Así, esta investigación ha verificado el aprovechamiento de los datos de detección remota para cuantificar la contaminación difusa de los diferentes tejados presentes en una escena urbana.

**PALAVRAS CLAVE:** Detección remota; Contaminación urbana; Cuerpos hídricos.