

# ENGENHARIA AGRÍCOLA

## MODELAGEM DE UM COMPLEXO DE INUNDAÇÃO POR MEIO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS <sup>(1)</sup>

MARCELO LUIZ CHICATI <sup>(2\*)</sup>; MARCOS RAFAEL NANNI <sup>(3)</sup>;  
RONEY BERTI DE OLIVEIRA <sup>(3)</sup>; EVERSON CEZAR <sup>(3)</sup>

### RESUMO

O rio Paraná é o principal formador da bacia do Prata. Parte significativa dessa bacia está incluída na Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná. A compartimentalização dessas áreas assume caráter transitório, possibilitando no decorrer do tempo, mudanças para reordenação do sistema ambiental, devido ao fato de essa região ser alagada anualmente, seja pelas enchentes dos rios, seja pela ocorrência de precipitações pluviais diretas. Assim, o objetivo deste trabalho foi o estabelecimento do período de ocorrência bem como as áreas atingidas pelas enchentes do rio Ivaí. Os estudos concentraram-se no município de Querência do Norte (PR) onde se procedeu levantamento cartográfico e altimétrico do terreno e a incorporação de dados em um SIG - Sistema de Informações Geográficas que, posteriormente, juntamente com a incorporação de imagens orbitais Landsat, possibilitou a elaboração de um modelo numérico de terreno para representação da superfície. Pelos resultados verificou-se que a variação altimétrica do terreno foi superior a 100 metros e a variação sazonal das enchentes, 4 metros acima do nível normal do rio (9 metros em régua), caracterizando como em situação regular as lavouras regionais. O leito maior sazonal do rio Ivaí atinge a cota altimétrica de 235,04 metros.

**Palavras-chave:** alagamento, APA, rio Paraná, imagens orbitais.

### ABSTRACT

#### MODELLING A FLOOD COMPLEX THROUGH GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

The Paraná River is the main stream forming the Prata basin. Significant part of the basin is included in Environmental Protection Area (APA) Ilhas e Várzeas do Rio Paraná. The compartmentalization of these areas is intermittent, which over time changes to reorder the environmental system. This is because this region is frequently flooded annually, either by rivers or by direct rainfall. Therefore, the objective of this work was the establishment of the occurrence period of flooding of Ivaí river, a tributary of Paraná river and the affected areas by them. The studies focused on the Querência do Norte, State of Paraná, where altimetry and land use survey was conducted. The use of GIS data and orbital landsat images allowed construction of a numerical terrain model to represent the surface. The results showed altimetric variation greater than 100 meters and seasonal variation of the flooding 4 meters above the normal river level (9 meters in the scale), characterizing the crops grown in there as in regular situation. The seasonal flooding of the Ivaí river is 235.04 m above sea level.

**Key words:** flooding, Environmental Protection Area, Paraná river, orbital images.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 28 de fevereiro de 2007 e aceito em 3 de novembro de 2009.

<sup>(2)</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá (PR) Brasil. E-mail: mlchicati@yahoo.com.br (\*) Autor correspondente. Bolsista CNPq/CTHidro.

<sup>(3)</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá (PR), Brasil. E-mail: mnnanni@uem.br; roneyberti@yahoo.com.br, eversoncezar@yahoo.com.br.

## 1. INTRODUÇÃO

O rio Paraná, principal formador da bacia do Prata, é o décimo maior do mundo em descarga e o quarto em área de drenagem, sendo responsável por todo o Centro-Sul da América do Sul, desde as encostas dos Andes até a Serra do Mar, nas proximidades da costa atlântica (IBAMA, 2001).

A bacia do Paraná, em seu trecho brasileiro, é a de maior densidade demográfica do país, levando a um enorme consumo de água para abastecimento e também para indústria e irrigação. Uma parte significativa dessa bacia hidrográfica está incluída na Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná. Segundo NANNI (2000), a compartimentalização dessas áreas assume caráter transitório, o que permite mudanças gradativas do zoneamento, possibilitando, no decorrer do tempo, reordenação do sistema ambiental sem, contudo, causar prejuízos e/ou traumas no sistema socioeconômico regional. Esse processo se deve ao fato de essa região ser frequentemente alagada durante vários períodos do ano, seja pelas enchentes dos rios, seja pela ocorrência de precipitações pluviiais diretas (PIEDADE, 1995).

Grande parte das áreas sujeitas à inundação estão constantemente ocupadas pelas culturas de arroz e/ou mandioca. Dentro do aspecto regulatório, torna-se difícil a ação ou até pôr em prática medidas que venham proteger ou mesmo maximizar a produção dessas culturas, uma vez que, a sazonalidade das cheias com influência dos rios Ivaí e Paraná ainda não foi definida (TEREZAN, 2005). Essa situação contradiz a definição do "leito maior sazonal" definida por CONAMA (1985), referente a corpos d'água e que limita a porção permitida ao uso da terra, sendo assim responsável pela delimitação de áreas agricultáveis ou não.

Visando a essa definição, os sistemas de informações geográficas (SIG's), segundo ASSUNÇÃO et al. (1990), adequada e corretamente utilizados, tornam-se poderosas ferramentas que permitem a integração entre dados obtidos de diferentes fontes (imagens orbitais, mapas planialtimétricos, mapas geológicos etc). Dessa forma, torna-se imprescindível a realização de novos estudos nesta área visando à identificação de padrões de comportamento dos componentes principais deste ecossistema, que sejam mais coerentes com as necessidades locais e ambientais e que, além disso, tornem possível a otimização de métodos e técnicas que venham facilitar a gestão de toda APA.

Assim, o objetivo deste trabalho foi o estabelecimento do leito maior sazonal do rio Ivaí por meio de Sistema de Informações Geográficas, bem

como das áreas atingidas pelas enchentes e suas implicações na agricultura local.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Localizada na Região Noroeste do Estado do Paraná, compreendendo a parte paranaense da Área de Proteção Ambiental Federal das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná, instituída pelo decreto s/nº de 30/09/1997, com área de 1.003,069 ha, a região deste estudo situa-se no município de Querência do Norte, delimitada pelas coordenadas UTM, no fuso 22 SW, 238 - 252 km E e 7428 - 7438 km N, com área total de 59,5 km<sup>2</sup>. O clima local é classificado, segundo Koeppen, como Subtropical Úmido Mesotérmico com verões quentes, temperaturas médias superiores a 22 °C, e também com tendência à concentração de chuvas.

A área de estudos situa-se na "Unidade Geomorfológica Rio Paraná", e tem forma fortemente assimétrica. Essa unidade é proveniente de sedimentos antigos, primários e secundários, com espessura que varia de 5 a 6 metros na porção correspondente à planície de inundação. Três associações faciológicas compõem essa formação: 1) cascalho polimítico arenoso; 2) areia estratificada e seixosa; e 3) lama arenosa. (STEVANUX, 1994). O relevo é plano na maior parte de sua extensão, sendo remetido à classe suavemente ondulado em poucos trechos distintos, segundo a classificação da EMBRAPA (1988).

Para obtenção das informações cartográficas locais foi utilizado GPS com modo de correção diferencial, possibilitando posicionamento com erro menor que 5 metros. Os dados altimétricos foram coletados em campo por meio de teodolito estação total com sistema de reflexão por prisma modelo Leica TC 407, de alcance aproximado de 3500 metros, tornando possível a coleta de dados com erro não superior a 5 mm + 2''(0,7mgon) (LEICA, 2006).

Em todo o decorrer do processo de manipulação dos dados cartográficos foi utilizado o software denominado Sistema de Processamento de Informações Geocodificadas - SPRING desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Por meio deste, foi possível a criação de um Banco de Dados Georreferenciados ao qual se agregou uma vasta gama de informações de fontes variadas, como cartas planialtimétricas, fotografias aéreas, imagens orbitais e dados de campo.

A representação da superfície real do terreno no sistema computacional foi indispensável para a elaboração de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), que esteve expresso por equações analíticas e por uma rede (grade) de pontos, que conservaram as

características espaciais do terreno. No SPRING, um MNT foi criado na forma de uma grade de pontos regulares (CÂMARA et al. 1998). Este MNT foi utilizado para modelar informações relativas às propriedades do solo e do subsolo, denotando a representação quantitativa de grandezas variáveis no espaço, como a altimetria (ASSAD et al. 1998).

Segundo CÂMARA et al. (1998), o sistema SPRING utiliza, para geração do MNT, como interpolador padrão, o algoritmo média ponderada/cota/quadrante, onde os pontos dentro de uma grade regular, cujas arestas são estabelecidas pelo usuário, contemplam um número de pontos amostrais com coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Dessa forma, cada ponto amostral passa a contar com uma média ponderada definida para cada quadrante da grade regular. No caso do interpolador utilizado, o valor de cota de cada ponto da grade foi calculado a partir da média ponderada das cotas dos oito vizinhos mais próximos a este ponto, porém, atribuiu-se pesos variados para cada ponto amostrado por meio de uma função que considerou a distância do ponto cotado ao ponto da grade, como se segue:

$$f(x,y) = \frac{\left(\sum^8 W(x,y)\right)^{*z}}{\left(\sum^8 W(x,y)\right)} \text{ na qual:}$$

$d = ((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)^{1/2}$   $d$  = distância euclidiana do ponto interpolante ao vizinho  $i$ ;

$w(x,y) = (1/d)^{u=1}$   $u = 1$  = expoente da função de ponderação;

$w(x,y)$  = função de ponderação;

$f(x,y)$  = função de interpolação.

Após o cálculo da média ponderada, foi considerada uma amostra por quadrante (total de quatro amostras) e o número de pontos amostrados foi igual para cada um dos quadrantes (INPE, 2004).

O procedimento adotado para a transferência das coordenadas do referencial no município de Querência do Norte (RN 2037 E) foi realizado tanto com o intuito de servir como suporte à geração do MNT como também de possibilitar melhor definição do terreno por meio do processo de nivelamento, distinguindo claramente nos modelos digitais planícies, elevações, canais de irrigação, etc.

A partir desse momento, foi realizada a incorporação de imagens orbitais ao SIG por meio do seu registro. Por meio do sistema SPRING, as cenas foram devidamente registradas e incorporadas no banco de dados utilizando-se as coordenadas coletadas em campo. Tentando manter o valor do pixel o mais semelhante possível ao seu valor original, o algoritmo utilizado para o registro foi o vizinho mais

próximo, utilizando-se equação de primeiro grau, uma vez que os outros métodos usualmente utilizados, alteram mais sensivelmente o valor de cada pixel (JENSEN, 1986; CRÓSTA, 1992). Este procedimento tornou possível então, a modelagem do sistema de inundações da região de estudo.

Essa modelagem deu-se por meio da associação de dados composta pela rede de pontos coletados em campo, a observação das imagens orbitais e as informações de nivelamento em régua do rio Ivaí. Essas informações de régua foram obtidas em estação automática oficial da Agência Nacional de Águas (ANA), sob código 6469.3000, sendo a mais próxima da área de estudo, e com geomorfologia semelhante, localizada no município de Douradina (PR). Assim, foi possível à confecção de modelos numéricos da área, onde cada altura de nivelamento do rio pôde ser estudada pormenorizada e individualmente. A ferramenta utilizada nesse processo, realizado dentro do SPRING, foi o "fatiamento" (CÂMARA et al. 1998), cujo elemento em questão tem sua distribuição espacial condicionada a níveis preestabelecidos pelo usuário. No caso deste trabalho, optou-se pelo fatiamento da altura do nível de água do rio Ivaí na região de estudo em sete níveis iguais e progressivos de um metro (5 a 12 metros no nível da régua), contemplando todas as medidas constatadas na série histórica das cheias observadas neste rio. Os níveis de maior relevância foram considerados com a utilização das imagens orbitais para as devidas ponderações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

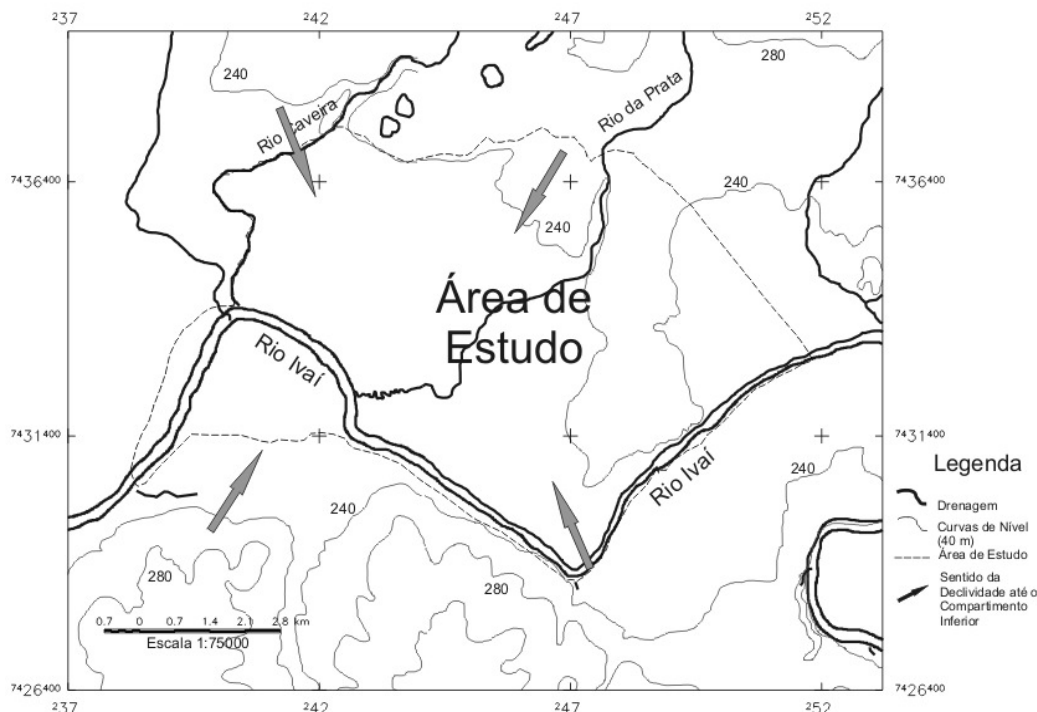
O sistema hidrográfico observado na região foi responsável por cheias em períodos irregulares e com espaços de tempo indeterminado, distribuído de forma bastante complexa, principalmente pela condição de relevo regional, plano com paleodiques, o que confere aos canais de irrigação um caráter sazonal, ou seja, presentes ou ausentes, dependendo das condições de vazão do sistema. Esse fato confere também aos canais o caráter, ora meândrico, em períodos de cheias, ora dendrítico, quando em períodos de secas.

Nesse sistema, a vazão normal do rio Ivaí, de aproximadamente  $264 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  recebe influências de diversos fatores externos como chuvas, vazão oscilante dos canais de irrigação, ação antrópica etc, levando à ocorrência, em determinados momentos, das cheias, como citado por CPRM (2004).

Segundo STEVAUX et al. (1988), a várzea do rio Ivaí provavelmente é subatual, construída em diferentes fases de erosão e sedimentação, comprovando as bases para existência de tais compartimentos diferenciados na área.

De acordo com os dados obtidos no levantamento altimétrico, observou-se que a diferença de nível entre o ponto mais alto (352,26 m) e o mais baixo (232,54 m) da área é elevado, ultrapassando 100 metros. A representação da declividade da área (Figura 1)

possibilitou melhor entendimento da dinâmica das águas no terreno, uma vez que, demonstra a divisão do espaço em dois compartimentos de nivelamento diferenciado, confirmando NANNI (2000), e que pode ser visto por meio da declividade do terreno.



**Figura 1.** Imagem da área de estudo indicando o compartimento inferior de declividade.

Com base nas observações das leituras de réguas dos 31 anos de operação da estação da ANA mais próxima da área de estudo (Tabela 1), constatou-se uma repetição de cheias superiores a 9 metros recorrentes no período de 30 anos, caracterizando sua incidência em 97% dos anos observados contra 81% de incidência para 10 metros, o que legitima a consideração de sazonalidade anual para 9 metros.

De acordo com a tabela 1, observou-se que quando foi considerada a cota máxima em régua, 1991 foi o único ano em que não houve valores, pois a maior leitura de régua neste ano foi de 6,82 m. Observou-se também, neste período, que a maior leitura ocorreu em 2004, com 15,72 m. Entretanto, foi necessário considerar-se a média de leituras desses 31 anos para obtenção de um valor padrão de nivelamento do rio, isto é, qual o valor de régua a ser considerado normal para o rio Ivaí no estabelecimento da área possivelmente inundada pelas cheias.

Os dados de nivelamento foram então utilizados para elaboração de uma representação da área alagável (Figura 2) denominada “Leito Maior” do rio. A cota de régua de 9 metros caracteriza na região

o limite para o Leito Maior Sazonal do rio, onde ocorrem as maiores cheias e com intervalos regulares. Esse deve ser então determinado como o trecho a ser respeitado para a criação da Área de Preservação Permanente (APP) na região, de acordo com CONAMA (1985).

A ocorrência de cheias que venham a ocupar as áreas de plantio das culturas regionais pode ser observada na figura 3, onde se nota o que ocorre quando o nível da água alcança 12 metros. Isso pôde ser comprovado por meio de simulações do modelo no SPRING, onde se observou que mesmo acima do leito sazonal, para os níveis de 10 e 11 metros, ainda não ocorria sobreposição da área ocupada pela enchente em relação às plantações.

A frequência observada na tabela 1, para esta cota (12 metros), ocorreu apenas em oito oportunidades nos 31 anos analisados (mar/83, mai/87, jun/90, out/93, out/98, mai/02, jan/03 e mai/04) e em períodos descompassados. Tais observações descartam a possibilidade de ocorrência de sazonalidade de caráter anual para esta cota altimétrica, uma vez que não há frequência temporal de recorrência durante os anos observados, mas apenas ocorrências cíclicas descompassadas.

**Tabela 1.** Dados de leituras de régua do rio Ivaí coletados na estação Novo Porto Taquara da ANA nos meses com ocorrência de cheias com a cota altimétrica mínima de 8 metros

Acima de 8 metros		Medida de régua Acima de 9 metros		Acima de 10 metros	
		(mm)			
Data	Cota	Data	Cota	Data	Cota
out/74	1044	out/74	1044	out/74	1044
out/75	924	out/75	924	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>
jun/76	1198	jun/76	1198	jun/76	1198
jan/77	1110	jan/77	1110	jan/77	1110
jul/78	1000	jul/78	1000	jul/78	1000
set/79	1104	set/79	1104	set/79	1104
dez/80	1016	dez/80	1016	dez/80	1016
dez/81	966	dez/81	966	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>
jun/82	1125	jun/82	1125	jun/82	1125
mar/83	1250	mar/83	1250	mar/83	1250
set/84	1048	set/84	1048	set/84	1048
mai/85	1089	mai/85	1089	mai/85	1089
mai/86	1044	mai/86	1044	mai/86	1044
mai/87	1230	mai/87	1230	mai/87	1230
mai/88	1124	mai/88	1124	mai/88	1124
ago/89	1013	ago/89	1013	ago/89	1013
jan/90	1234	jan/90	1234	jan/90	1234
mai/92	1196	mai/92	1196	mai/92	1196
out/93	1260	out/93	1260	out/93	1260
jun/94	1054	jun/94	1054	jun/94	1054
jan/95	993	jan/95	993	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>
jan/96	908	jan/96	908	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>
jan/97	1198	jan/97	1198	jan/97	1198
out/98	1247	out/98	1247	out/98	1247
jul/99	1008	jul/99	1008	jul/99	1008
set/00	1117	set/00	1117	set/00	1117
out/01	908	out/01	908	- <sup>(1)</sup>	- <sup>(1)</sup>
mai/02	1222	mai/02	1222	mai/02	1222
jan/03	1248	jan/03	1248	jan/03	1248
mai/04	1572	mai/04	1572	mai/04	1572

Fonte: Leituras de régua realizadas na estação da ANA Novo Porto Taquara (Coordenadas UTM, fuso 22 SW, 7432681 m, 263072 m; área de drenagem - 34432 km<sup>2</sup>), código 6469.3000, no município de Douradina, em junho de 2004.

(<sup>1</sup>): Leituras de régua que não ultrapassaram o nível de 10 metros nas datas referidas.



Figura 2. Leito maior sazonal em 9 metros e sua localização aproximada às culturas locais.

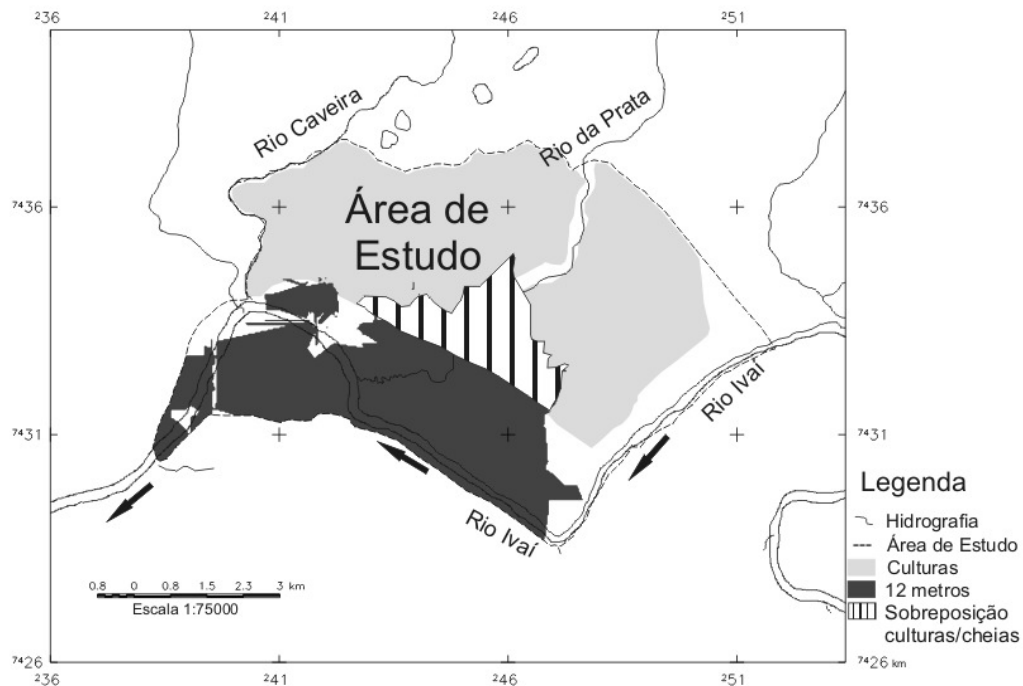


Figura 3. Área ocupada pela cheia de 12 metros sobrepondo a área das culturas locais.

Dessa forma, fica evidente que as lavouras cultivadas na região estão em condições regulares, e, baseadas neste modelo de inundação, podem continuar existindo sem nenhuma forma de restrição.

#### 4. CONCLUSÕES

1. As cheias sazonais que ocorrem no rio Ivaí caracterizam-se por atingir uma cota de régua limítrofe de 9 metros.

2. O leito maior sazonal do rio Ivaí na região é definido pela cota altimétrica de 235,04 metros.

### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa ao primeiro autor (Proc. n. 134501/2004-7) e bolsa produtividade (Proc. n.310948/2006-1) ao segundo autor.

### REFERÊNCIAS

- ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas**. Brasília: Serviço de Produção de Informação – SPI, 1998.
- ASSUNÇÃO, G.V.; FORMAGGIO, A.R.; ALVES, A.R. Mapa de aptidão agrícola das terras e uso adequado das terras: uma abordagem usando sgi e imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos : INPE, 1990, p. 162-166.
- BRASIL. **Lei 4771, de 15 de Setembro de 1965 e alterada pela Lei 7.803 de 18 de Julho de 1989**. Institui o Novo Código Florestal. Artigo 2º, item a.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E.D.; SANO E.E. **Sistemas de Informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília : Embrapa/SPI, 1998. cap.2, p.13-29.
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução 004**. 18 de setembro de 1985.
- CPRM. Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares. **Relatório Técnico Final**. Belo Horizonte, 2004.
- CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.
- EMBRAPA. **Critérios Para Distinção de Classes de Solos e de Fases de Unidades de Mapeamento**. Rio de Janeiro, 1988. 67p. (EMBRAPA – SNLCS, Documento 11).
- IBAMA. **Roteiro Metodológico para a Gestão de Área de Proteção Ambiental, APA**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília: Ed. IBAMA, 2001
- IBGE. **Relatório de Estação Geodésica – RN 2037E – Querência do Norte/PR**. Coordenação de Geodésia, DGC, IBGE. 2006 b.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manuais do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. 2004.
- JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey : Prentice-Hall, 1986. 379p.
- LEICA Geosystems. Estação Total LEICA TPS400 Series: **Manual do Usuário**. Heerbrugg, Switzerland, 2006.
- NANNI, M.R. Zoneamento agropastoril. In: ITCA. **Zoneamento ecológico econômico da APA do Rio Paraná**. Maringá: edição do autor, 2000. 21p.
- PIEDADE, M.T.F. Influência do pulso de cheias e vazantes na dinâmica ecológica de áreas inundáveis. **Projeto de Pesquisa Dirigida**. Brasília: INPA, 1995.
- STEVAUX, J.C. **The upper Parana river (Brazil): geomorphology, sedimentology, and paleoclimatology. Quaternary International**, v.21, p.143-161, 1994.
- STEVAUX, J.C. in GUASQUE, L.K.; NUNES, W.M.C. Coordenares. **Relatório de Impacto Ambiental do Programa de Irrigação e Drenagem para a Bacia do Baixo Rio Ivaí**. Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 1988. Vol.I. p.25-36.
- TEREZAN, E.L. **Delimitação do Leito Maior do Baixo Rio Ivaí e Estabelecimento de sua Sazonalidade**. Dissertação (mestrado). UEM, Maringá, 2005. 81p.