

# **A UTILIZAÇÃO DO GPS NA AQUISIÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS**

NANCI BETTINARDI COUTO

PADCT/CIAMB - Fundação Universidade Estadual de Maringá  
Departamento de Engenharia Civil  
Av. Colombo, 5790 - Bloco 12 - Fone 44 261 4322  
CEP 87020-900 Maringá – PR

## **RESUMO**

Este artigo apresenta a aplicação do Sistema de Posicionamento Global – GPS na locação de marcos referenciais para o nivelamento de réguas limimétricas e seções batimétricas instaladas ao longo dos rios Paraná, Ivinheima e Baía no trecho entre Porto São José e o Porto 18, Brasil. O método de posicionamento utilizando o Sistema de Posicionamento Global apresentou maior eficiência do que os obtidos por métodos tradicionais.

## **ABSTRACT**

This paper demonstrates the application of Global Positioning System in the placing of referential marks for the levelling of limnimetric rulers and bathymetric sections installed along the rivers Paraná, Ivinheima and Baía in the stretch between Porto São José and Porto 18, Brazil. The method of positioning utilizing Global Positioning System presented higher efficiency than that given by traditional methods.

Key words: Positioning by satellite, hydrological data; hydrological modelling.

## **INTRODUÇÃO**

O meio ambiente é um sistema dinâmico cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos ou reconstruídos pela própria atividade orgânica e outros fenômenos de recirculação física e química.

Na busca da independência ecológica ou energética, o homem tem provocado amplas modificações em seu meio ambiente com reflexos negativos sobre a diversidade biológica e a exploração sustentável dos recursos naturais (PADCT/CIAMB, 1991).

O conhecimento dos vários segmentos do ecossistema e suas interfaces e, de sua estrutura e funcionamento como processos globais, conduzem à compreensão da dinâmica ambiental com o fornecimento das informações necessárias ao gerenciamento do ecossistema em estudo (PADCT/CIAMB, 1993).

Pode-se então dizer que, da análise e interpretação das informações hidrológicas e interpretação dos fenômenos biogeoquímicos resultam os dados básicos necessários ao planejamento, construção e operação de projetos de controle dos recursos hídricos (Barth e Pompeu, 1987) e preservação do meio ambiente.

A base de todo estudo hidrológico é a disposição de dados históricos das variáveis envolvidas (Fill, 1987). Segundo Payne (1986), o conhecimento dos índices pluviométricos e das flutuações dos níveis de água têm fundamental importância na determinação dos processos que ocorrem nas planícies de inundação.

Assim, é evidente a necessidade de medir uma série de variáveis hidrológicas e meteorológicas que permitam conhecer as características da bacia. O conhecimento da área de drenagem, forma da bacia, sistema de drenagem e relevo permite estabelecer relações e comparações entre estes elementos e dados hidrológicos conhecidos, e determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse nos quais faltem dados ou em regiões onde não seja possível a instalação de estações hidrométricas.

Estas características são normalmente retiradas de mapas construídos através de fotos aéreas e levantamentos topográficos convencionais.

A representação do escoamento em rios através de modelos hidrodinâmicos tem sido utilizada para o planejamento e conservação de ecossistemas. Para elaborar estes modelos são necessários o levantamento batimétrico e nivelamento das seções escolhidas para representar as variações geomorfológicas do curso d'água. Régua limimétrica, instaladas e niveladas nestas seções, são fundamentais para o acompanhamento das variações de nível decorrentes do regime hidrológico da bacia.

A utilização de técnicas topográficas convencionais para o nivelamento das seções são espacialmente limitadas, uma vez que para a aplicação destes métodos é necessário dispor de tempo, com custos elevados e resultados de precisão pouco desejáveis.

A existência de marcos referenciais com altitude conhecida são indispensáveis para o nivelamento de régua limimétrica e de seções batimétricas. Estes dados são fundamentais para a aplicação de modelos matemáticos (Tucci, 1987) que permitam prever chuvas e/ou vazões, ou então estimar a probabilidade associada a eventos raros, além de fornecer subsídios para a análise da influência do regime hidrológico sobre o ambiente e as suas comunidades.

No Brasil, verifica-se no início dos anos 90, o emprego do sistema GPS na aquisição de dados hidrológicos.

O GPS (Global Positioning System) é um sistema que tem como características principais a rapidez, a independência de condições atmosféricas, independência de intervisibilidade e economia na obtenção de dados de posicionamento com alta

precisão (Andrade, 1988 e 1991; Leick, 1992; Seeber, 1993) fornecendo aos usuários a sua posição tridimensional, navegação e informações sobre o tempo (Krueger, 1994).

O objetivo deste trabalho é a aplicação do sistema GPS no posicionamento de marcos distribuídos em seções representativas e o nivelamento das régua linimétricas instaladas nestas seções, fornecendo assim, subsídios para a aquisição de dados hidrológicos e o desenvolvimento de um modelo hidrodinâmico. Estas seções estão localizadas em pontos estratégicos para a descrição da geometria natural do canal do rio, ao longo do rio Paraná e nos rios Ivinheima e Baía, no trecho entre o porto São José e o porto 18.

## **METODOLOGIA**

A área estudada pertence ao segmento do alto rio Paraná (Maack, 1981; Paiva, 1982) e está situada entre as latitudes  $22^{\circ}40'$  -  $23^{\circ}00'S$  e longitudes  $53^{\circ}10'$  -  $53^{\circ}40' W$  no noroeste do estado do Paraná - Brasil (Figura 01).

Para a obtenção de pontos com coordenadas conhecidas ao longo do rio Paraná e, nos rios Ivinheima e Baía, foi realizada uma rede básica GPS, composta por 29 marcos (onze marcos em concreto e dezessete em piquetes de madeira), distribuídos em 29 seções ao longo deste percurso (Figura 01).

No presente trabalho não foi possível a utilização de fotos aéreas no planejamento destes levantamentos (Adkins e Lyon, 1991). As fotografias existentes não espelham a realidade atual com as significativas modificações geomorfológicas e ambientais ocorridas na região de estudo nas últimas décadas.

Os locais para implantação dos marcos foram escolhidos observando-se a viabilidade dos futuros levantamentos hidrológicos a serem efetuados nestas seções. Considerou-se também que durante as épocas de cheia do rio os marcos poderiam ficar submersos em consequência do regime hidrológico da região. Para tanto, foram escolhidos locais altos às margens dos rios e, em alguns casos, optou-se pela implantação de marcos em ilhas.

O marco P26 foi eliminado devido à barreira de vegetação que inviabilizou o seu rastreamento.

O rastreamento para a coleta dos dados GPS foi desenvolvido efetuando-se um posicionamento relativo estático dos pontos selecionados no trecho em estudo.

Para o rastreamento foram utilizados dois receptores Trimble 4000 SST pertencentes à UFPR - Departamento de Geomática, com 8 canais, operando com código L1, L2 e código P, e antenas geodésicas com dupla frequência.

A rede foi ligada à dois vértices de primeira ordem, pertencentes à rede do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, distantes aproximadamente 30 km do marco P29 denominado BUEM, escolhido posteriormente para ser a estação fixa no levantamento dos marcos P01 a P28.

Estes vértices possuem as seguintes características:

Vértice PARAÍSO (IBGE)	Vértice GARCIA (IBGE)
Latitude - 22° 51' 14,661" S	Latitude - 22° 56' 05,777" S
Longitude - 53° 02' 43,803" W	Longitude - 53° 00' 19,064" W
Altitude - 472,64 m	Altitude - 486,34 m
DATUM - SAD-69	DATUM - SAD-69
Município de Nova Londrina 308	Município de Loanda 287
Ondulação do geóide N=-1,58 m	Ondulação do geóide N=-1,32 m

Inicialmente foram escolhidos dois marcos como estações fixas: o marco P15 denominado BNEW à partir do qual foram rastreados os marcos P03, P04 e P05 e o marco P14 do qual foram rastreados os marcos P01 e P02. Ambos foram posteriormente conectados à estação fixa definitiva BUEM e desativados devido às dificuldades de transporte e manutenção dos equipamentos ao longo do rio, e a possibilidade de utilizar energia elétrica na estação fixa BUEM, dispensando o uso de baterias. Assim, o número maior de baterias na estação itinerante permitiam realizar períodos de rastreio maiores durante o dia.

Para o registro de sinais necessários ao cálculo das ambigüidades, foi utilizada uma linha de base com coordenadas de um extremo conhecidas (vértice), sendo os satélites observados simultaneamente pelas duas estações. Com os sinais recebidos no período inicial de rastreio, foram determinadas as coordenadas do outro extremo da linha base e as ambigüidades inteiras. Assim, obteve-se as condições iniciais necessárias para a determinação das coordenadas relativas dos demais marcos (P01 a P28).

A taxa de coleta dos dados GPS foi de 15 segundos, empregando-se uma máscara de elevação de 15 graus.

O tempo de ocupação dos marcos foi de duas horas (BUEM X GARCIA e BUEM X PARAÍSO) para a obtenção das coordenadas da base BUEM.

Para resolver a influência de erros sistemáticos (efeitos da refração ionosférica e troposférica, erros orbitais e ruídos) e obter maior precisão nos levantamentos, foi utilizado o modo relativo, com dois receptores rastreando ao mesmo tempo os mesmos satélites. Langley (1993), Seeber (1993) e Krueger (1994) citam que com este procedimento tem-se então erros semelhantes (atmosféricos, dos relógios, das efemérides, efeito do SA).

As coordenadas de BUEM resultaram da média aritmética entre as coordenadas obtidas para este ponto em presença dos vértices GARCIA e PARAÍSO.

Para a determinação das coordenadas dos demais marcos (P01 à P28) foram executados rastreios de pelo menos uma hora com a estação BUEM.

Os dados referentes à localização dos marcos, horário de rastreio, altura da antena, croquis, dentre outros foram registrados em cadernetas de campo e os dados coletados pelos receptores foram armazenados em disquetes.

Os dados obtidos foram pós-processados utilizando um computador Hewlett Packard - HP Vectra 486/33T, com coprocessador matemático e winchester com capacidade de 1Gb e 20M RAM e, os programas TRIMVEC PLUS para o refinamento dos dados e posteriormente o AUTOM.4000 da TRIMBLE NAVIGATION LTDA (TRIMBLE NAVIGATION LIMITED, 1991).

As coordenadas dos vértices inseridas no pós-processamento dos dados foram transformadas do sistema SAD-69 para o sistema WGS-84 através do programa DATUM cedido pela empresa Ambriex S.A.

A ondulação do geóide foi obtida por programa da Petrobrás, utilizando o mapa geoidal do Brasil digitalizado de 1986, uma vez que o mapa de 1992, à época, era provisório.

Para a medida do nível d'água (Fill, 1987) foram instaladas réguas linimétricas, em dois lances, próximas ao marco referencial de cada seção. A construção das réguas próxima a marcos referenciais permite a revisão periódica dos lances, sendo possível também a reinstalação na mesma cota em caso de serem destruídos por uma enchente.

No nivelamento das réguas linimétricas foi utilizada uma estação total (distanciômetro eletrônico) para o transporte da altitude ortométrica dos marcos referenciais e determinação da cota zero das réguas instaladas em todas as seções.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O posicionamento dos marcos foi realizado com receptores de dupla frequência (L1 e L2) buscando eliminar os efeitos devido à propagação ionosférica (Campos, 1989; Leick, 1992) que acarretam erros que variam de 1m a 100m, segundo Wells et al. (1986).

Foi utilizada uma máscara de elevação de 15 graus uma vez que os sinais enviados por satélites com baixa altitude em relação ao horizonte são mais susceptíveis a erros devido ao efeito multicaminho do que os emitidos pelos satélites com maiores altitudes (Krueger, 1994) e erros devido à refração da troposfera (Campos, 1989; Seeber, 1993).

Os dados coletados pós-processados pelos softwares da TRIMBLE NAVIGATION LIMITED são apresentados na Tabela 1.

Através da aplicação do sistema GPS foi possível obter as coordenadas da estação BUEM em tempo exíguo (aproximadamente duas horas). Todos os marcos da rede foram rastreados em 5 dias.

Foi avaliada a utilização de uma estação total no posicionamento dos marcos da rede na área do projeto integrado. As dificuldades devido à necessidade de transporte de equipamentos em terrenos alagados, vasta vegetação na região, inexistência de acessos terrestres em alguns pontos e acessos precários em outros, e grandes distâncias entre os pontos tornaram o uso da estação total inviável. Foram necessárias 16 horas de atividades para concluir o nivelamento dos aproximadamente 23 kms de distância entre os pontos, com visadas longas, que

produzem erros acima do permitido pela norma de levantamento topográfico, e maior número de pessoas que o utilizado para o levantamento por satélite.

**Tabela 1 - COORDENADAS AJUSTADAS DOS MARCOS DA REDE GPS**

PT.	COORDENADAS NO SISTEMA WGS-84			COORDENADAS NO SISTEMA SAD-69		
	LATITUDE (° ' "S)	LONGITUDE (° ' "W)	ALTITUDE (m)	LATITUDE (° ' "S)	LONGITUDE (° ' "W)	ALTI- TUDE (m)
P01	22 53 26,67637	53 31 41,78258	233,342	22 53 24,98962	53 31 39,98710	233,855
P02	22 51 50,77652	53 28 47,03597	245,403	22 51 49,08958	53 28 45,24213	245,980
P03	22 54 58,28310	53 33 21,21816	230,528	22 54 56,59633	53 33 19,42161	230,996
P04	22 56 21,16999	53 34 26,33773	230,071	22 56 19,48311	53 34 24,54040	230,502
P05	22 57 59,92572	53 36 09,33522	228,670	22 57 58,23879	53 36 07,53676	229,053
P06	22 55 31,69622	53 36 34,65763	230,687	22 55 30,00993	53 36 32,85954	231,102
P07	22 51 46,48235	53 33 57,11326	231,032	22 51 44,79640	53 33 55,31715	231,539
P08	22 50 27,11587	53 34 44,30810	230,446	22 50 25,43037	53 34 42,51193	230,963
P09	22 49 50,68967	53 34 01,53286	231,249	22 49 49,00417	53 33 59,73714	231,784
P10	22 47 29,86791	53 31 29,91586	230,115	22 47 28,18246	53 31 28,12176	230,721
P11	22 51 20,03013	53 32 33,27428	231,735	22 51 18,34402	53 32 31,47888	232,268
P12	22 49 06,84399	53 28 23,49829	230,876	22 49 05,15760	53 28 21,70521	231,499
P13	22 50 31,09509	53 29 34,61386	229,833	22 50 29,40860	53 29 32,81995	230,420
P14	22 49 36,76580	53 27 09,64646	231,463	22 49 35,07906	53 27 07,85382	232,096
P15	22 49 0951,578	53 25 11,96836	231,582	22 49 07,82878	53 25 10,17668	232,249
P16	22 45 23,04030	53 14 07,57054	253,448	22 45 21,35209	53 14 05,78459	254,323
P17	22 52 38,46743	53 35 08,27718	230,638	22 52 36,78151	53 35 06,48036	231,116
P18	22 48 40,17349	53 26 51,73828	232,762	22 48 38,48690	53 26 49,94598	233,414
P19	22 47 42,39250	53 25 07,32270	232,132	22 47 40,70580	53 25 05,53138	232,822
P20	22 46 43,96094	53 22 13,69824	231,830	22 46 42,27392	53 22 11,90841	232,574
P21	22 45 37,73559	53 19 45,65181	232,508	22 45 36,04837	53 19 43,86331	233,303
P22	22 44 11,20786	53 20 24,12325	230,810	22 44 09,52108	53 20 22,33478	231,617
P23	22 45 00,84560	53 17 54,19226	232,825	22 44 59,15817	53 17 52,40472	233,654
P24	22 44 08,49837	53 11 57,26573	246,356	22 44 06,81004	53 11 55,48102	247,279
P25	22 46 26,43418	53 16 47,09157	241,687	22 46 24,74622	53 16 45,30422	242,510
P27	22 48 27,20200	53 23 28,12196	231,000	22 48 25,51483	53 23 26,33121	231,701
P28	22 42 38,47644	53 11 06,67372	234,418	22 42 36,78829	53 11 04,88971	235,376
P29	22 45 55,82227	53 15 25,59638	237,951	22 45 54,13417	53 15 23,80974	238,800

Após o posicionamento dos marcos foi possível nivelar as réguas linimétricas instaladas nas seções S01 a S29; os resultados são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - NIVELAMENTO DAS RÉGUAS (WGS-84)**

SEÇÃO	ALTITUDE DO MARCO (m)	ALTITUDE DO PIQUETE (m)	ALTITUDE DO ZERO/RÉGUA 1 (m)
S01	233,342	-	227,407
S02	234,839	245,403	227,403
S03	231,017	230,528	226,671
S04	230,573	230,071	226,446
S05	234,296	228,670	226,622
S06	230,833	230,687	226,525
S07	230,921	231,032	226,828
S08	231,429	230,446	226,364
S09	231,091	231,249	226,865
S10	230,115	-	226,133
S11	231,735	-	225,355
S12	232,758	230,876	227,954
S03	230,837	229,833	227,046
S14	231,463	-	227,618
S15	231,582	-	227,993
S16	243,316	253,448	228,990
S17	231,870	230,638	227,094
S18	232,762	-	227,432
S19	232,132	-	227,852
S20	231,830	-	228,203
S21	232,508	-	228,275
S22	231,948	230,810	228,382
S23	232,825	-	228,243
S24	240,632	246,356	-
S25	237,269	241,687	228,877
S26	-	-	-
S27	231,216	231,000	226,836
S28	234,564	234,418	226,757
S29	237,951	-	228,927

Os lances das régua serão periodicamente nivelados em relação aos marcos evitando assim, erros sistemáticos (diferenças entre o nível de água correto e o nível registrado na régua).

A leitura simultânea de duas régua instaladas em dois pontos em duas seções diferentes, ambas referidas a uma mesma cota, permite obter a declividade da superfície da água (Fill, 1987).

De acordo com leituras realizadas nas régua das seções 21 e 07, escolhidas aleatoriamente, verificou-se que a declividade da linha d'água no rio Paraná é de 0,005%, o que concorda com o valor da declividade média igual a 0,0077%, citado por Souza Filho (1993).

## CONCLUSÃO

A utilização do sistema GPS no posicionamento de marcos referenciais se mostrou eficiente, reduzindo o tempo, custo e pessoal necessário para esta tarefa.

O posicionamento dos marcos e nivelamento das réguas possibilitarão a produção de registros necessários aos estudos e análises hidrológicas da região.

A partir deste trabalho outros podem ser desenvolvidos, utilizando os resultados apresentados em levantamentos aéreos ou terrestres, como referencial de coordenadas para a localização de pontos, lagoas, vegetação, e determinar variações temporais auxiliares no monitoramento da área em estudo.

A aplicação do sistema GPS na aquisição de dados hidrológicos poderá ser ampliada, utilizando-se o DGPS (Differential Global Positioning System) em levantamentos batimétricos e medidas de vazão, com o barco em movimento, na área estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADKINS, K. F., LYON, J. G. 1991. Use of aerial photographs to identify suitable GPS survey stations. **Photogrammetric engineering & remote sensing**, v.57, n.7, p.933-936.
- ANDRADE, J. B. de. 1988. **NAVSTAR-GPS**. Curitiba: Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.
- ANDRADE, J. B. de. 1991. NAVSTAR-GPS : um novo sistema de navegação. **Ciência Hoje**, v.13, n.77, p.74-76, out/nov.
- BARTH, F. T. e POMPEU, C. T. 1987. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel, ABRH, p.1-91.
- CAMPOS, M. A. 1989. **Posicionamento com GPS : projetos e resultados**. Curitiba: Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.
- FILL, H. D. 1987. Informações hidrológicas. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel, ABRH, p.95-210.
- KRUEGER, C. P. 1994. **Posicionamento cinemático de trens**. Curitiba: UFPR, 1994. 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná.
- LANGLEY, R. B. 1993. Communication links for DGPS. **GPS WORLD**, p.47-51, may.
- LEICK, A. 1992. Delineating theory for GPS surveying. **Journal of Surveying Engineering**, New York, v.118, n.2, p.33-42, may.
- MAACK, R. 1981. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 450p.
- PADCT/CIAMB, FUEM-FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ. 1991. **Estudos ambientais da planície de inundação do rio Paraná no trecho compreendido entre a foz do rio Paranapanema e o reservatório de Itaipu**. Maringá: FUEM. (Projeto de pesquisa).
- PADCT/CIAMB, FUEM-FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ. 1993. **Estudos ambientais da planície de inundação do rio**

- Paraná no trecho compreendido entre a foz do rio Paranapanema e o reservatório de Itaipu.** Maringá: FUEM, 3v. (Relatório).
- PAIVA, M. P. 1982. **Grandes represas do Brasil.** Brasília: Editerra, 304p.
- PAYNE, A. I. 1986. **The ecology of tropical rivers and lakes.** New York: Willey, 301p.
- SEEBER, G. 1993. **Satellite geodesy : foundations, methods and applications.** Germany, University of Hannover.
- SOUZA FILHO, E. E. de. 1993. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre porto Primavera (MS) e Guaíra (PR).** São Paulo: USP, 1993. 220p. Tese (Doutoramento em Geologia Sedimentar) - Universidade de São Paulo.
- TRIMBLE NAVIGATION LIMITED. 1991. **A field guidebook for static surveying.** Sunnyvale-California.
- TUCCI, C. E. M. 1987. Modelos Determinísticos. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos.** São Paulo: Nobel, ABRH, p.211-324.
- WELLS, D. E. et al. 1986. **Guide to GPS positioning.** Canadian GPS Associates, Fredericton, Canada.

(Recebido em 30/11/99. Aceito para publicação em 01/03/00)

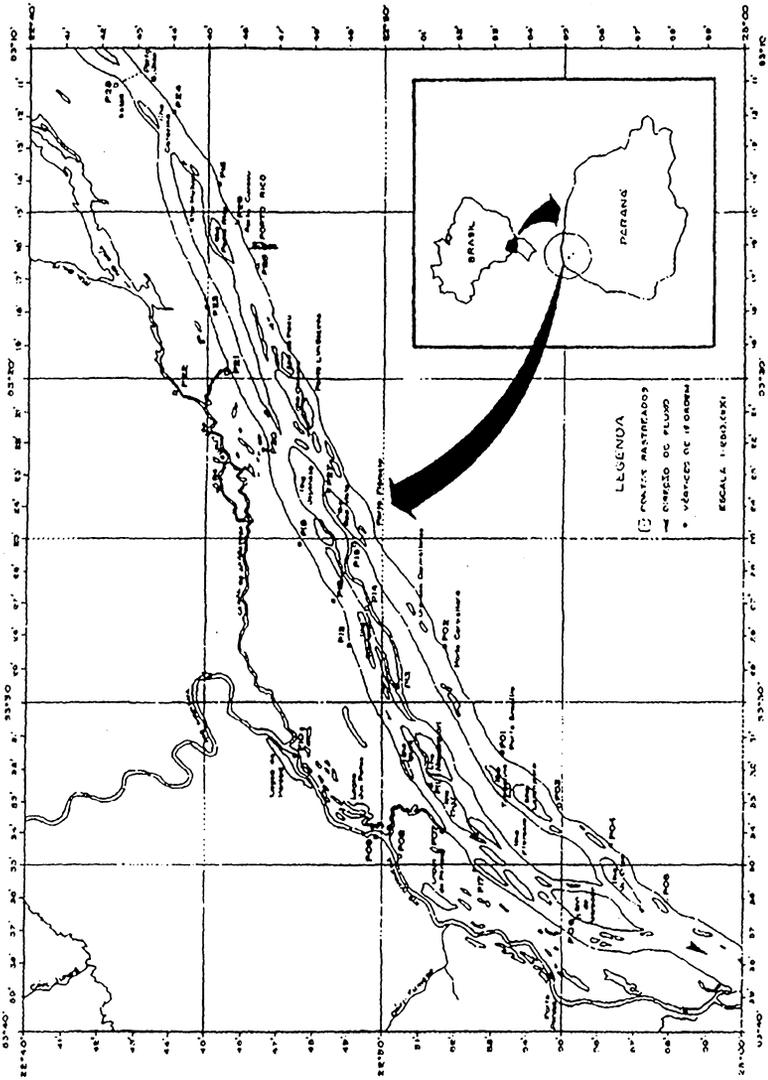


Figura 01 - Localização do dreno de estudo