

CAPÍTULO 3

3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.1 DADOS GPR

Neste trabalho, os dados foram adquiridos com o equipamento GPR, fabricado pela empresa sueca MALÅ (Figura 3.1).



Figura 3.1 - Equipamento RAMAC fabricado pela empresa sueca MALÅ.

O sistema consiste basicamente de seis unidades: computador, unidade de controle, transmissor, receptor e duas antenas (transmissora e receptora) (Figura 3.2). Tanto a unidade transmissora (Tx) como a receptora (Rx) são compostas por módulos eletrônicos acoplados às antenas que, por sua vez, estão conectadas a unidade de controle através de cabos de fibra ótica. O computador (*notebook*) é conectado à unidade de controle através de um cabo de comunicação serial ou paralelo.

A unidade de controle envia simultaneamente um sinal para o transmissor e outro para o receptor. O transmissor eletrônico gera um pulso de curta duração e alta voltagem que passa pela antena transmissora e é irradiado para o subsolo. Detectando o

signal de controle, a unidade receptora entra em regime de gravação e, após a coleta de todas as amostras do traço, este dado é enviado para a unidade de controle e, desta, para o computador, onde é visualizado e gravado no *notebook*.

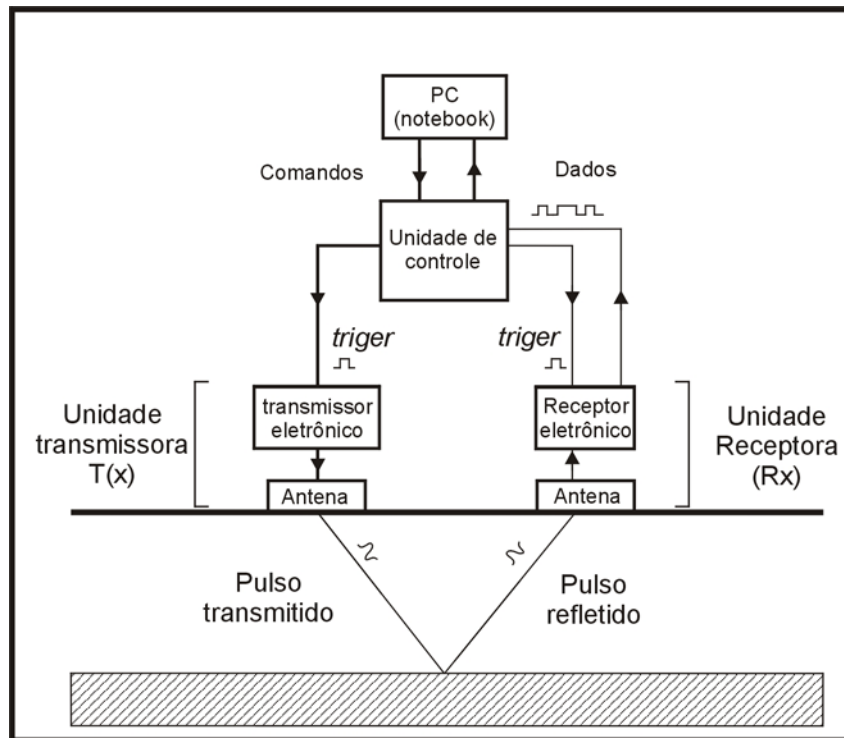


Figura 3.2 – Diagrama esquemático de um sistema GPR (adaptada de Gandolfo, 1999).

Na maioria das aquisições GPR foi utilizada uma frequência de amostragem de 10 vezes a frequência central da antena.

Os levantamentos de campo foram realizados em diversas etapas, tendo em vista que as áreas localizam-se dentro do campus da Cidade Universitária. Em ambas áreas, foi realizado um levantamento topográfico de detalhe para atenuar o efeito da topografia nos dados de radar.

- **IAG/Física**

Nessa área foram adquiridos seis perfis GPR com afastamento constante e oito sondagens de velocidade (Figura 3.3). Os perfis GPR estão sobrepostos à Linha

IAG/FIS. Esta linha possui 200m de extensão, começa próxima ao Instituto de Física e segue em direção a Praça do Instituto Oceanográfico, paralela à Rua do Matão.

Os perfis GPR com afastamento constante foram denominados PERF00-IAG (25MHz), PERF01-IAG (50MHz), PERF02-IAG (100MHz), PERF03-IAG (200MHz), PERF01-PER (50MHz) e PERF02-PER (100MHz). Estes perfis foram obtidos com antenas de frequência central de 25, 50, 100 e 200MHz, com espaçamento entre as antenas transmissora–receptora de 4, 2, 1 e 0,6 metros, respectivamente.

Os perfis realizados no IAG possuem 200m de comprimento e *stack*¹ de 512, com exceção do perfil PERF01-IAG (50MHz) que foi adquirido com *stack* de 1024.

Os perfis PERF01-PER (50MHz) e PERF02-PER (100MHz) possuem uma extensão de 18m cada e foram adquiridos perpendicularmente ao prédio do Instituto de Física.

As CMP's foram realizadas ao longo da Linha IAG/FIS, nas posições de 0m (CMP00), 40m (CMP40), 60m (CMP60) e 90m (CMP90). Possuem uma extensão média de 3,0m, antena com frequência central de 200MHz, espaçamento entre as medidas de 0,40m e *stack* de 512.

As WARR's foram executadas com antena de frequência central de 50MHz, espaçamento entre as medidas de 0,2m e *stack* de 512. Foram realizadas ao longo da Linha IAG/FIS, nas posições de 20m (WARR20), 110m (WARR110), 140m (WARR140) e 170m (WARR170). Possuem uma extensão variando de 6 a 10,0m.

- **IPEN**

Na área próxima ao IPEN foram realizados dois perfis GPR de afastamento constante e duas sondagens de velocidade do tipo CMP (Figura 3.4).

Os perfis GPR foram denominados GPRHU (50MHz) e GPRHU-T (200MHz). O primeiro possui uma extensão de 200m, antenas com frequência central de 50MHz, separação entre as antenas de 2m, espaçamento entre as medidas de 0,5m e empilhamento por traço (*stack*) de 512. O segundo foi realizado perpendicularmente ao

¹ *Stack* – empilhamento por traço. Como na sísmica supõe-se que os dados GPR são caracterizados pelos sinais que permanecem essencialmente constantes e por ruídos que são basicamente aleatórios. O aumento na razão sinal/ruído é alcançado pelo aumento do *stack* (Yilmaz, 1987).

primeiro, na posição 100m. Possui uma extensão de 9m, antenas com frequência central de 200MHz, separação entre as antenas de 0,6 metros, espaçamento entre as medidas de 0,2 metros e *stack* de 512.

As CMP's foram executadas na posição 100m do perfil GPRHU (50MHz), mas com afastamentos perpendiculares, sendo uma paralela ao perfil de 50MHz, denominada CMP100P (100MHz) e outra transversal, denominada CMP100T (100MHz). Ambas possuem 6 metros de extensão, foram realizadas com antenas com frequência central de 100MHz, espaçamento entre as medidas de 0,4 metros, *stack* de 512.

Processamento e Apresentação dos Dados GPR

O processamento dos dados de radar envolve as seguintes etapas:

- a) Edição dos dados;
- b) Processamento do sinal e,
- c) Apresentação da imagem processada.

As principais etapas envolvidas no processamento dos dados de radar são: edição dos dados, *dewow*, ganhos no tempo, filtragem temporal e espacial e migração (Annan, 1993). Os dados de GPR foram processados no *software* Gradix da INTERPEX LTD., USA (1996) e as etapas realizadas no processamento, adotadas neste trabalho, são brevemente descritas a seguir.

- Importing GPR Data Files (Importação de Arquivos de dados GPR) – esta etapa consistiu na criação de um projeto de trabalho no qual foram dispostos todos os dados dos perfis executados. O programa importou estes dados em formato RD3, que é o formato de saída do GPR fabricado pela RAMAC.
- Editing Geometry (Edição da Geometria) – nesta etapa foram acertadas as disposições dos perfis ao longo das áreas (entrada de coordenadas, distância de cada perfil, nome da linha, entre outras).

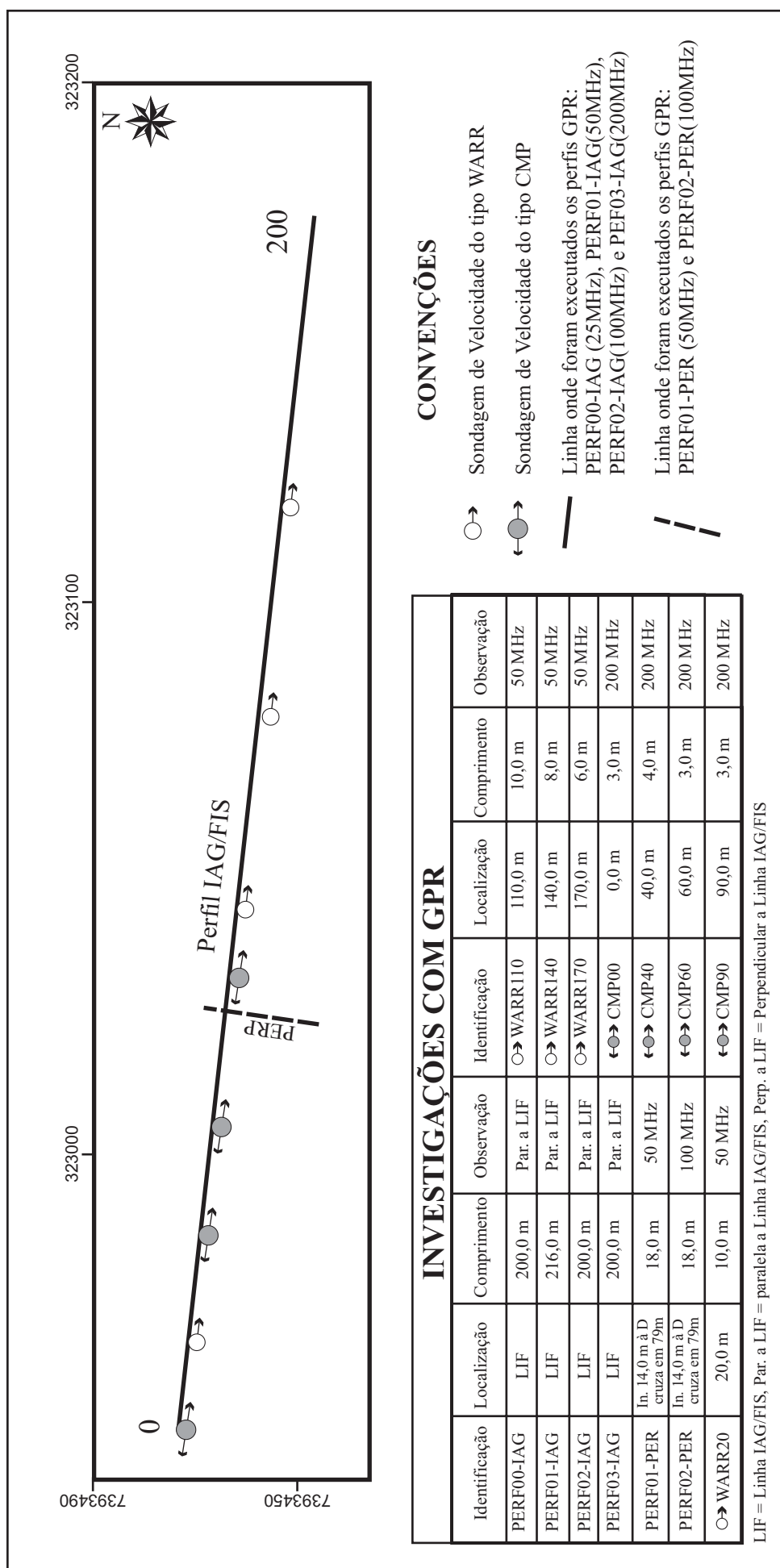


Figura 3.3 - Croqui da área em frente ao IAG/USP mostrando a localização das investigações realizadas com o GPR.

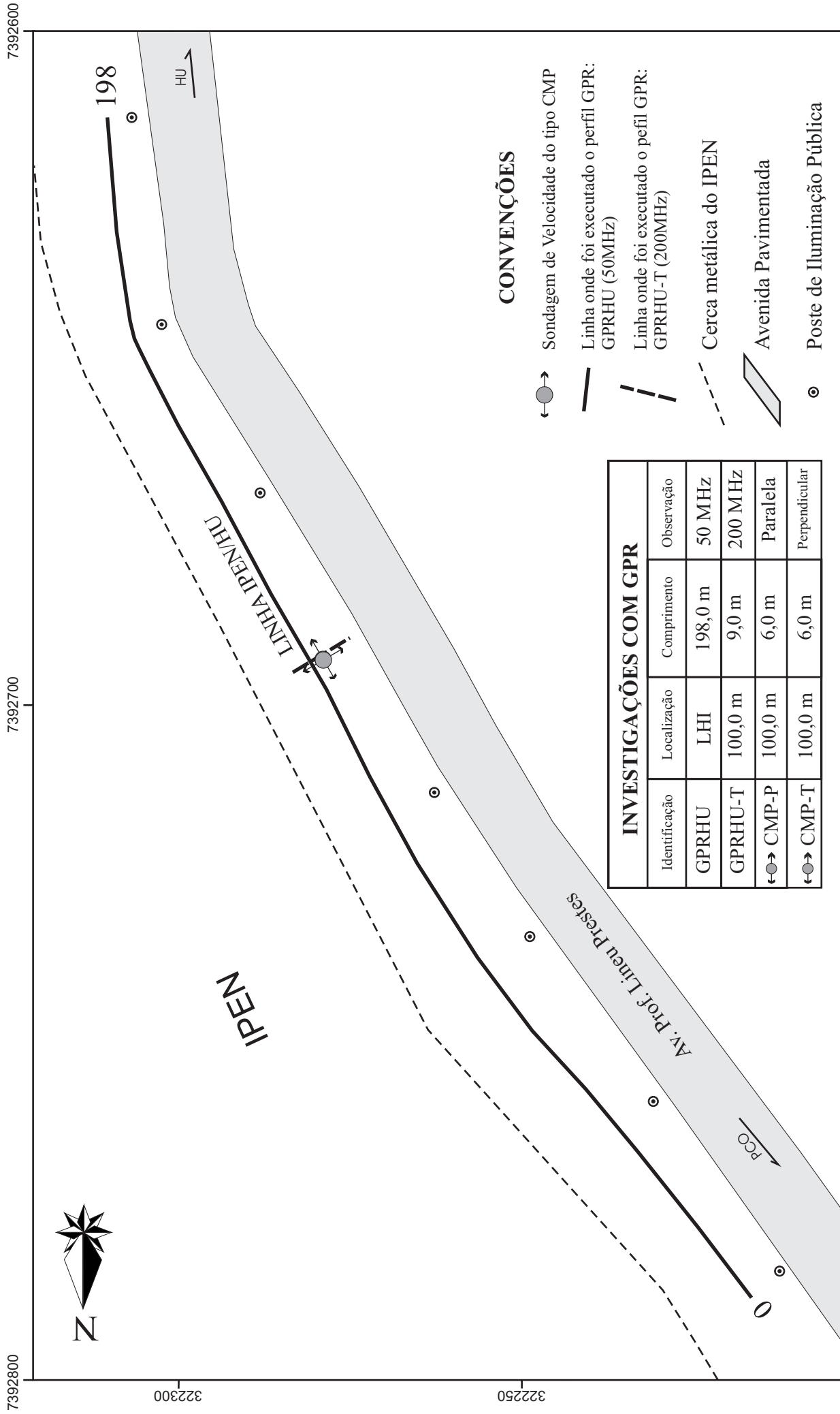


Figura 3.4 - Croqui da área próxima ao IPEN mostrando a localização das investigações realizadas com o GPR.

- Window traces (Janela dos Traços) – delimitação dos traços, tanto horizontalmente como verticalmente.
- DeWow – remoção dos ruídos de baixa frequência nos sinais de radar.
- Set time zero (Identificação do tempo zero) – definição da disposição do tempo zero do perfil.
- Remove Background (Remoção do Ruído de Fundo) – remoção do valor de *background* dos dados do radargrama com base em um traço ou janela determinada.
- Gain (Ganho) – aplicação de ganhos nos dados, com o intuito de melhorar a visualização de refletores fracos. Os ganhos aplicados foram: Linear, Exponencial Esférico, Constante, *Power* e Programado.
- Filter (Filtro) – remoção de frequências não desejadas (ruídos). Os espectros de amplitude e de fase no domínio do tempo podem ser observados durante a escolha do melhor filtro. Foram utilizados os seguintes filtros: *trapezoidal bandpass* (Passa Banda Trapezoidal) e gaussiano.
- Analyze spectra (Análise de Espectro) – permite analisar o espectro de amplitude e de fase de qualquer ponto do radargrama, individualmente.
- Analyse fk (Análise fk) – seleção de intervalos de velocidade ou polígonos a serem utilizados em filtros fk.
- Filter fk (Filtro fk) – permite a remoção de eventos lineares através da aplicação da transformada dupla e inversa de Fourier. Tais eventos inclinados no domínio espaço-tempo aparecem como linhas retas no domínio frequência-número de onda.
- Velocity panels (Painéis de Velocidade) – utilizado para analisar sondagens de velocidade (WARR e CMP). Funciona como a correção NMO (*Normal Moveout*), onde os refletores hiperbólicos ficam horizontais de acordo com sua velocidade. Exibe paralelamente um espectro de energia do refletor de acordo com a velocidade selecionada.
- Velocity Spectra (Espectro de Velocidade) – utilizado somente para sondagens de velocidade. Esta opção permite a visualização do espectro de energia de cada refletor, permitindo uma identificação mais precisa da velocidade dos refletores.
- Migrate (Migração) – utilizada para a recuperação da forma aproximada dos refletores e disposição correta dos mesmos, realizada no domínio da frequência.

- Elevation Statics (Correção Topográfica) – inserção da topografia nos dados de radar. Pode-se adicionar a topografia com uma velocidade constante ou com um perfil de velocidade.
- Trace Mix – utilizado como um filtro móvel de suavização de refletores horizontais.
- Depth Conversion (Conversão em Profundidade) – conversão dos radargramas em tempo para profundidade. Pode ser aplicado com a utilização de uma velocidade constante ou de um perfil de velocidade.
- Viewing the Profile (Visualização do perfil) – permite a visualização do radargrama após cada etapa do processamento, sendo possível a edição da visualização dos traços (*wiggle trace*, *variable área* e *variable density*), ganhos, dimensões do perfil e anotações verticais e horizontais.
- Plot Profile (Impressão do Perfil) – imprime e salvar o arquivo gerado após as etapas de processamento.

Dois organogramas simplificados, demonstrando as etapas do processamento realizado nos dados de perfis de reflexão de afastamento constante e sondagens de velocidade de radar, estão mostrados na Figura 3.5. O processamento dos dados de radar é, normalmente, dependente do intérprete, sendo bastante interativo e subjetivo.

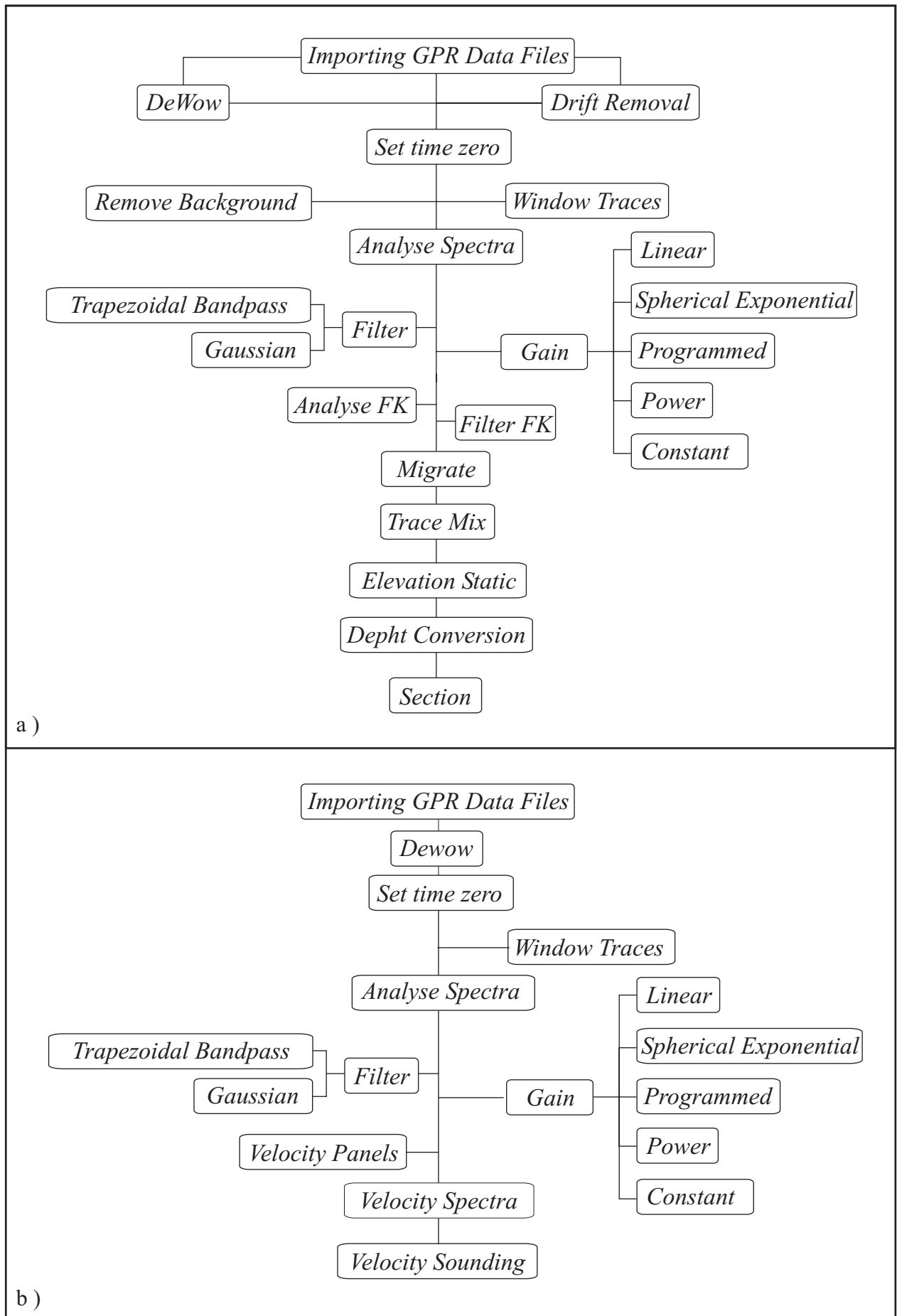


Figura 3.5 - Fluxogramas utilizados no processamento dos dados GPR: a) aplicado em perfis de afastamento constante, e b) utilizado em sondagens de velocidade.

3.2 DADOS DE ELETORRESISTIVIDADE

As investigações elétricas foram realizadas com o equipamento francês SYSCAL, da empresa Íris (Figura 3.6), de propriedade do Departamento de Geofísica do IAG/USP.



Figura 3.6 - Equipamento para ensaios de resistividade Iris Syscal R2.

As técnicas de aquisição de dados de eletroresistividade são principalmente de dois tipos: sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico.

As sondagens elétricas verticais foram executadas utilizando-se os arranjos Schlumberger (SS) e Dipolo-Dipolo (SDD). As SEV's com arranjo Schlumberger tiveram os espaçamentos entre os eletrodos de emissão de corrente ($AB/2$) e de potencial ($MN/2$) conforme disposto na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Arranjo Schlumberger utilizado em algumas sondagens elétricas verticais.

AB/2 (metros)	MN/2 (metros)	AB/2 (metros)	MN/2 (metros)
1,5	0,5	30	2
2	0,5	40	2
3	0,5	40	5
4	0,5	50	2
5	0,5	50	5
6	0,5	60	5
6	1	60	10
8	0,5	80	5
8	1	80	10
10	0,5	100	5
10	1	100	10
12	1	150	5
15	1	150	10
15	2	200	5
20	1	200	10
20	2	300	10
25	2	400	10

As SEV's que utilizaram arranjo Dipolo-Dipolo tiveram o espaçamento entre os eletrodos igual a $n.X$, sendo que n é um fator de multiplicação (0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 28 e 30) e X a distância entre os eletrodos de corrente e de potencial (10 e de 20m).

- **IAG/Física**

Nessa área foram adquiridas duas SEV's com arranjo Schlumberger (SS), três SEV's com arranjo dipolo-dipolo (SDD) e dois caminhamentos elétricos (CE)(Figura 3.7). As seções de CE estão sobrepostos à Linha IAG/FIS.

As duas SS foram denominadas de SS01-IAG/Física e SS02-IAG/Física. A primeira teve os eletrodos de emissão de corrente (AB/2) distanciados até 400m, alinhados paralelamente à rua do Matão, na posição 165m da Linha IAG/FIS. A SS02-IAG/Física teve os eletrodos de emissão de corrente (AB/2) distanciados até 200m, alinhados perpendicularmente à Linha IAG/FIS, na posição 200m. Foi realizada

perpendicularmente à rua do Matão devido a suspeita da presença de uma zona de falha próxima a Linha IAG/FIS. No entanto, a presença da mesma não foi constatada nos dados da sondagem, conforme será discutido na análise dos resultados.

As SDD foram executadas paralelas à rua do Matão, sobre a Linha IAG/FIS, sendo denominadas SDD01-IAG, SDD02-IAG e SDD03-IAG. A primeira foi executada na posição 0m da Linha IAG/FIS, utilizou dipolo de 10m e teve os eletrodos de corrente (AB) distanciados em 320m do eletrodo de potencial (MN). A SDD02-IAG foi realizada na posição 100m da Linha IAG/FIS, utilizou dipolo de 20m e teve os eletrodos de corrente distanciados em 320 dos eletrodos de potencial. A SDD03-IAG foi realizada na posição 150m da Linha IAG/FIS, utilizou dipolo de 20m e teve os eletrodos de corrente distanciados em 300m dos eletrodos de potencial.

Os dois caminhamentos elétricos, denominados CE-10 e CE-20, foram dispostos paralelos à rua do Matão e utilizaram o arranjo Dipolo-Dipolo. No CE-10 os eletrodos tiveram um afastamento (X) de 10m, ao passo que no CE-20, os eletrodos tiveram um afastamento (X) de 20m.

- **IPEN**

Na área próxima ao IPEN foi executada uma SEV com o arranjo Schlumberger (Figura 3.8). A SEV foi denominada de SS01-HU/IPEN, teve os eletrodos de corrente (AB) distanciados em até 300m, alinhados paralelamente à Av. Professor Lineu Prestes, na direção NW-SE.

Modelagem e Apresentação dos Dados de Eletrorresistividade

As primeiras informações retiradas das curvas elétricas são qualitativas. Nesse estágio pode ser verificado, por exemplo, se a camada de cobertura é mais ou menos resistiva do que as camadas subjacentes ou zonas em que o embasamento se encontra a profundidades menores.

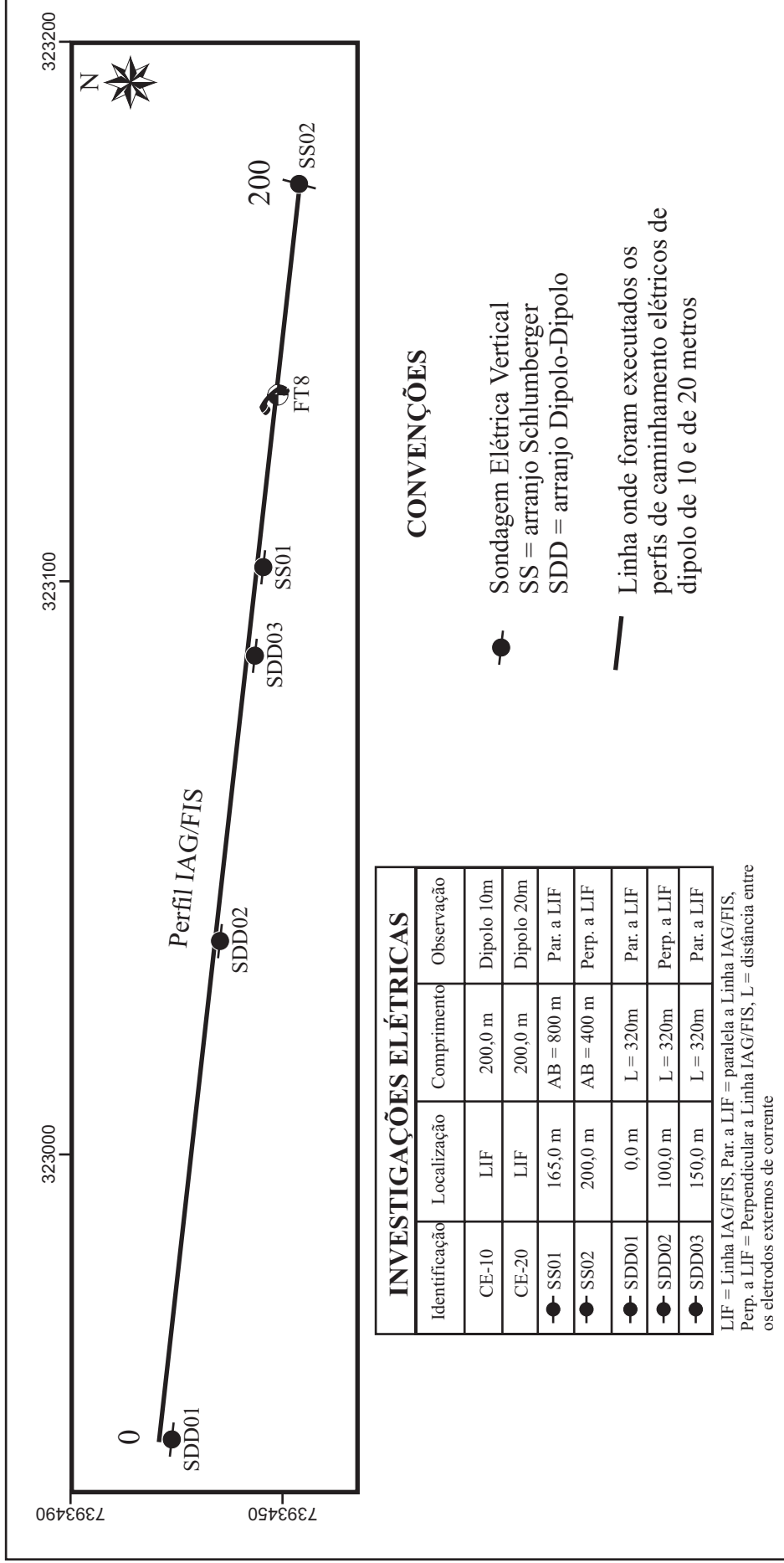


Figura 3.7 - Croqui da área em frente ao IAG/USP mostrando a localização das investigações de eletroresistividade.

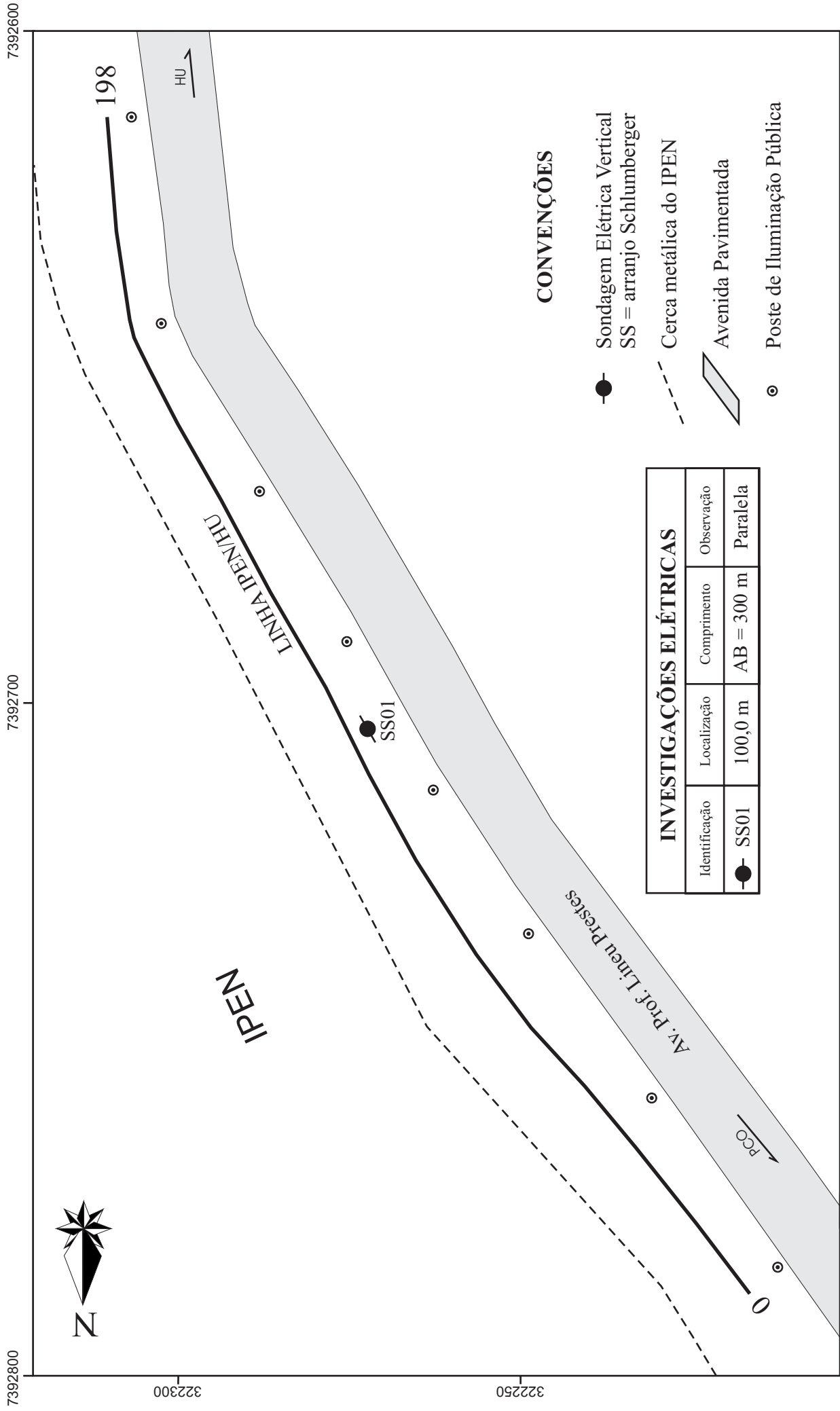


Figura 3.8 - Croqui da área próxima ao IPEN mostrando a localização das investigações de eletrorresistividade.

A interpretação quantitativa dos dados de sondagens elétricas é feita assumindo-se um modelo de camadas isotrópicas, separadas por superfícies planas horizontais, cujo objetivo é determinar os parâmetros "espessura" e "resistividade média" de cada camada. Uma maneira para realizar uma análise quantitativa é através de ajustes automáticos entre os dados de campo e a resposta obtida por modelos de inversão. Esta etapa foi utilizada através do algoritmo de inversão 1D do *software* RESIXIP da INTERPEX LTD. USA (1997).

Nos perfis de caminhamento elétrico utilizou-se o arranjo Dipolo-Dipolo, sendo os eletrodos espaçados de 10m (CE-10) e de 20m (CE-20). A profundidade teórica de investigação nos caminhamentos elétricos é obtida através das relações geométricas do arranjo utilizado, não levando em consideração perdas por absorção e dispersão de corrente ao longo dos materiais. Assim, a máxima profundidade "teórica" atingida pelo CE-10 seria de 30m e pelo CE-20 seria de 60m, já que os mesmos apresentam cinco níveis de investigação. No entanto, Edwards (1977) apresenta uma relação para o arranjo dipolo-dipolo de $0,25L$ como profundidade máxima de investigação, onde L é a distância entre os eletrodos externos. Roy & Apparao (1977), para o mesmo arranjo, apresentam uma relação para a profundidade de investigação de $0,195L$. Essas relações levam em conta perdas por absorção e dispersão de corrente e são calculadas estatisticamente.

As profundidades reais, obtidas neste trabalho, foram obtidas através da correlação de dados geológicos de poços de investigação geológica, realizadas na área em frente ao IAG/USP, com dados de perfilagem elétrica (Porsani, 2001). Os dados de perfilagem elétrica mostram que as camadas arenosas da Formação São Paulo, na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, apresentam valores de resistividade da ordem de 400 a 750ohm.m quando saturadas.

Através de uma análise prévia dos resultados de caminhamento elétrico, obteve-se a relação para o arranjo dipolo-dipolo de aproximadamente $0,25L$, que é compatível com a relação de Edwards (*op. cit*). No entanto, os dados não foram modelados em *softwares* de inversão de dados elétricos, deste modo optou-se por mostrar os dados do caminhamento elétrico de acordo com o nível de investigação.

Os dados de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo foram plotados no programa *Surfer 7.0* da *Golden Software, Inc.* (1995) gerando pseudo-seções de pontos teóricos de investigação e de isolinhas de resistividade aparente.

3.3 DADOS GEOLOGICOS

• IAG/Física

Além dos perfis litológicos dos três poços perfurados pelo projeto coordenado pelo Prof. Porsani foram executadas nove sondagens a trado, distribuídas ao longo da Linha IAG/FIS (Figura 3.9).

As sondagens tiveram uma profundidade máxima de investigação de 5,0 metros, variando a amostragem de acordo com mudanças granulométricas e de tonalidade dos materiais. Os dados de sondagem foram organizados em fichas (Anexo 01 a 09) e as amostras catalogadas e armazenadas para futuras consultas. Com os furos de sondagem foi elaborada uma seção geológica superficial para uma profundidade máxima de 5m (Figura 1.13).

• IPEN

Nesta área foram executadas sete sondagens a trado, distribuídas ao longo da linha HU/IPEN, (Figura 3.10).

As sondagens, devido a enorme quantidade de clastos decimétricos dispersos no subsolo, não alcançaram grandes profundidades e apenas uma atingiu 5,0 metros, identificando o nível d'água a uma profundidade de 3,24 metros. A amostragem variou de acordo com as mudanças granulométricas e de tonalidade dos materiais. Os dados de sondagem foram organizados em fichas (Anexo 10 a 13) e as amostras catalogadas e armazenadas para futuras consultas. Com os furos de sondagem foi elaborada uma seção geológica superficial (Figura 1.14).

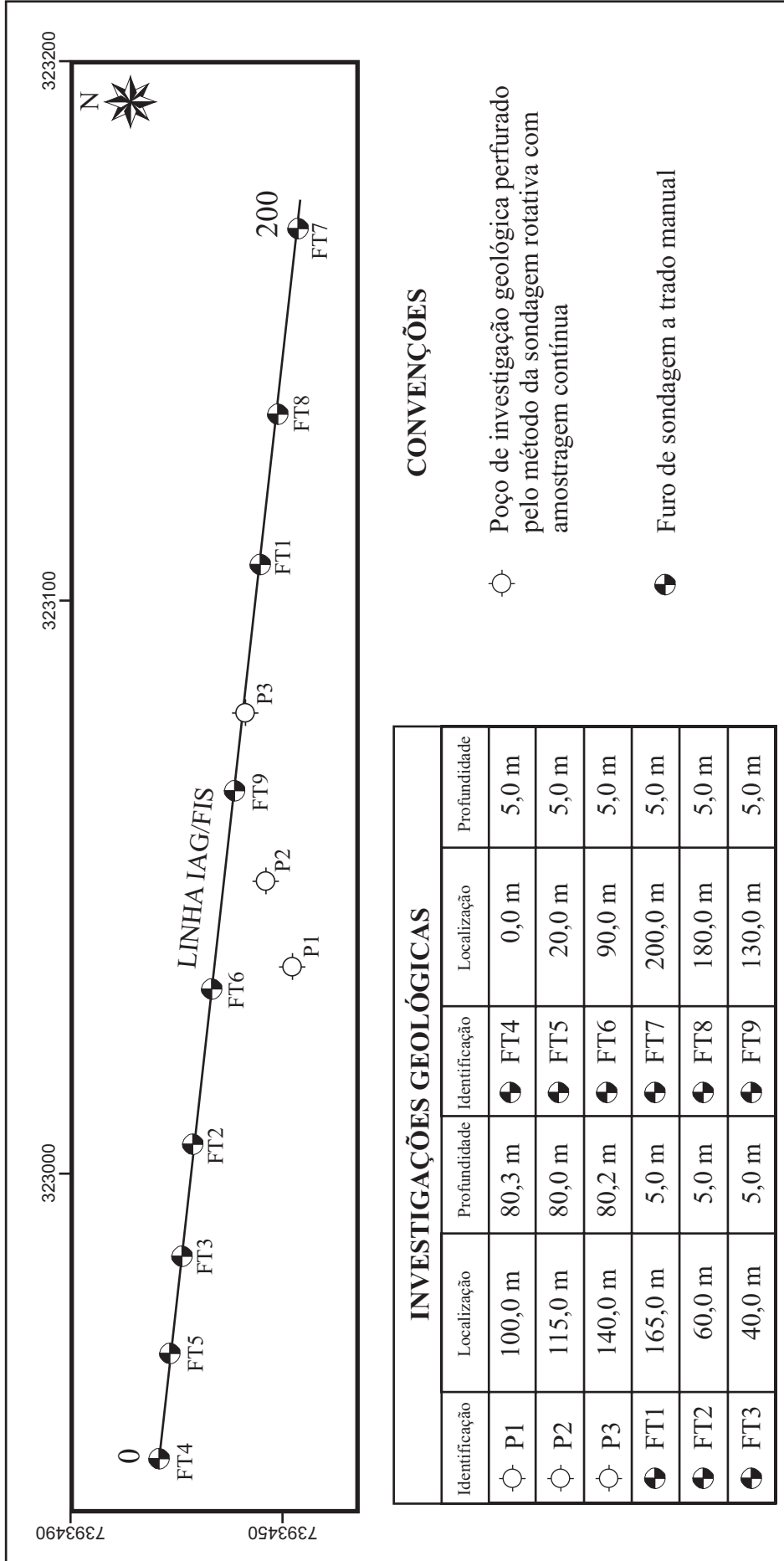


Figura 3.9 - Croqui da área em frente ao IAG/USP mostrando a localização das investigações geológicas realizadas.

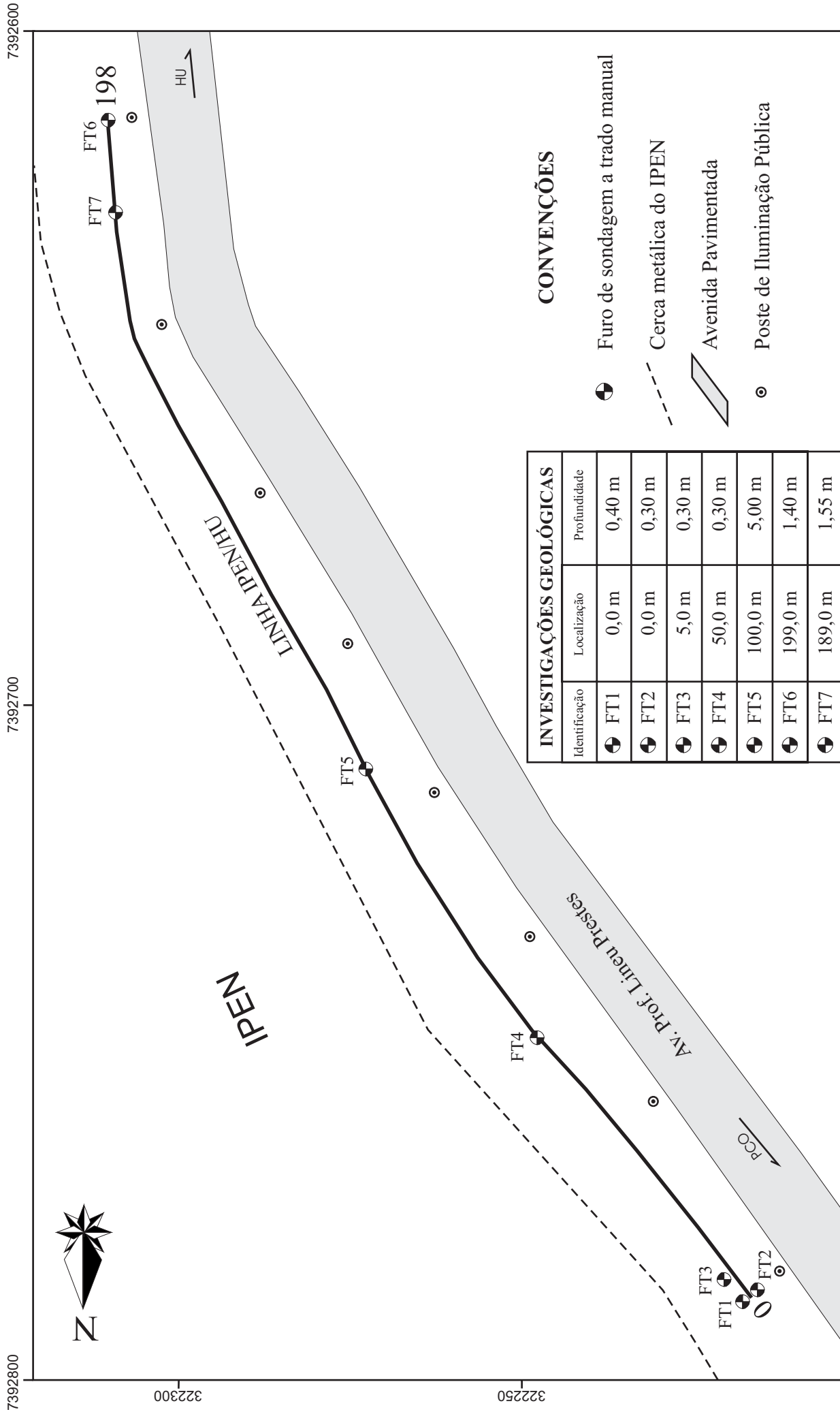


Figura 3.10 - Croqui da área próxima ao IPEN mostrando a localização das investigações geológicas realizadas.