



Universidade Federal do Pará  
Centro de Geociências

Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA EM ÁREA DE  
AGRICULTURA INTENSIVA, NA MICROBACIA DO  
IGUARAPÉ CUMARU, NORDESTE DO PARÁ.**

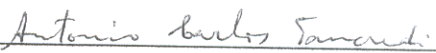
TESE APRESENTADA POR

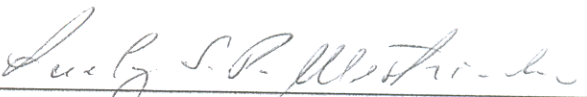
**LUCIENE MOTA DE LEÃO**

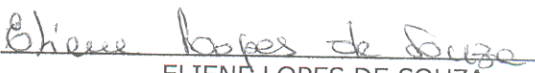
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **30 / 06 / 2003**

**Comitê de Tese:**

  
ANTONIO CARLOS F.N.S.TANCREDI (Orientador)

  
SUELY SCHUARTZ PACHECO MESTRINHO

  
ELIENE LOPES DE SOUZA

Belém

*Aos meus pais e a  
César Chaves com muito  
carinho pelo grande incentivo.*



## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho teve a contribuição de várias pessoas e órgãos, cujos agradecimentos deixo aqui registrados como forma de gratidão.

Ao meu orientador Antonio Carlos Tancredi pela valiosa orientação, fornecendo várias bibliografias e apoio nas pesquisas.

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo, que ajudou muito no apoio financeiro.

A professora Eliene Lopes de Souza pela valiosa contribuição em termos de orientação e sugestões.

A Embrapa pelo apoio nas viagens de campo e ao projeto SHIFT pela colaboração e infraestrutura no campo.

Ao Funtec/SECTAN pelo apoio financeiro ao Projeto destinado a esta pesquisa.

Ao geólogo Homero, o técnico Reginaldo e aos trabalhadores do Cumaru, pelo apoio nos trabalhos de campo.

A Leila Hanna, técnica do Laboratório de Hidroquímica, que muito colaborou nas minhas análises.

Ao meu querido César Chaves, por todo apoio nas horas mais difíceis, pelo carinho e principalmente pelo grande incentivo.

A minha família, em especial aos meus pais Luecir e Ione.

Aos colegas, Lilianne, Natalina, Jaime, Cristiane e Edson pelas amizades cultivadas.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho fosse concluído.

## SUMÁRIO

|                                                        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|
| DEDICATÓRIA.....                                       | i      |
| AGRADECIMENTOS.....                                    | ii     |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....                              | vi     |
| RESUMO.....                                            | 1      |
| ABSTRACT.....                                          | 3      |
| <br>1. INTRODUÇÃO.....                                 | <br>5  |
| 1.1 APRESENTAÇÃO.....                                  | 5      |
| 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....                           | 7      |
| 1.3 OBJETIVOS.....                                     | 10     |
| 1.4 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....                    | 11     |
| <br>2. METODOLOGIA.....                                | <br>15 |
| 2.1 MÉTODOS DE COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS.....   | 15     |
| 2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS.....                            | 17     |
| 2.3 ESTUDO HIDROGEOLÓGICO.....                         | 18     |
| 2.4 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DO PESTICIDA DIMETOATO..... | 19     |
| 2.5 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS.....                     | 21     |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b> | <b>22</b> |
| 3.1 CLIMA.....                                   | 22        |
| 3.2 SOLO.....                                    | 26        |
| 3.3 VEGETAÇÃO.....                               | 27        |
| 3.4 HIDROLOGIA.....                              | 27        |
| 3.5 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....                | 28        |
| <b>4. CONTEXTO GEOLÓGICO.....</b>                | <b>29</b> |
| 4.1 GEOLOGIA REGIONAL.....                       | 29        |
| 4.1.1 Formação Pirabas.....                      | 29        |
| 4.1.2 Grupo Barreiras.....                       | 30        |
| 4.1.3 Sedimentos Pós-Barreiras.....              | 32        |
| 4.1.4 Sedimentos Recentes.....                   | 32        |
| 4.2 GEOLOGIA LOCAL.....                          | 34        |
| <b>5. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....</b>           | <b>37</b> |
| 5.1 HIDROGEOLOGIA REGIONAL.....                  | 37        |
| 5.1.1 Aquíferos do Quaternário.....              | 37        |
| 5.1.2 Aquíferos do Grupo Barreiras.....          | 38        |
| 5.1.3 Aquíferos da Formação Pirabas.....         | 38        |
| 5.2 HIDROGEOLOGIA LOCAL.....                     | 39        |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                        | <b>41</b> |
| 6.1 BALANÇO HÍDRICO.....                                     | 41        |
| 6.2 HIDRODINÂMICA DO AQUÍFERO LIVRE.....                     | 45        |
| <b>6.2.1 Parâmetros Hidrodinâmicos.....</b>                  | <b>45</b> |
| 6.2.1.1 Condutividade Hidráulica.....                        | 45        |
| 6.2.1.2 Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento..... | 49        |
| <b>6.2.2 Fluxo Subterrâneo.....</b>                          | <b>51</b> |
| 6.2.2.1 Velocidade do Fluxo Subterrâneo.....                 | 58        |
| <b>6.2.3 Reserva Reguladora.....</b>                         | <b>60</b> |
| 6.3 HIDROGEOQUÍMICA.....                                     | 62        |
| <b>6.3.1 Água Pluviométrica.....</b>                         | <b>64</b> |
| <b>6.3.2 Água Superficial.....</b>                           | <b>67</b> |
| 6.3.2.1 Relações Iônicas.....                                | 69        |
| 6.3.2.2 Classificação das Águas.....                         | 74        |
| <b>6.3.3 Água Subterrânea.....</b>                           | <b>77</b> |
| 6.3.3.1 Relações Iônicas.....                                | 82        |
| 6.3.3.2 Classificação das Águas.....                         | 87        |
| <b>6.3.4 Qualidade da Águas.....</b>                         | <b>90</b> |
| 6.4 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA.....                              | 92        |
| <b>7. CONCLUSÕES.....</b>                                    | <b>94</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                       | <b>97</b> |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

|                     |                                                                                     |           |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 1.1–</b>  | Mapa de localização da área de estudo                                               | <b>8</b>  |
| <b>Figura 1.2–</b>  | Localização da microbacia do igarapé Cumaru                                         | <b>9</b>  |
| <b>Figura 3.1–</b>  | Temperatura média mensal no período de 1994 a 2001.                                 | <b>24</b> |
| <b>Figura 3.2–</b>  | Precipitação média mensal para o período de 1994-2001.                              | <b>24</b> |
| <b>Figura 3.3–</b>  | Precipitação total anual para o período de 1994-2001                                | <b>25</b> |
| <b>Figura 3.4–</b>  | Evaporação mensal para o período de 1994-2001                                       | <b>25</b> |
| <b>Figura 4.1–</b>  | Mapa geológico do nordeste do Pará                                                  | <b>33</b> |
| <b>Figura 4.2–</b>  | Coluna Estratigráfica do município de Igarapé-Açu                                   | <b>35</b> |
| <b>Figura 4.3–</b>  | Perfis litológicos de poços tubulares rasos                                         | <b>36</b> |
| <b>Figura 5.1–</b>  | Perfil litológico e construtivo de poço tubular profundo                            | <b>40</b> |
| <b>Figura 6.1–</b>  | Representação gráfica do balanço hídrico                                            | <b>44</b> |
| <b>Figura 6.2–</b>  | Histograma de distribuição granulométrica                                           | <b>48</b> |
| <b>Figura 6.3–</b>  | Curva de frequência acumulada dos sedimentos arenosos quaternários                  | <b>48</b> |
| <b>Figura 6.4–</b>  | Diagrama rebaixamento <i>versus</i> o tempo                                         | <b>50</b> |
| <b>Figura 6.5–</b>  | Representação gráfica da variação do nível estático nos períodos seco e chuvoso     | <b>53</b> |
| <b>Figura 6.6–</b>  | Bloco topográfico e localização dos poços                                           | <b>54</b> |
| <b>Figura 6.7–</b>  | Mapa potenciométrico do período seco                                                | <b>55</b> |
| <b>Figura 6.8–</b>  | Mapa potenciométrico do período chuvoso                                             | <b>56</b> |
| <b>Figura 6.9–</b>  | Diagramas potenciométricos dos períodos seco(A) e chuvoso(B)                        | <b>57</b> |
| <b>Figura 6.10–</b> | Mapa dos pontos de amostragem                                                       | <b>63</b> |
| <b>Figura 6.11–</b> | Diagrama da condutividade elétrica <i>versus</i> resíduo seco em águas superficiais | <b>70</b> |
| <b>Figura 6.12–</b> | Diagrama das relações iônicas Cl/Na (A) e Cl/(Na+K) (B)                             | <b>73</b> |

|                     |                                                                                                                              |           |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 6.13–</b> | Diagrama de Piper das águas superficiais, nos períodos seco(A) e chuvoso(B)                                                  | <b>75</b> |
| <b>Figura 6.14–</b> | Diagrama de Shöeller das águas superficiais, nos períodos seco(A) e chuvoso(B)                                               | <b>76</b> |
| <b>Figura 6.15–</b> | Diagrama condutividade elétrica <i>versus</i> resíduo seco em águas subterrâneas nos períodos seco (A) e chuvoso(B)          | <b>80</b> |
| <b>Figura 6.16–</b> | Diagrama das relações iônicas Cl/Na (A) e Cl/(Na+K) (B) nas águas subterrâneas                                               | <b>84</b> |
| <b>Figura 6.17–</b> | Diagrama das relações iônicas $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ (A) e $\text{HCO}_3/(\text{Ca}+\text{Mg})$ (B) nas águas subterrâneas | <b>85</b> |
| <b>Figura 6.18–</b> | Diagrama de constituintes químicos <i>versus</i> concentração nas águas estudadas                                            | <b>86</b> |
| <b>Figura 6.19–</b> | Diagrama de Piper das águas subterrâneas, nos períodos seco(A) e chuvoso(B)                                                  | <b>88</b> |
| <b>Figura 6.20–</b> | Diagrama de Shöeller das águas superficiais, nos períodos seco(A) e chuvoso(B)                                               | <b>89</b> |



## TABELAS

|                     |                                                                                      |           |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabela 3.1-</b>  | Parâmetros climáticos médios mensais e anuais no período de 1994 a 2001              | <b>23</b> |
| <b>Tabela 6.1-</b>  | Balanço hídrico da área da microbacia                                                | <b>43</b> |
| <b>Tabela 6.2-</b>  | Dados do resultado do peneiramento para análise granulométrica                       | <b>47</b> |
| <b>Tabela 6.3-</b>  | Dados dos poços selecionados para a obtenção do mapa de potenciométrico              | <b>53</b> |
| <b>Tabela 6.4-</b>  | Características hidrodinâmicas do aquífero                                           | <b>59</b> |
| <b>Tabela 6.5-</b>  | Constituintes químicos principais analisados em amostras de água da chuva            | <b>66</b> |
| <b>Tabela 6.6-</b>  | Principais parâmetros analisados em amostras de água da chuva                        | <b>66</b> |
| <b>Tabela 6.7-</b>  | Constituintes químicos principais analisados nas águas Igarapé Cumaru                | <b>68</b> |
| <b>Tabela 6.8-</b>  | Principais parâmetros analisados nas águas do Igarapé Cumaru                         | <b>68</b> |
| <b>Tabela 6.9-</b>  | Valores das relações iônicas nas águas superficiais                                  | <b>72</b> |
| <b>Tabela 6.10-</b> | Constituintes químicos principais analisados nas águas subterrâneas                  | <b>78</b> |
| <b>Tabela 6.11-</b> | Principais parâmetros analisados nas águas subterrâneas                              | <b>79</b> |
| <b>Tabela 6.12-</b> | Valores das relações iônicas nas águas subterrâneas                                  | <b>83</b> |
| <b>Tabela 6.13-</b> | Valores máximos dos constituintes analisados nas águas e os padrões de potabilidade. | <b>91</b> |
| <b>Tabela 6.14-</b> | Resultado da análise cromatográfica                                                  | <b>93</b> |



## RESUMO

O estudo das águas subterrâneas e superficiais da microbacia do Cumaru em uma área de 16 Km<sup>2</sup>, localizada no município de Igarapé-Açu, tem como objetivo determinar as características hidrogeológicas e avaliar a qualidade das águas, nas áreas de agricultura intensiva.

Os aquíferos são constituídos por sedimentos arenosos do Quaternário, com espessura estimada em 12 metros. As características hidráulicas do aquífero, determinadas através de teste de bombeamento, indicaram valores de condutividade hidráulica de 2,89 m/dia, transmissividade de 347 m<sup>2</sup>/dia e coeficiente de armazenamento de  $0,8 \times 10^{-2}$ .

A velocidade do fluxo subterrâneo é de 0,1 m/dia e o padrão principal do sentido do fluxo é de norte para sul e de noroeste para sudeste, no sentido do igarapé Cumaru. A reserva reguladora de água subterrânea é bastante expressiva na ordem de  $8,35 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

As águas superficiais são ácidas (ph < 5), predominando os tipos sulfatadas-sódicas, tanto para os cátions como para os ânions. A pobreza em sais (STD < 14 mg/L), concorda com os baixos valores de condutividade elétrica (média de 19 µS/cm), e possivelmente tem origem pluvial dos íons maiores. São águas de boa qualidade e estão dentro do padrão de potabilidade.

A ordem de predominância dos íons apresentam as seqüências rNa > rCa > rMg > rK e rSO<sub>4</sub> > rCl > rHCO<sub>3</sub>. Através das relações rCl/rNa e  $rCl/(rNa+rK) \cong 1$  é possível perceber a influência das águas de precipitação pluviométrica.

As águas subterrâneas possuem um caráter ácido (pH < 6), pobreza em sais (STD < 44 mg/L), contribuindo para a baixa condutividade elétrica (média de 30 µS/cm).

A predominância dos íons no período seco são rCa > rNa > rMg > rK e no período chuvoso são rNa > rCa > rMg > rK. Os ânions no período chuvoso apresentam a ordem rCl > rSO<sub>4</sub> > rHCO<sub>3</sub> e no rSO<sub>4</sub> > rCl > rHCO<sub>3</sub> para o período seco. As relações rCl/rNa e  $rCl/(rNa+rK) \cong 1$  indicam influência da água da chuva de origem oceânica. São águas do tipo cloretada sódica, para os períodos seco e chuvoso analisados.

A qualidade dessas águas apresenta-se dentro dos limites estabelecidos pelos padrões de potabilidade com exceção do pH ácido e do teor de ferro, que não implicam em risco à saúde humana.

Os resultados das análises do pesticida dimetoato, nas águas subterrâneas e superficiais, apresentaram-se todos abaixo do limite de detecção do método ( $< 0,01$  mg/L).

## ABSTRACT

The study of groundwater and superficial waters of the Cumaru watershed in a 16 Km<sup>2</sup> yield, located in the Igarapé-Açu city, has the aim of to determine the hydrogeological characteristics and to evaluate the water quality, in the areas of intensive agriculture.

The climate of the region is placed in the equatorial humid domain of the "Am" type, according to Köppen classification, with rain precipitation annual average of 2.526,3 mm.

Sand sediments of the Quaternary constitute the water reservoirs, with thickness estimated about 12 meters. The hydraulic characteristics of that water reservoir was determined through pumping test and had indicated hydraulic conductivity values of 2,89 m/day, transmissivity of 347 m<sup>2</sup>/day and storage coefficient of  $0,8 \times 10^{-2}$ .

The speed of the underground flow is of 0,1 m/day and the main standard of the flow direction are north-south and northwest-southeast, in the direction of the Cumaru narrow river. The regulating underground water reservoir is sufficiently expressive in the order of  $8,35 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

The superficial waters are acids (ph < 5) with the sulfatades-sodium types predominance, both for cations and anions. The poverty in its leave (STD < 14 mg/L) agrees to the low values of electric conductivity (average of 19 µS/cm), and possibly it has bigger pluvial origin of ions. They are waters of good quality and the standard of potability.

The order of predominance of ions presents the following sequence: rNa > rCa > rMg > rK and rSO<sub>4</sub> > rCl > rHCO<sub>3</sub>. Through relations rCl/rNa and rCl/(Na+K)  $\cong 1$  is possible to note the influence of rain precipitation waters.

The groundwater possess an acid character (pH < 6), poverty in leave (STD < 44 mg/L), contributing for low electric conductivity (average of 30 µS/cm).

The predominance of ions in the dry period is rCa > rNa > rMg > rK and in the rainy period they are rNa > rCa > rMg > rK. Anions in the rainy period presents the following order: rCl > rSO<sub>4</sub> > rHCO<sub>3</sub> and rSO<sub>4</sub> > rCl > rHCO<sub>3</sub>, for the dry period.

Relations  $rCl/rNa \text{ e } rCl/r(Na+K) \cong 1$  indicate influence of the rain water of oceanic origin. They are waters of the chloride-sodium type to the analyzed dry and rainy periods.

The waters qualities presented are inside the limits established for standards of potability. The exceptions are the acid pH and iron amounts, but this do not imply in human health damage.

The analyses results of the dimethoate pesticide in groundwater and superficial waters had presented and both was below the lower detection limit of the method ( $<0,01$  mg/L)

## 1- INTRODUÇÃO

### 1.1- APRESENTAÇÃO

A importância de estudos enfocando a qualidade da água em regiões agrícolas está relacionada com as alterações que estas atividades podem causar através de processos biológicos, físicos e químicos nas águas superficiais e subterrâneas. Estas alterações podem ser avaliadas através do monitoramento da qualidade da água (Carvalho et al. 2000; Merten & Minella, 2002).

Devido à variabilidade agroecológica e socioeconômica do nosso país, a agricultura brasileira é heterogênea e complexa em seus sistemas e estruturas de produção. Os sistemas agrícolas menos evoluídos consomem os recursos naturais demasiadamente, através de processos como desmatamento, perda de solos, redução de fertilidade natural, entre outros, como é o caso do Estado do Pará (Embrapa, 2001).

Nas áreas onde se desenvolve algum tipo de agricultura, a química da água pode estar fortemente influenciada em virtude do uso indiscriminado de diversas substâncias causadoras de desequilíbrios, introduzidas no meio ambiente como inseticidas, herbicidas, pesticidas, fungicidas, fertilizantes, sais, entre outros (Química..., 2003).

Os pesticidas aplicados nas lavouras depositam-se no solo e são transportados para as águas superficiais e subterrâneas através de vários mecanismos, podendo seus resíduos permanecer no meio ambiente causando grandes riscos à saúde humana (Queiroz et al. 2001).

Um dos fatores que agrava o problema atual de aplicação de agrotóxicos e a conseqüente intoxicação dos produtores é a total falta de informação técnica dos agricultores sobre os componentes químicos presentes nos agrotóxicos (Arantes, 2001).

Desta forma, fica claro que a qualidade das águas subterrâneas e superficiais nas áreas de agricultura intensiva, deve ser melhor enfocada nas pesquisas.

Tendo em vista que a base da economia do município de Igarapé-Açu é a agricultura, iniciou-se esta pesquisa a fim de se determinar as características



hidrogeológicas e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas na microbacia do Igarapé Cumaru, já que a maioria dos agricultores da região utiliza estas águas para uso doméstico através de poços escavados ou diretamente dos igarapés.

As áreas escolhidas para desenvolver o estudo situam-se nas plantações de maracujá, pois são nestes cultivos que os pequenos agricultores utilizam mais defensivos agrícolas no combate às doenças das lavouras.

Diante do exposto, a utilização de defensivos agrícolas nesta região onde o solo é arenoso, de grande permeabilidade e com vários cursos d'água às proximidades, torna de grande importância o monitoramento e avaliação da qualidade das águas da microbacia do Igarapé Cumaru.

A caracterização hidrogeológica realizada na microbacia do igarapé Cumaru pretende contribuir para pesquisas futuras que visem preservar a qualidade das águas nesta região, onde a agricultura é a base da economia.



## 1.2- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está situada no nordeste do Estado do Pará, município de Igarapé-Açu, Zona Bragantina, a 110 Km de Belém. O acesso é rodoviário, através da BR-316, passando-se pelo município de Castanha, de onde prossegue-se pela rodovia estadual PA-127 até a sede do município (Figura 1.1).

Limita-se a norte pelos municípios de Maracanã e Marapanim, a leste por Nova Timboteua, a sul por Santa Maria do Pará e Castanhal e a oeste pelo município de São Francisco do Pará.

A área de interesse representa uma microbacia com uma área de aproximadamente 16 Km<sup>2</sup>, onde a drenagem principal é o Igarapé Cumaru (Figura 1.2). Esta área fica distante cerca de 8 Km do centro do município de Igarapé-Açu, onde o acesso pode ser feito por diversas estradas secundárias.

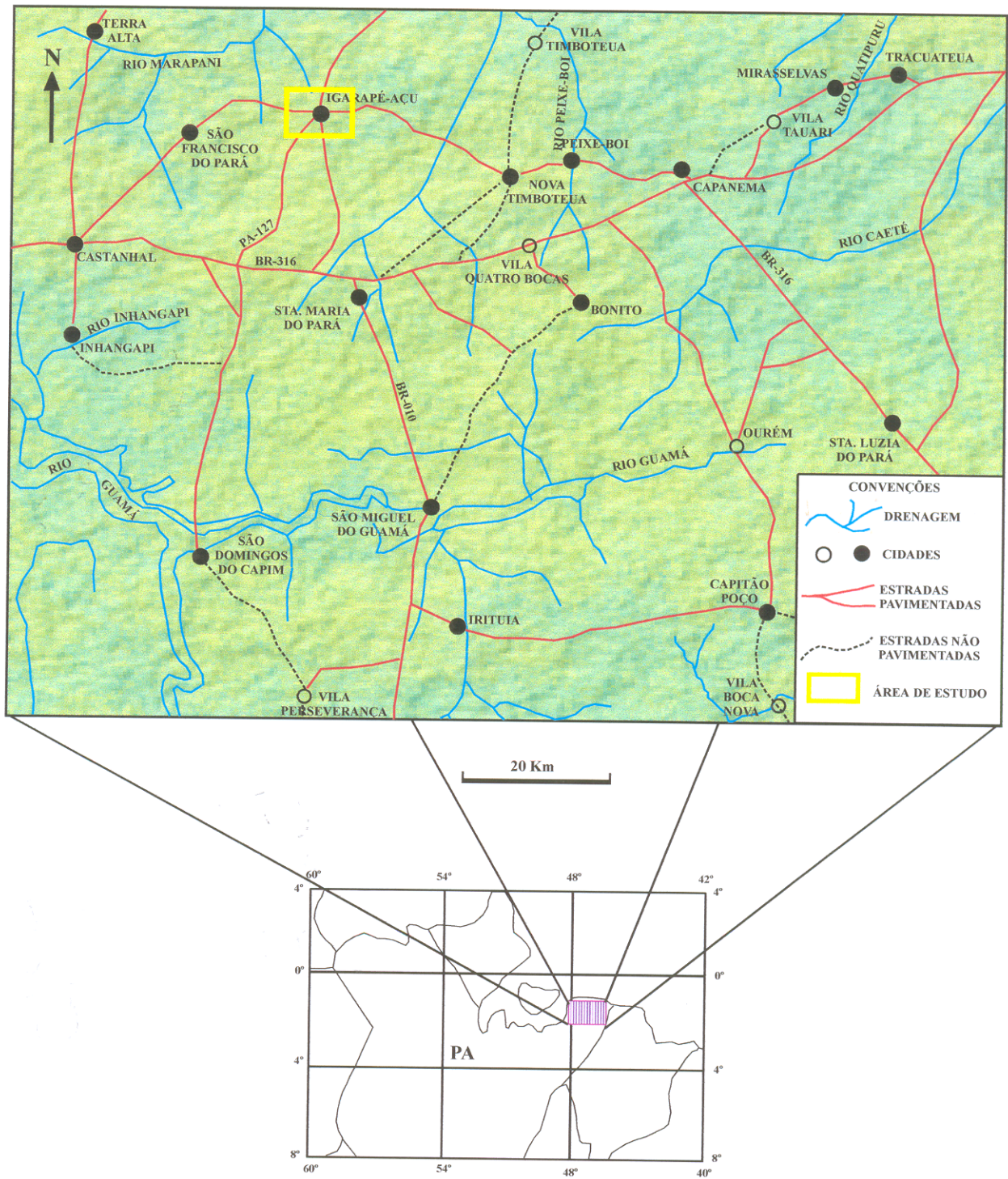


Figura 1.1 - Mapa de localização da área de estudo.



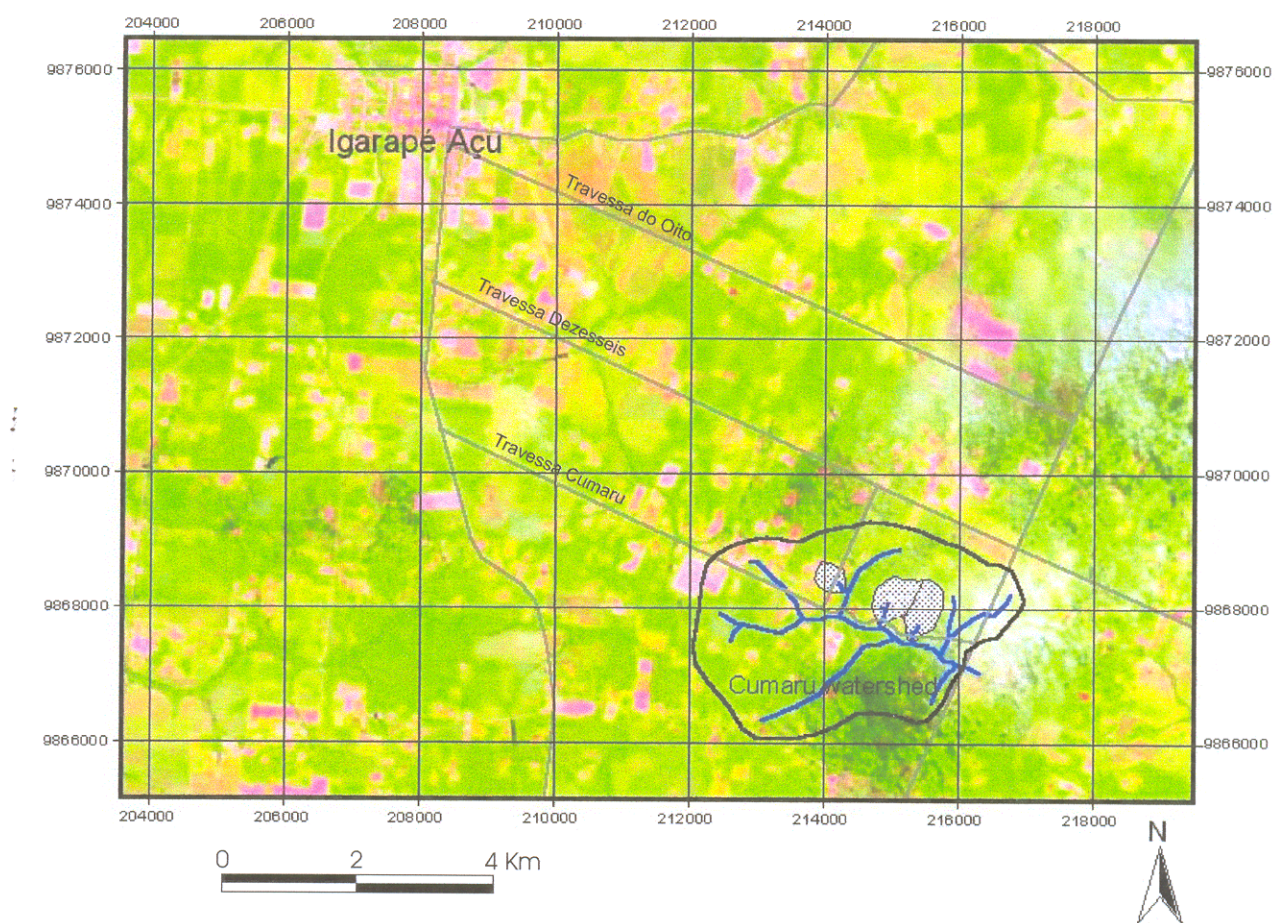


Figura 1.2 - Mapa de localização da microbacia do igarapé Cumaru, no município de Igarapé-Açu.

### 1.3- OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal determinar as características hidrogeológicas do aquífero livre através da determinação dos parâmetros hidráulicos e avaliar a qualidade da água superficial e subterrânea da bacia do Igarapé Cumaru.

Objetiva-se igualmente identificar a presença ou não de substâncias agrotóxicas utilizadas nas plantações de maracujá. Os objetivos específicos são:

- Determinar a condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento, porosidade total, gradiente hidráulico, velocidade e sentido do fluxo subterrâneo;
- Avaliar os componentes do balanço hídrico, para se determinar as condições de recarga do aquífero nessa área;
- Avaliar as águas superficiais e subterrâneas, utilizando-se os principais constituintes químicos e parâmetros físico-químicos, a fim de se caracterizar a qualidade destas águas e a possibilidade de enquadrá-las nos padrões estabelecidos pelas legislações vigentes no país (Resolução do CONAMA nº 20/86; Portaria 1.469/2000)
- Identificar se há influência das atividades agrícolas nas águas superficiais e subterrâneas, através de análise do pesticida dimetoato por cromatografia gasosa, em amostras de água.

#### 1.4- LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A microbacia do Cumaru já vem sendo estudada em suas características agrícolas e ambientais.

Foram desenvolvidos estudos meteorológicos monitorados por Bastos & Pacheco (1999), no período de 1994 a 1998, que determinaram as características agroclimáticas do município de Igarapé-Açu. Durante o período estudado o total anual de chuva avaliado foi de 2.300 mm e 2.800 mm. A temperatura média anual obtida foi de 26°C, enquanto a umidade relativa do ar teve sua média anual entre 80% e 85%.

Melo Junior et al. (2001), apresentaram a caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade do aquífero livre na microbacia do Cumaru. Através desse trabalho foram identificadas as principais características hidrogeológicas locais, sendo o aquífero do tipo livre, constituído por sedimentos predominantemente arenosos do Quaternário, sendo citados como Sedimentos Pós-Barreiras. A condutividade hidráulica determinada na zona não saturada encontra-se entre 0,18 a 0,23 m/dia. A vulnerabilidade é predominantemente moderada a alta, com áreas restritas de valores baixos.

Amaral (2001), realizou uma pesquisa sobre os riscos ambientais relacionados aos sistemas agrícolas nas microbacias do Cumaru e Caripi. Vários aspectos importantes foram pesquisados como o uso de agroquímicos e fertilizantes no município de Igarapé-Açu, os principais produtos utilizados, o motivo e a intensidade do uso, entre outros.

Os cultivos principais nestas microbacias são milho, feijão, pimenta do reino e maracujá, que são os mais rentáveis. Entretanto, essas culturas são responsáveis pelo intenso uso de agroquímicos. Os produtos químicos mais tóxicos usados nas microbacias do Cumaru e Caripi são o Azudrin, Score, Dimetoato, Dimexion, Karatê, Malation, entre outros (Amaral, 2001).

Os principais motivos do uso destes produtos são o sistema de cultivo e a intensidade do uso da terra que favorece a incidência de pragas e enfermidades que atacam os cultivos. Além de intensificarem o uso de agroquímicos, os agricultores os utilizam de forma incorreta, tanto na manipulação como na aplicação, trazendo



resultados desastrosos como perdas econômicas, contaminação do solo, do ar e da água e, conseqüentemente, a diminuição da qualidade de vida (Amaral, 2001).

Alguns autores (Meletti & Mata, 1999<sup>1</sup> apud Amaral 2001) relatam que os resíduos dos agroquímicos se acumulam nos solos, na água e nos produtos agrícolas. Portanto, o uso indiscriminado e próximo às fontes de água, faz com que seus resíduos sejam transportados pelos cursos de água como moléculas adsorvidas na argila em suspensão e colóides orgânicos.

Um levantamento concluído em setembro de 1998 pelo Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas (Sintox), órgão do Ministério da Saúde vinculado à Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), revelou que a cada ano aumenta o número de mortes causadas por agrotóxicos no País. Os óbitos notificados subiram de 143, em 1997, para 181, em 1998 (Levy, 1999).

Segundo a definição da Lei Federal nº 7.802 de 11/07/89, os agrotóxicos são produtos ou componentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados à produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas (Brasil, 1989).

A finalidade dos agrotóxicos é alterar a composição da flora e da fauna, a fim de preservá-la da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento.

Segundo Almeida (1984), a produção de inseticidas nos países em desenvolvimento pode ocasionar riscos adicionais para a saúde pública, pois os processos de síntese podem ser diferentes dos originais, podendo se transformar em outros compostos tóxicos que ficam como impurezas a níveis perigosos. Algumas conseqüências da contaminação dos rios pelos pesticidas altamente tóxicos são os peixes mortos em grandes quantidades, o que representa uma perda substancial para as populações ribeirinhas.

Pesticidas organoclorados como o DDT, HCH ou BHC, aldrina-dieldrina, clordano e heptacloro, ficam no solo durante muitos anos ou décadas. Passam progressivamente do solo para os cereais comestíveis, para a erva e eventualmente

---

<sup>1</sup> Melletti, L.M.M. & Mata, M.L. 1999. Maracujá: produção e comercialização. Campinas, SP. Instituto Agrônomo de Campinas. 64p. (Boletim Técnico nº 181).

para o gado. Mais tarde, os resíduos são encontrados nos vegetais, grãos, frutos, carne e leite (Almeida, 1984).

A uso intensivo e indiscriminado de pesticidas em regiões agrícolas tem sido responsável pelo aumento da resistência de algumas pragas, sendo necessário atualmente que novos compostos sejam usados para aumentar a eficiência dos agrotóxicos.

Tendo em vista os diversos problemas causados pelo uso indiscriminado dos agrotóxicos, ficou evidente que é de grande importância o esclarecimento dos produtores, maior orientação de técnicos especializados, com suporte do governo a essa orientação. Essas medidas tenderiam a evitar consequências mais graves decorrentes do uso desses produtos químicos, tanto para a saúde humana como para o meio ambiente.

Com base no levantamento realizado por Amaral (2001) dos tipos de agroquímicos mais utilizados na microbacia do Cumaru e com apoio bibliográfico, optou-se por uma investigar os teores do pesticida dimetoato nas águas superficiais e subterrâneas, através de análise cromatográfica.

O dimetoato é um organofosforado inseticida e acaricida usado no controle de pragas. Sua solubilidade em água a 21°C é de 25 mg/L e a concentração máxima aceitável na água de consumo doméstico é de 0,02 mg/L (Dimethoate, 1991).

Os pesticidas organofosforados são os inseticidas mais utilizados pelos agricultores para combater diversos tipos de pragas. A aplicação indiscriminada desses compostos pelos agricultores pode resultar em graves problemas de contaminação do solo e, em consequência, a transferência desses pesticidas do solo para a água através de escoamento superficial e por lixiviação.

No processo de escoamento superficial os agrotóxicos contaminam as águas superficiais e no de lixiviação as águas subterrâneas. Estes produtos inibem a enzima colinesterase produzindo um acúmulo de acetilcolina nas fibras nervosas que podem levar a convulsões, paradas respiratórias e coma (Silva et al. 2003).

Desta forma escolheu-se o dimetoato, por ser um pesticida organofosforado de alta persistência no solo, para se avaliar uma possível contaminação deste produto nos recursos hídricos da área em estudo.

Diversas pesquisas relacionadas à constituição química das águas superficiais e subterrâneas vem sendo desenvolvidas por vários autores na região Amazônica e nordeste paraense.

Gibbs (1972), desenvolveu um estudo sobre a química da água do Rio Amazonas, onde são apresentados os dados químicos com base em resultados analíticos de amostragem em ciclos-sazonais.

Junk & Furch (1980), realizaram um estudo sobre a química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés da Bacia Amazônica e em suas adjacências. A análise dos resultados em combinação com as informações existentes sobre a geologia permitiram mostrar uma relação intensiva entre as águas e a geologia de suas áreas de captação respectivas.

A contribuição de Lima & Kobayashi (1988) veio através de um estudo sobre o quimismo predominante nas águas subterrâneas e do sistema flúvio-estuarino da região de Barcarena, nordeste do Pará, que permitiram o estabelecimento de comparações com áreas semelhantes.



## 2- METODOLOGIA

As metodologias empregadas constam da obtenção de dados hidrológicos básicos através de pesquisa bibliográfica e trabalhos hidrogeológicos de superfície, incluindo amostragens de água da chuva (estação meteorológica), água superficial (Igarapé Cumaru) e água subterrânea (piezômetros), medidas *in situ* e análises físico-químicas das águas, segundo as técnicas analíticas para água (APHA, 1980).

### 2.1- MÉTODOS DE COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS

Foram selecionados dez pontos de coleta de amostras, situados nos seguintes locais: um na estação meteorológica, mais precisamente no pluviômetro e identificada com a sigla AC; um ponto na nascente, designado de AB; dois ao longo do Igarapé Cumaru, representados por AI-1 e AI-2, e seis poços tubulares rasos, identificados pelas siglas P-4, P-6, P-11, P-87, P-L1 e P-L2. Estes últimos estão situados em áreas com cultivo de maracujá ou às suas proximidades.

A nomenclatura utilizada neste trabalho segue a mesma usada pela Embrapa para os poços já cadastrados na área da bacia.

As coletas para análise foram efetuadas de acordo com a variação sazonal da região, sendo a primeira realizada no mês de novembro (período seco) e outra no mês de fevereiro (período chuvoso).

Os parâmetros determinados foram: pH, condutividade elétrica, temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), resíduo seco, bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), alcalinidade, nitrogênio amoniacal, ferro total ( $\text{Fe}_T$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Além destes parâmetros foram realizadas análises cromatográficas para o pesticida dimetoato, em amostras de água superficial e subterrânea, sendo que a escolha deste pesticida é devido sua alta mobilidade e persistência no solo.

Essas análises objetivaram retratar as características hidroquímicas dos níveis de máxima concentração dos constituintes (período seco) e de mínima concentração



(período chuvoso), representativos das águas superficiais e da reserva reguladora do aquífero livre.

As amostras de água da chuva foram coletadas no pluviômetro instalado na estação meteorológica da Embrapa, no primeiro dia chuvoso dos meses de amostragem.

Foram coletadas ainda amostras em nove pontos, distribuídos preferencialmente próximos às culturas de maracujá, nas quais realizou-se análise cromatográfica para identificação de teores do pesticida dimetoato, nas águas superficiais e subterrâneas. Os pontos de amostragem referem-se aos mesmos já citados para análises química e físico-química, com exceção do ponto AC que refere-se à água da chuva. Devido a indisponibilidade de recursos, a coleta se restringiu ao mês de maior concentração dos constituintes, mês de novembro, período de máxima estiagem.

As técnicas utilizadas para coleta e preservação das amostras seguiram as recomendações especificadas pela CETESB (1977, 1978). Todas as análises seguiram um controle no tempo limite de determinação para garantir a qualidade e confiança dos resultados obtidos.

Para determinação da alcalinidade, sulfato e cloreto foram coletados 1000 mL de água de cada ponto, em frascos de polietileno cheios e hermeticamente fechados com tampas do mesmo material. As amostras foram mantidas sob refrigeração e sem substâncias de preservação até o momento das análises, obedecendo o tempo limite de 24 h após a coleta.

Para determinação do ferro total ( $\text{Fe}_T$ ) foram coletados 250 mL de amostra de cada ponto. As amostras foram preservadas com adição de 2 mL de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$  0,2 N) até pH menor que 2, em frascos de polietileno totalmente cheios e hermeticamente fechados com suas respectivas tampas.

Para determinação dos metais  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram coletados 250 mL de amostra em cada ponto, em frascos de polietileno preservados com ácido nítrico até um pH menor que 2. As determinações não ultrapassaram 7 dias após a coleta.

Para determinação do agroquímico dimetoato foram coletados 2000 mL de amostras de água, dos nove pontos de amostragem. As amostras foram

aconditionadas em frascos de polietileno e preservadas sob refrigeração em isopor com gelo e enviadas para o laboratório da BIOAGRI (SP) para determinação de suas concentrações por cromatografia gasosa. Cada amostra foi analisada em duplicata.

## 2.2- MÉTODOS ANALÍTICOS

As medidas de pH foram determinadas *in situ* utilizando-se um pHmetro portátil da marca WHT. As medidas de temperatura e condutividade elétrica foram realizadas utilizando-se um condutivímetro portátil Orion 150, pelo método eletrométrico e corrigidas para 25°C.

Para determinação da alcalinidade total utilizou-se o método volumétrico, com adição de fenolftaleína e indicador metil orange e pela titulação com ácido sulfúrico.

O cloreto foi determinado através do método de Möhr, com adição de solução padrão de cloreto de sódio (0,0141 N) e solução indicadora de cromato de potássio e pela titulação com nitrato de prata.

Para determinação das concentrações de sulfato utilizou-se o método turbidimétrico, com cloreto de bário em meio ácido e leitura em espectrofotômetro.

O ferro total foi determinado pelo método colorimétrico, utilizando-se ortofenantrolina (0,1%), solução de citrato de sódio (10%) cloridrato de hidroxilamina (10%) e leitura em espectrofotômetro.

A partir da alcalinidade determinou-se o bicarbonato, seguindo a fórmula (Custodio & Llamas 1976):

$$\text{HCO}_3^- = 1,22 \times \text{Alcalinidade}$$

Os valores de resíduo seco foram obtidos, pela seguinte fórmula (Custodio & Llamas 1976):

$$RS = T^+ + T^- - \frac{1}{2} HCO_3^-$$

$T^+$ : somatória de cátions

$T^-$ : somatória de ânions

O método de espectrofotometria de absorção atômica foi utilizado para determinação dos metais  $Ca^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Mg^{+2}$ , através do espectrofotômetro. Para determinação do  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  as amostras foram preparadas c/ solução padrão de Sr de 10.000 ppm na razão de 10 mL de amostra para 1 mL de solução. Para o  $Na^+$  e  $K^+$  utilizou-se solução padrão de Cs de 10.000 ppm, na mesma razão anterior.

### 2.3- ESTUDO HIDROGEOLÓGICO

Os padrões de fluxo subterrâneo no aquífero livre, para os períodos seco e chuvoso, foram determinados a partir de mapas potenciométricos, elaborados através do programa computacional SURFER 6.0.

Para elaboração destes mapas realizou-se o georreferenciamento dos poços cadastrados através de GPS, determinação dos níveis estáticos, gradientes hidráulicos e construção de curvas equipotenciais.

A determinação dos níveis estáticos nos poços permitiu avaliar o comportamento do lençol freático.

## 2.4- ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DO PESTICIDA DIMETOATO

Cromatografia é um termo aplicado a um processo de separação físico-químico, o qual é baseado nos fenômenos de adsorção e partição. Num processo cromatográfico são envolvidas as fases móvel e estacionária. A fase móvel transporta a amostra através da fase estacionária, com uma velocidade que depende da sua natureza. Portanto, cada componente atingirá o final da coluna cromatográfica em um instante diferente (Schuler, 1999)

A metodologia de extração do pesticida Dimetoato em água seguiu o padrão de referência desenvolvido pelo laboratório BIOAGRI (SP), onde foram desenvolvidas as análises.

### **Preparação do padrão:**

Em balão volumétrico de 10 mL, com auxílio de balança analítica, pesou-se 10,45 mg de padrão analítico de dimetoato com pureza de 99,5% e dissolveu-se com acetona. Concentração final: 1040 µg/mL (corrigido).

As diluições utilizadas para confeccionar a curva de calibração foram efetuadas com tolueno.

### **Extração:**

Homogeneizou-se a amostra; transferiu-se uma alíquota de 100mL de amostra para funil de separação de 250 mL; adicionou-se 50 mL de diclorometano; agitou-se manualmente por 2 minutos; aguardou-se a separação das fases; coletou-se o diclorometano em balão de evaporação, passando-se sob sulfato de sódio anidro.

Adicionou-se mais uma alíquota de 50 mL de diclorometano ao funil de separação; repetiu-se a agitação manual e aguardou-se a separação das fases; coletou-se o diclorometano no mesmo balão de evaporação utilizado anteriormente.

Lavou-se o sulfato de sódio anidro com 20 mL de diclorometano; evaporou-se o diclorometano até a secura com auxílio de evaporador rotativo à vácuo à temperatura entre 40 e 45°C; ressuspendeu-se o extrato com tolueno.

Analizou-se em cromatógrafo gasoso acoplado a detector seletivo de massas em coluna cromatográfica HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm), monitorando os íons 87 e 93.



**Recuperação:**

O teste de recuperação foi efetuado em triplicata, adicionando-se 1,0 µg de dimetoato em 100 mL de água Milli-Q (grau reagente tipo 1), obtendo-se assim fortificações de 0,01 mg/L.

Sendo assim, o limite prático de quantificação do método é de 0,01 mg/L.

Nível de Fortificação: 0,01 (mg/L)

Recuperação: 0,00946 (mg/L) / 94(%)

Média ± dp: 93±22 (mg/L) / 15 % CV

**Condições Cromatográficas:**

Equipamento: Cromatógrafo gasoso HP6890 acoplado a espectrômetro de massas HP5973 e workstation para integração;

Coluna: HP5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm);

Gás de arraste: Hélio;

Fluxo do gás de arraste: 1 mL/min;

Temperatura do injetor: 250°C;

Temperatura da interface: 190°C;

Temperatura da coluna: 60°C (1 min)/20°C/min/300°C;

Modo de injeção: splitless;

Volume de injeção: 1 µL;

Modo de Aquisição: SIM;

Íons monitorados: 87 (Target) e 93 (Q1);

Tempo de corrida: 13 minutos;

Tempo de retenção do dimetoato: 9,6 minutos

## 2.5- PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Os parâmetros determinados no aquífero livre foram a condutividade hidráulica, a transmissividade e a porosidade efetiva.

De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997), a porosidade efetiva representa a razão entre o volume de água efetivamente liberada de uma amostra de rocha porosa e o seu volume total. A condutividade hidráulica em meio isotrópico é a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. A transmissividade representa a quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero.

Entretanto, nos aquíferos livres a porosidade efetiva é equivalente ao coeficiente de armazenamento. Desta forma, quando o termo coeficiente de armazenamento for utilizado vale lembrar que se trata da porosidade efetiva do aquífero livre (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

A condutividade neste trabalho foi determinada através dos resultados obtidos na análise granulométrica dos sedimentos, fornecidos por Lima (2003). A transmissividade foi obtida através de ensaio de bombeamento.

Os dados dos poços cadastrados permitiram o cálculo do gradiente hidráulico. Estes valores juntamente com a condutividade hidráulica possibilitaram calcular a velocidade aparente de fluxo subterrâneo e através do conhecimento desta, calculou-se a velocidade real do fluxo.

### 3- CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1- CLIMA

Igarapé-Açu está inserido em clima “equatorial úmido”, do tipo Am, segundo a classificação de Köppen (Amaral, 2001). O tipo Am apresenta característica de clima de monção, com moderada estação seca e ocorrência de precipitação média mensal inferior a 60 mm.

A Tabela 3.1 apresenta os parâmetros climáticos médios, para o período de 1994 a 2001 da estação meteorológica de Igarapé-Açu. Adotou-se este período para que desta forma fosse possível realizar o balanço hídrico, que necessita do maior número possível de informações para caracterizar corretamente uma área.

A temperatura média anual de Igarapé-Açu é de 26,5°C, sendo que os meses mais quentes são outubro e novembro, enquanto os menos quentes são fevereiro e março. A Figura 3.1 apresenta o gráfico das temperaturas médias mensais.

A precipitação pluviométrica apresenta um total anual de chuvas variando entre 2300 mm e 2850 mm, e a umidade relativa anual é superior a 80%. O regime de chuvas é caracterizado por dois períodos: um de maior concentração da precipitação pluviométrica, indo de janeiro a maio, e o de menor precipitação de setembro a novembro.

As figuras 3.2 e 3.3 apresentam os gráficos de precipitação pluviométrica médias mensais e total anual, respectivamente. A evaporação para o período de 1994 a 2001 é representada graficamente na Figura 3.4.

As características climáticas para o município de Igarapé-Açu, médias anuais, apresentam os seguintes valores:

- ❖ Precipitação pluviométrica total 2526,3 mm;
- ❖ Temperatura 26,5 °C;
- ❖ Evaporação total 701,1 mm;
- ❖ Insolação total 2296,5 h.

Tabela 3.1 – Parâmetros climáticos médios mensais e anuais da estação meteorológica de Igarapé-Açu, para o período de 1994 a 2001.

| <b>Meses</b>       | <b>Temperatura Média (°C)</b> | <b>Precipitação Pluviométrica Total (mm)</b> | <b>Evaporação Total (mm)</b> | <b>Insolação Total (H)</b> |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Janeiro</b>     | 26,3                          | 344,1                                        | 44,4                         | 138,5                      |
| <b>Fevereiro</b>   | 26,2                          | 323,2                                        | 35,9                         | 121,9                      |
| <b>Março</b>       | 26,2                          | 415,8                                        | 36,2                         | 118,0                      |
| <b>Abril</b>       | 26,2                          | 382,7                                        | 34,8                         | 115,0                      |
| <b>Maiο</b>        | 26,5                          | 296,5                                        | 41,4                         | 168,2                      |
| <b>Junho</b>       | 26,4                          | 213,1                                        | 48,4                         | 212,0                      |
| <b>Julho</b>       | 26,5                          | 175,0                                        | 53,7                         | 225,2                      |
| <b>Agosto</b>      | 26,6                          | 96,4                                         | 62,2                         | 258,0                      |
| <b>Setembro</b>    | 26,6                          | 85,3                                         | 68,9                         | 244,2                      |
| <b>Outubro</b>     | 26,9                          | 32,5                                         | 90,2                         | 259,2                      |
| <b>Novembro</b>    | 27,3                          | 68,4                                         | 90,1                         | 225,1                      |
| <b>Dezembro</b>    | 26,9                          | 113,4                                        | 95,0                         | 211,3                      |
| <b>Média Anual</b> | 26,5                          |                                              |                              |                            |
| <b>Total Anual</b> |                               | 2526,3                                       | 701,1                        | 2296,5                     |

Fonte: Laboratório de Climatologia da Embrapa



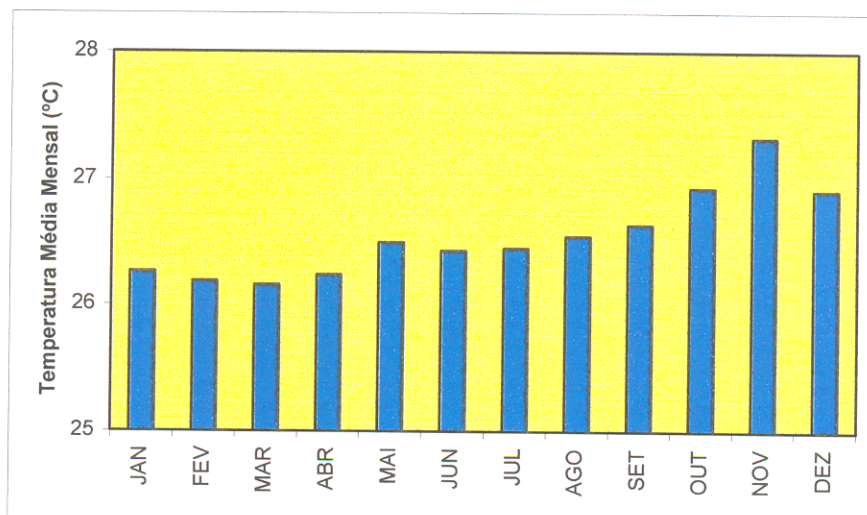


Figura 3.1 – Temperatura média mensal (°C), referente ao período de 1994-2001.

Fonte: Laboratório de Climatologia da Embrapa.

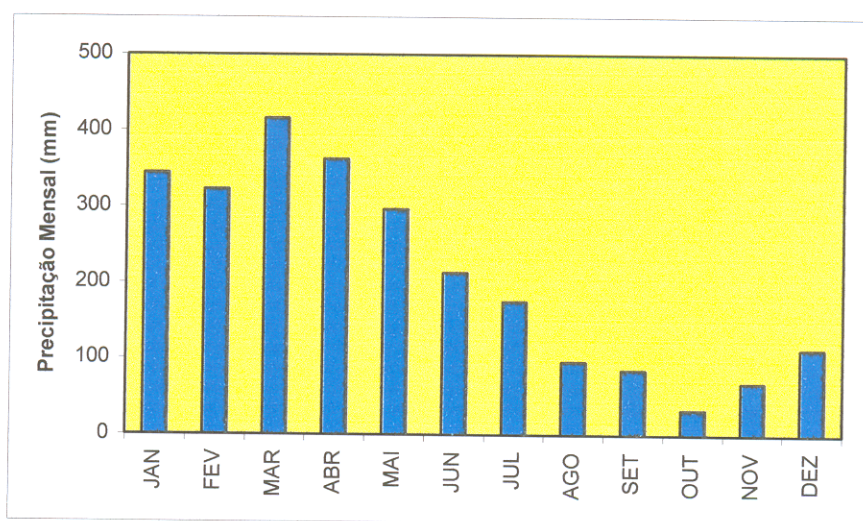


Figura 3.2 – Precipitação média mensal (mm), referente ao período de 1994-2001.

Fonte: Laboratório de Climatologia da Embrapa

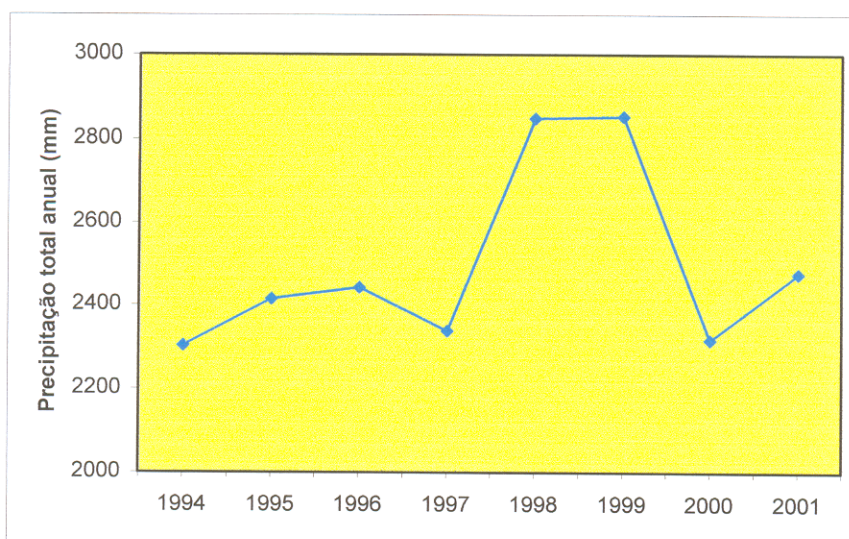


Figura 3.3 – Precipitação total anual (mm), referente ao período de 1994-2001. Fonte: Laboratório de Climatologia da Embrapa.

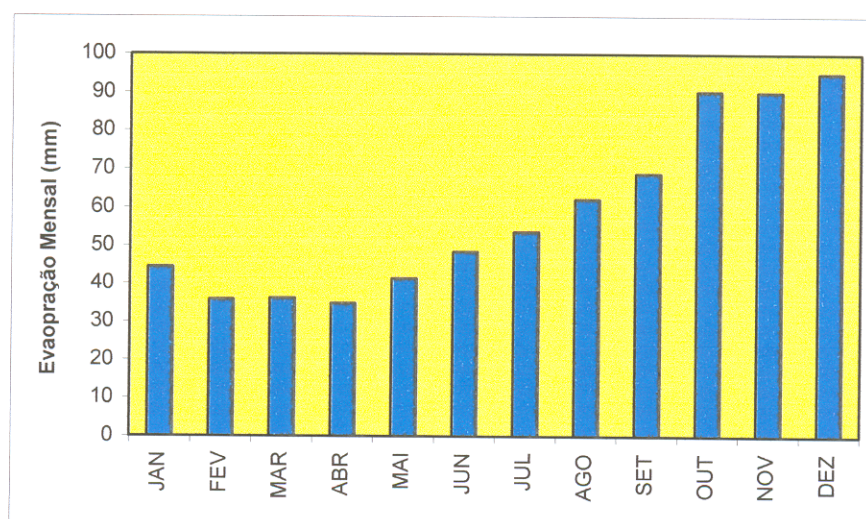


Figura 3.4 – Evaporação mensal (mm), referente ao período de 1994-2001. Fonte: Laboratório de Climatologia da Embrapa.

### 3.2- SOLO

Os dados apresentados para este item referem-se ao levantamento detalhado dos solos de uma área experimental no município de Igarapé-Açu desenvolvido por Kanashiro & Denich (1998).

O município de Igarapé-Açu apresenta solos do tipo Podzólico Amarelo Álico, de acordo com as normas do Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS), da Embrapa (*Utisol* segundo *USDA Soil Taxonomy*), sendo identificadas cinco séries de solos pertencentes à classe Podzólico Amarelo de textura arenosa/média, com argila de baixa atividade.

São solos profundos e com baixa fertilidade natural, sendo marcantes as seguintes características: baixos valores de soma e saturação de bases trocáveis, baixa capacidade de troca de cátions e saturação de alumínio permutável acima de 50%. Essas propriedades lhes conferem um caráter álico.

Os solos característicos da microbacia são envelhecidos, fortemente ácidos, de boa drenagem e baixa fertilidade química natural, sendo este o principal fator condicionante da produção agrícola. Caracterizam-se por apresentar uma baixa capacidade de intercâmbio catiônico, elevada quantidade de alumínio e valores baixos de cálcio, magnésio e potássio.

Nas áreas próximas aos igarapés encontram-se solos aluvionares e hidromórficos, que apresentam fertilidade mais elevada que nas áreas de terra firme (Amaral, 2001).

### 3.3- VEGETAÇÃO

A paisagem natural no município de Igarapé-Açu encontra-se bastante modificada pela atividade antrópica.

Segundo o estudo realizado por Kanashiro & Denich (1998), no âmbito do Projeto *Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics* (SHIFT), foi possível definir classes vegetais, através de fotointerpretação de imagens TM/Landsat, referentes aos anos de 1984 e 1991.

Foram definidas para as formações vegetais as classes Floresta Ombrófila Densa (matas de igapó e várzea), e os estádios Avançado, Intermediário e Inicial da Sucessão Secundária (relacionados às idades de 1 a 6, 7 a 12 e 13 a 18 anos), sendo que para todos os anos analisados predominaram a Sucessão Secundária Intermediária (capoeira de 7 a 12 anos de idade).

De maneira geral, as áreas de vegetação secundária, independentemente do estágio de sucessão, podem chegar a 73% da superfície do município.

### 3.4- HIDROLOGIA

O município de Igarapé-Açu é drenado pela bacia hidrográfica do Rio Marapanim. Na área de estudo a drenagem é para o Igarapé Cumarú tributário do Rio Marapanim.

O Rio Marapanim desemboca no Oceano Atlântico ao norte de Igarapé-Açu. Essa drenagem apresenta-se subordinada a lineamentos estruturais e em seu baixo curso está sob influência da maré.

O Igarapé Cumarú desemboca no Rio Maracanã a sudeste do município de Igarapé-Açu.



### 3.5- ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Segundo os dados obtidos por Amaral (2001), o município de Igarapé-Açu tem uma densidade demográfica de 41,88 hab/Km<sup>2</sup>, resultante de uma população de 32.918 habitantes, onde aproximadamente 16.788 (51%) residem na sede do município e 16.130 (49%) ocupam a zona rural.

O crescimento populacional se apresenta de forma ascendente. A média anual no período de 1980 a 1991 foi de 1,57%, enquanto que de 1991 a 1996 foi de 2,34%, representando um crescimento maior que a taxa de migração do estado do Pará.

Os habitantes da zona rural, devido o alto custo da mão de obra que não pode ser coberto pelos produtores, dispõem dos próprios membros do grupo familiar para participarem nas atividades agrícolas, principalmente nos cultivos de grãos básicos, culturas perenes e semiperenes.

O município de Igarapé-Açu é dividido em quatro vilas (São Jorge do Jabuti, São Luis, Porto Seguro e Colônia do Prata) e 23 povoados (Curi, Montenegro, Santa Rosa, Bom Jesus, Açaiteua, 1º Caripi, Livramento, Paraíso, Nova Olinda, Tapiaí, Seringal, Km 40 e Km 8 da estrada de Porto Seguro, Tv. Do Cumaru, Tv. São Matias, Tv. do 40, Tv. do 16, Tv. da Angulação, Tv. do Abacate, Tv. do Pajurá, Tv. da América e Tv. do 32), (Brasil, 1999).

## **4- CONTEXTO GEOLÓGICO**

### **4.1- GEOLOGIA REGIONAL**

O nordeste do Estado do Pará tem uma grande variação litológica que inclui rochas pré-cambrianas, de natureza granítica, e fanerozóicas que compreendem sedimentos cenozóicos terciários e quaternários.

Na região, as rochas mais antigas que constituem o embasamento são representadas por rochas pré-cambrianas, onde predominam gnaisses de composição tonalítica e granítica, migmatitos e corpos anfibolíticos subordinados, que correspondem à Associação Metamórfica Maracaçumé de Costa et al. (1977), posteriormente denominada de Complexo Maracaçumé por Abreu et al. (1980).

No contexto geológico da região, as coberturas cenozóicas incluem a Formação Pirabas, de idade Oligo-Miocênica, situada em Igarapé-Açu a partir de uma profundidade de aproximadamente 70 m, o Grupo Barreiras, de idade Mioceno-Pliocênica e os Sedimentos Quaternários, que englobam os Sedimentos Pós-Barreiras e os Sedimentos Recentes.

#### **4.1.1- Formação Pirabas**

A Formação Pirabas é constituída por rochas carbonáticas de idade Oligo-Miocênica, com intercalações de margas, arenitos e folhelhos (Almaraz & Formoso, 1971; Almaraz, 1979; Ferreira, 1982), sendo coberta quase que totalmente por sedimentos do Grupo Barreiras.

É constituída predominantemente por leitos de calcário com espessura centimétrica a métrica, altamente fossilíferas (CPRM, 1998), tendo sido estudada por diversos pesquisadores (Maury 1924; Sioli 1951; Petri 1957; Ackermann 1964, 1969 e 1976), dentre outros. Esta unidade é melhor representada nos arredores da cidade de Capanema, no município de Pirabas e Salinópolis. Ocorre também nas rodovias PA-124 e PA-112 e na BR-316 próximo a PA-253. Em Igarapé-Açu pode ser encontrada a

aproximadamente 70 m de profundidade, observada através de perfuração de poços profundos.

Petri (1957), estudando os calcários foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas e seu ambiente de deposição, a dividiu nas fácies Formação Castelo e Formação Canecos. Ackermann (1976), estudando os calcários de Capanema e outras ocorrências na região Bragantina, dividiu a Formação Pirabas em três fácies (CPRM, 1998).

Atualmente, a divisão mais aceita para a Formação Pirabas é a proposta por Ferreira (1982), que a dividiu em três fácies: Castelo, Capanema e Baunilha Grande.

A fácies Castelo é representada por calcários duros diversificados, depositados em ambiente de mar aberto, águas agitadas e quentes. É encontrada em afloramentos naturais do litoral de Salinópolis, da baía de Pirabas e capeando sedimentos cretácicos da bacia de Barreirinhas, no Maranhão, (Ferreira, 1982).

A fácies Capanema é representada por calcários argilosos (margas), micritos e bioclastitos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. A paleoecologia caracteriza-se por ambientes lagunares de borda de bacia ou estuarino, águas calmas e salinidade abaixo do normal. Encontra-se sobreposto descontinuamente à fácies Castelo (Ferreira, 1982). É observado principalmente em Capanema-Pará, em jazidas da empresa Cimento do Brasil S/A (CIBRASA).

A fácies Baunilha Grande é constituída por argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros contendo crustáceos branquimes, típicos de mangues. Estratigraficamente, essa fácies é intermediária, apresentando-se de forma descontínua entre as fácies Castelo e Capanema (Ferreira, 1982).

#### **4.1.2- Grupo Barreiras**

A denominação Barreiras foi utilizada para definir os sedimentos que constituem as falésias que ocorrem ao longo da costa litorânea do Brasil. O contato do Grupo Barreiras com a Formação Pirabas é discordante.



Ackermann (1964, 1969) descreve os lateritos, os solos laterizados e o “grés do pará” como critérios para reconhecimento dos sedimentos Barreiras que ocorrem nas regiões Bragantina e do Salgado (Pará).

O Grupo Barreiras é constituído por argilas, siltes, areias, cascalhos, arenitos, siltitos, conglomerados, níveis de concreções ferruginosas e arenito ferruginoso. São sedimentos de coloração amarelada, marrom, com argilas multicoloridas, variegadas, às vezes caulíníficas, de coloração cinza, com matéria orgânica (Arai et al. 1988).

Góes & Truckenbrodt (1980) descreveram inicialmente esses sedimentos na região Bragantina, nordeste do Pará, definindo três litofácies: argilo-arenosa, arenosa e conglomerática.

O fácies argilo-arenoso é constituído por camadas argilosas, argilo-arenosas, areno-argilosas e restritamente arenosas limpas. A coloração é comumente mosqueada com altas porcentagens de finos, mal selecionados e relativamente maior compactação.

O fácies arenoso é constituído por arenitos amarelados de granulação média, mal selecionados com grânulos e seixos subangulosos disseminados. Em suas partes basais e medianas ocorrem lentes de microconglomerados muito característicos, constituídos por seixos quartzosos moderadamente selecionados, alongados e achatados.

No fácies conglomerático os conglomerados são polimíticos e seus componentes sustentados por abundante matriz de areia grossa argilosa. Seus seixos mal selecionados e pouco retrabalhados apresentam formas irregulares, com tamanhos variando desde poucos centímetros até blocos, com diâmetro médio entre 15 e 20 cm.

Rossetti et al. (1989), descrevem os sedimentos Barreiras da região Bragantina, como depósitos terrígenos continentais terciários, constituídos por conglomerados polimíticos com intercalações de sedimentos arenosos e argilosos, com frações arenosas apresentando uma grande diversidade faciológica.



#### 4.1.3- Sedimentos Pós-Barreiras

Os Sedimentos Pós-Barreiras foram descritos por diversos autores como constituindo o topo do Grupo Barreiras (Ferreira, 1982; Costa et al. 1991, entre outros).

De acordo com Costa et al. (1991), os Sedimentos Pós-Barreiras se formaram a partir dos sedimentos do grupo Barreiras, no início do Quaternário, quando a região foi submetida a condições úmidas, coincidentes com a emersão do pacote sedimentar em resposta a movimentações tectônicas na fossa do Marajó.

Estes sedimentos são divididos em três horizontes principais: solo, mosqueado e pálido.

O Pós-Barreiras é constituído por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, com níveis pouco espessos de seixos de arenito ferruginoso. A lixiviação "*in situ*" desses sedimentos teria originado as areias que ocorrem em vários pontos da região (Sá, 1969).

#### 4.1.4- Sedimentos Recentes

Os Sedimentos Quaternários superiores estão distribuídos por toda a área.

São representados por sedimentos aluvionares, situados nos vales dos rios e igarapés que drenam a região nordeste do Pará. As areias são finas a médias, de coloração amarronzada, com siltes e argilas intercalados. As argilas geralmente apresentam coloração acinzentada clara a escura e restos vegetais.

Utilizando-se a base cartográfica confeccionada pela SEICOM (1999), é apresentado na Figura 4.1 o mapa geológico do nordeste do Pará, onde encontra-se o município de Igarapé-Açu. Observa-se que na região dominam sedimentos Tércio-Quaternários constituídos principalmente por arenitos e argilitos. Ocorrem ainda areias, siltes, argilas e cascalhos do Quaternário.

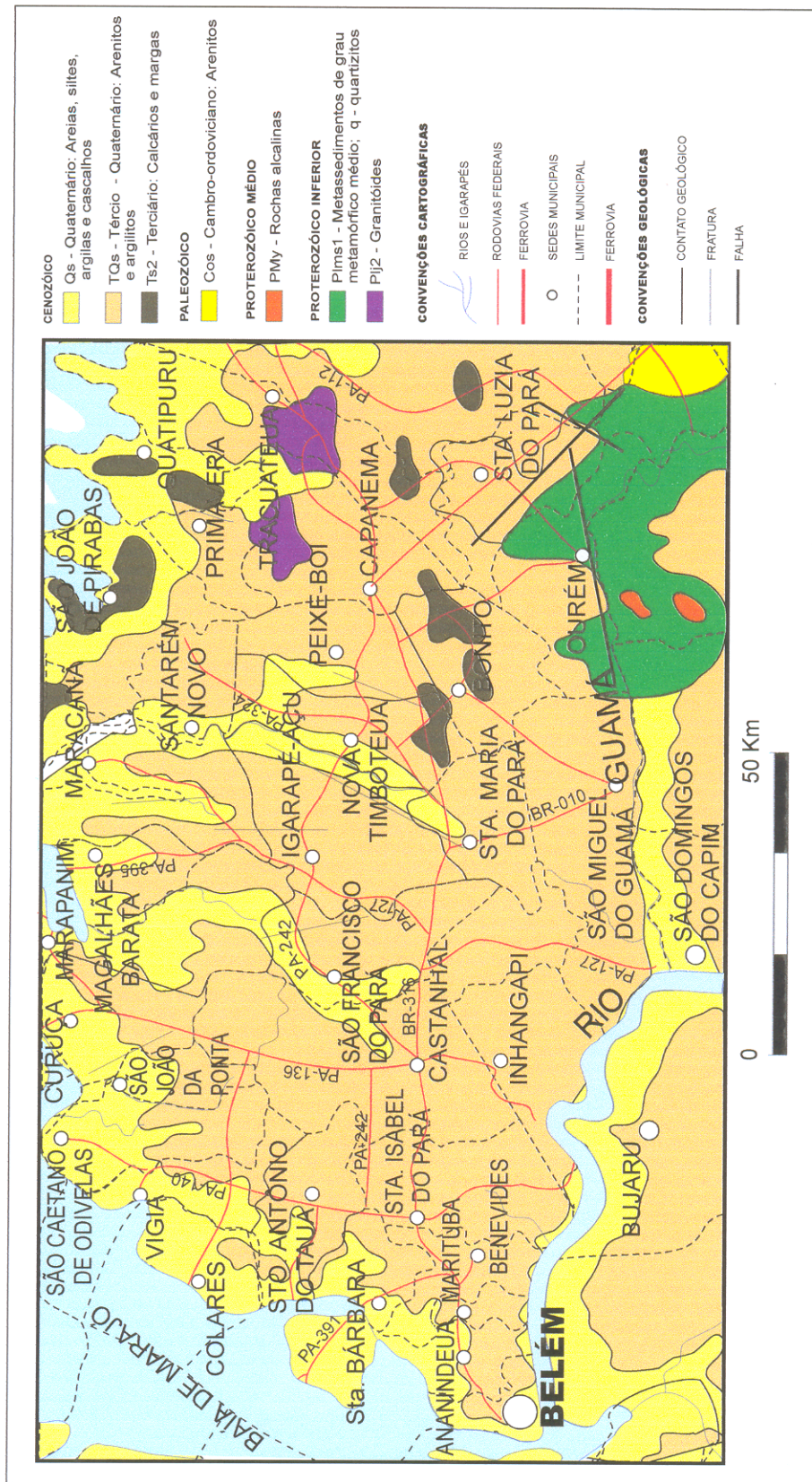


Figura 4.1 - Mapa Geológico da região nordeste do Pará, adaptado (SEICOM, 1999).

## 4.2- GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo na microbacia do igarapé Cumaru, apresenta uma cobertura sedimentar constituída por sedimentos do Quaternário e Terciário, apresentados na coluna estratigráfica para o município de Igarapé-Açu (Figura 4.2).

Com base em perfis litológicos de poços tubulares perfurados (Figura 4.3) pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), foram identificadas as seguintes unidades:

A Formação Pirabas não é aflorante em toda a área, sendo identificada apenas em poços profundos, ocorrendo a uma profundidade a partir de 70 metros.

Os sedimentos do Grupo Barreiras ocorrem a uma profundidade que pode variar de 7 a 15 metros e a maioria dos poços tubulares, atingem esta unidade.

Os Sedimentos Pós-Barreiras representam a unidade aflorante na área da microbacia do Cumaru. Estes sedimentos, apresentam-se de maneira bastante uniforme, predominando materiais arenosos e areno-siltosos, algumas vezes com intercalações de lentes argilosas.

Os sedimentos arenosos possuem coloração creme amarelada a cinza, constituídos por areia fina siltosa a cascalho fino. São sedimentos mal selecionados, subangulosos, intercalados a lentes de argila, como já mostraram Melo Junior et al. (2001).

Os sedimentos Recentes são encontrados geralmente distribuídos nas margens dos igarapés. Estes sedimentos são constituídos por areias de granulometria fina a média, de coloração creme. Também ocorrem argilas e restos vegetais.



| ERA             | PERÍODO     | ÉPOCA            | UNIDADE             | DESCRIÇÃO                                                                                                                             |
|-----------------|-------------|------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CENOZÓICO       | QUATERNÁRIO | Holoceno         | Sedimentos Recentes | Areias de granulometria fina à média, marrons, presença de argilas e restos vegetais, geralmente distribuídos nas orlas dos igarapés. |
|                 |             | Pleistoceno      | Pós-Barreiras       | Sedimentos arenosos, areno-siltosos, areno-argilosos, finos a médios, e intercalações de lentes argilosas.                            |
|                 | TERCIÁRIO   | Mioceno-Plioceno | Grupo Barreiras     | Arenitos ferruginosos, areias finas à médias, siltes e argilas com níveis de concreções ferruginosas.                                 |
|                 |             | Oligoceno        | Formação Pirabas    | Calcários com lentes de areia e argila dura, arenito duro e níveis argilosos duros.                                                   |
| PRÉ - CAMBRIANO |             |                  |                     | Gnaisses de composição tonalítica e granítica, migmatitos e corpos anfibolíticos subordinados.                                        |

Figura 4.2 - Coluna Estratigráfica da cobertura sedimentar do município de Igarapé-Açu, nordeste do Pará.



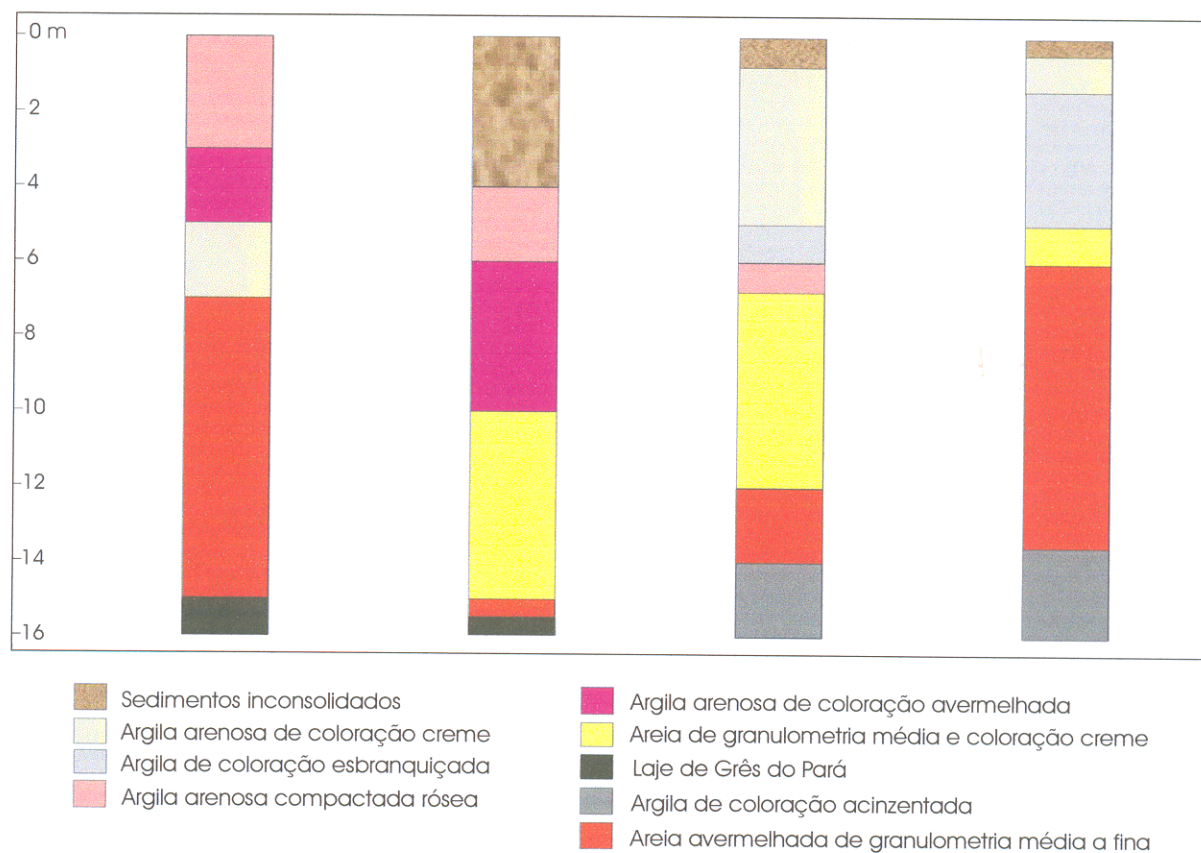


Figura 4.3 - Perfis litológicos obtidos através de dados de poços tubulares rasos, perfurados pela FSESP-PA, no município de Igarapé-Açu.

## 5- CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

O potencial de água subterrânea é controlado por fatores climáticos e geológicos.

Os sedimentos arenosos que recobrem a superfície da microbacia do Cumaru têm ampla distribuição e constituem os principais reservatórios de água subterrânea. Na zona rural são explorados principalmente através de poços construídos a trado manual, além de fontes ou nascentes.

Na sede do município estes aquíferos são explorados através de poços tubulares rasos destinados ao abastecimento público. Há também captações de poços em aquíferos mais profundos, que captam águas do aquífero Pirabas como pode ser observado no perfil de poço construtivo e litológico no município de Igarapé-Açu perfurado pela FSESP-PA (Figura 5.1).

### 5.1- HIDROGEOLOGIA REGIONAL

O sistema hidrogeológico nessa região desenvolve-se nas rochas da cobertura sedimentar cenozóica.

No município de Igarapé-Açu, os aquíferos são constituídos por sedimentos arenosos do Quaternário, do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas.

Os aquíferos encontram-se desde a superfície, com surgências, até a profundidade de centenas de metros. Os poços mais profundos atingem 108 metros e ainda não se conhece a profundidade do embasamento nessa área.

#### 5.1.1- Aquíferos do Quaternário

Os aquíferos do Quaternário apresentam em sua constituição litológica areias finas a médias, quartzosas, de origem continental, geralmente provenientes de planícies aluviais. Suas espessuras atingem aproximadamente de 8 a 10 metros.

A exploração se dá geralmente através de poços rasos perfurados a trado manual.

Esses aquíferos têm grande distribuição na área e apresentam grande vulnerabilidade à poluição ou contaminação, devido sua proximidade em relação à superfície e à elevada permeabilidade da zona insaturada.

### **5.1.2- Aquíferos do Grupo Barreiras**

O Grupo Barreiras apresenta aquíferos constituídos litologicamente por areias finas a grossas, até conglomeráticas, de composição essencialmente quartzosa. Estes aquíferos estão intercalados com horizontes argilosos, níveis lateríticos e camadas argilosas mais espessas formando aquícludes e aquitardes em estratos areno-argilosos.

Na região metropolitana de Belém, estes aquíferos têm distribuição espacial irregular, sendo muito variáveis em espessura, profundidade, continuidade lateral e características hidrodinâmicas, atingindo profundidade máxima em torno de 100 metros (Pereira et al. 1994). As vazões determinadas por Sauma Filho (1996) em Belém estão em torno de 80 m<sup>3</sup>/h.

### **5.1.3- Aquíferos da Formação Pirabas**

A Formação Pirabas apresenta grande potencial de água subterrânea, com vazões que podem chegar a 250 m<sup>3</sup>/h (Leal, 1999<sup>1</sup> apud Gaspar, 2001). Os aquíferos são constituídos por arenitos de granulação fina a grossa, com seixos arredondados a subarredondados de quartzo.

Os aquíferos da Formação Pirabas intercalam-se com camadas de argilas, margas, folhelhos, calcários, que constituem os aquícludes.

No município de Igarapé-Açu estes aquíferos situam-se a profundidades a partir de 70 metros. São pouco susceptíveis à contaminação de origem química ou biológica.

---

<sup>1</sup> Leal, A.S.1999. Águas subterrâneas no Brasil – Ocorrências, Disponibilidades e Usos. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica: O Estudo das Águas no Brasil. 1 CD-ROM.

## 5.2- HIDROGEOLOGIA LOCAL

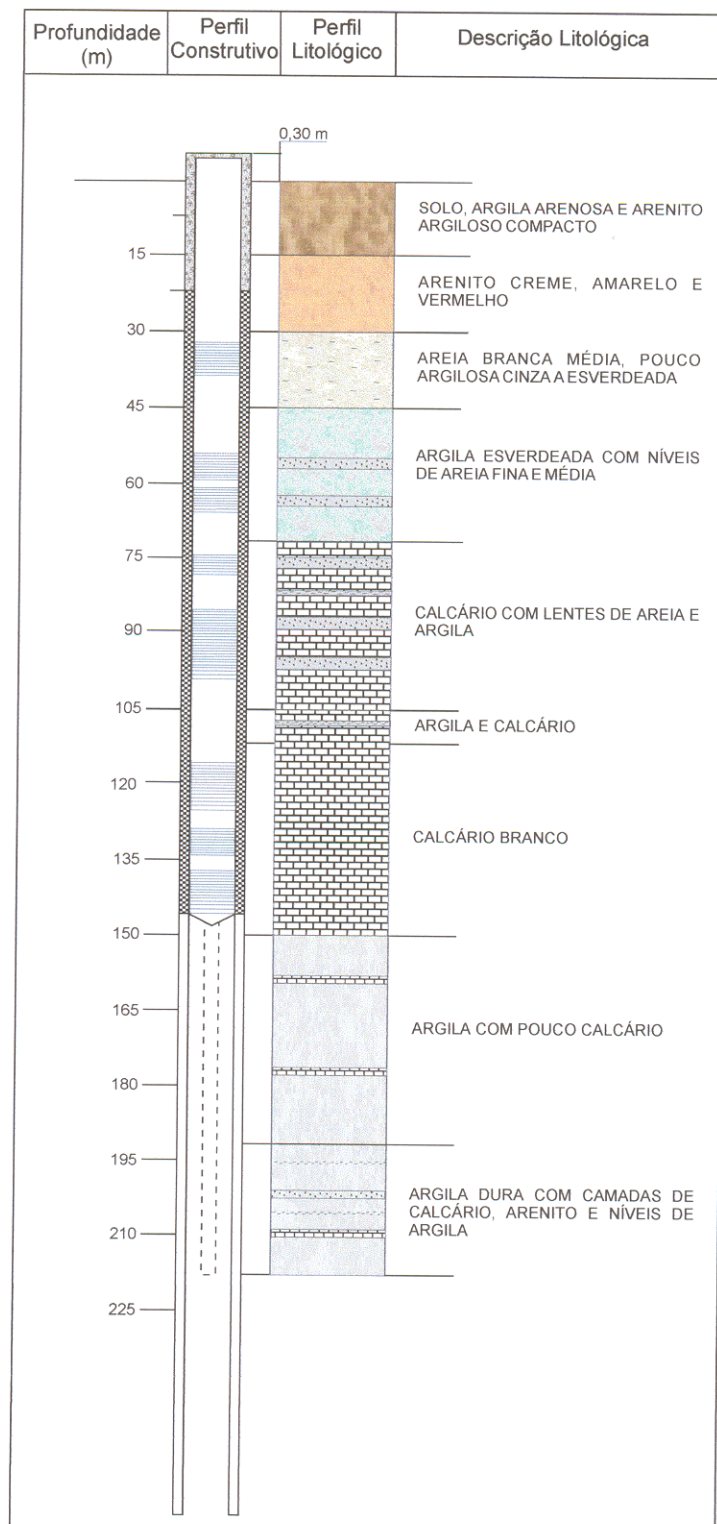
Os aquíferos do Quaternário são os estudados neste trabalho, por estarem mais próximo da superfície e conseqüentemente possuírem maior vulnerabilidade à contaminação.

Localizam-se nas planícies aluviais do igarapé Cumaru, assim como dos seus tributários. A espessura estimada destes aquíferos é de 7 a 10 metros.

A geomorfologia contribui diretamente para as condições hidrogeológicas na microbacia do Cumaru. As regiões mais elevadas da área situam-se em torno de 60 metros e representam as áreas de recarga mais significativas, enquanto nas áreas de planície aluvionar encontram-se as zonas de descarga representadas principalmente pelo igarapé Cumaru.

Alguns dados obtidos de poços tubulares rasos destinados ao abastecimento público, realizados pela FSESP, indicam o nível estático em torno de 0,20 metros. Os perfis litológicos obtidos durante a perfuração, mostram que os poços com profundidade de aproximadamente 15,50 metros, apresentam areia de granulação média e coloração amarelada de 5 e 10 metros de profundidade, constituindo aquíferos com espessura de 8 metros. São explotados com vazões de 36 a 48 m<sup>3</sup>/h.





Fonte: FSESP-PA (1987)

Figura 5.1 - Perfil litológico e construtivo de poço tubular profundo (218 m), perfurado pela FSESP-PA.

## 6- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1- BALANÇO HÍDRICO

O estudo climatológico da região limitou-se aos fatores meteorológicos essenciais para a realização do balanço hídrico.

Para realizar o balanço hídrico são necessários os valores mensais dos seguintes parâmetros climáticos: temperatura (Temp), precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração potencial (EP).

A evapotranspiração potencial representa o valor de evapotranspiração real mais a deficiência anual de umidade (DEF). O valor da precipitação pluviométrica é igual à evapotranspiração potencial, somado ao resultado da subtração entre o excedente hídrico (EXC) e a deficiência hídrica anual (DEF) de umidade, representado pela seguinte fórmula:

$$P = EP + (EXC - DEF)$$

A Tabela 6.1 apresenta o balanço hídrico realizado através do método Thornthwaite (Thornthwaite & Mather, 1955), considerando a reserva hídrica (RH) no solo de 125 mm e dados médios da estação meteorológica de Igarapé-Açu, no período de 1994 a 2001.

Os resultados mostram que há um excesso de água no período de janeiro a julho, que deve representar a recarga de água subterrânea para o aquífero livre. O total anual do excedente hídrico chega a 1.128 mm.

Nos meses de agosto a dezembro, ocorre pequena deficiência hídrica, correspondendo a um total anual de 205 mm.

Durante o período de 1994 a 1998 Bastos & Pacheco (1999), estudaram as características agroclimáticas do município de Igarapé-Açu. Os dados obtidos mostraram que de janeiro a julho o total de chuva (2087 mm) excedeu a evapotranspiração de referência (929 mm), proporcionando excedente hídrico (1094

mm), enquanto que de agosto a dezembro, o total de chuva (382 mm) foi inferior à evapotranspiração (736 mm), fornecendo uma deficiência hídrica de 236 mm.

A Figura 6.1 representa graficamente o balanço hídrico obtido com os resultados de precipitação pluviométrica, evapotranspiração real calculada, excedente e déficit hídrico, podendo ser mais bem visualizados.

Tabela 6.1 – Balanço Hídrico segundo o método de Thorntwaite, considerando a retenção hídrica RH : 125 mm

| Altitude: 48 m       |      |      |      | Longitude: 47° 37' W   |     |     |     | Latitude: 01° 19' S |     |      |
|----------------------|------|------|------|------------------------|-----|-----|-----|---------------------|-----|------|
| Estação: Igarapé-Açu |      |      |      | Município: Igarapé-Açu |     |     |     | UF: PA              |     |      |
| MES                  | TEMP | EP   | P    | P-EP                   | NEG | ARM | ALT | ER                  | DEF | EXC  |
| JAN                  | 26.0 | 125  | 344  | 219                    | 0   | 125 | 116 | 125                 | 0   | 103  |
| FEV                  | 26.0 | 125  | 323  | 198                    | 0   | 125 | 0   | 125                 | 0   | 198  |
| MAR                  | 26.0 | 124  | 416  | 292                    | 0   | 125 | 0   | 124                 | 0   | 292  |
| ABR                  | 26.0 | 124  | 363  | 239                    | 0   | 125 | 0   | 124                 | 0   | 239  |
| MAI                  | 27.0 | 142  | 296  | 154                    | 0   | 125 | 0   | 142                 | 0   | 154  |
| JUN                  | 26.0 | 123  | 213  | 90                     | 0   | 125 | 0   | 123                 | 0   | 90   |
| JUL                  | 26.0 | 123  | 175  | 52                     | 0   | 125 | 0   | 123                 | 0   | 52   |
| AGO                  | 27.0 | 142  | 96   | -46                    | -46 | 86  | -39 | 135                 | 7   | 0    |
| SET                  | 27.0 | 143  | 85   | -58                    | 104 | 54  | -32 | 117                 | 26  | 0    |
| OUT                  | 27.0 | 143  | 33   | -110                   | 214 | 22  | -32 | 65                  | 78  | 0    |
| NOV                  | 27.0 | 144  | 68   | -76                    | 290 | 12  | -10 | 78                  | 66  | 0    |
| DEZ                  | 27.0 | 144  | 113  | -31                    | 321 | 9   | -3  | 116                 | 28  | 0    |
| ANO                  | 26,5 | 1602 | 2525 | 923                    | -   | -   | 0   | 1397                | 205 | 1128 |

DEFICIÊNCIA ANUAL DE UMIDADE

DEF = 205 mm

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ANUAL CALCULADA

ER = 1397 mm

EVAPORAÇÃO POTENCIAL ANUAL CALCULADA

EP = 1602 mm

EXCESSO DE ÁGUA

EXC = 1128 mm

ÍNDICE DE UMIDADE

IH = 70.4

ÍNDICE DE ARIDEZ

IA = 12.8

ÍNDICE DE PLUVIOSIDADE

IM = 62.7



AFERIÇÃO : ALT = 0

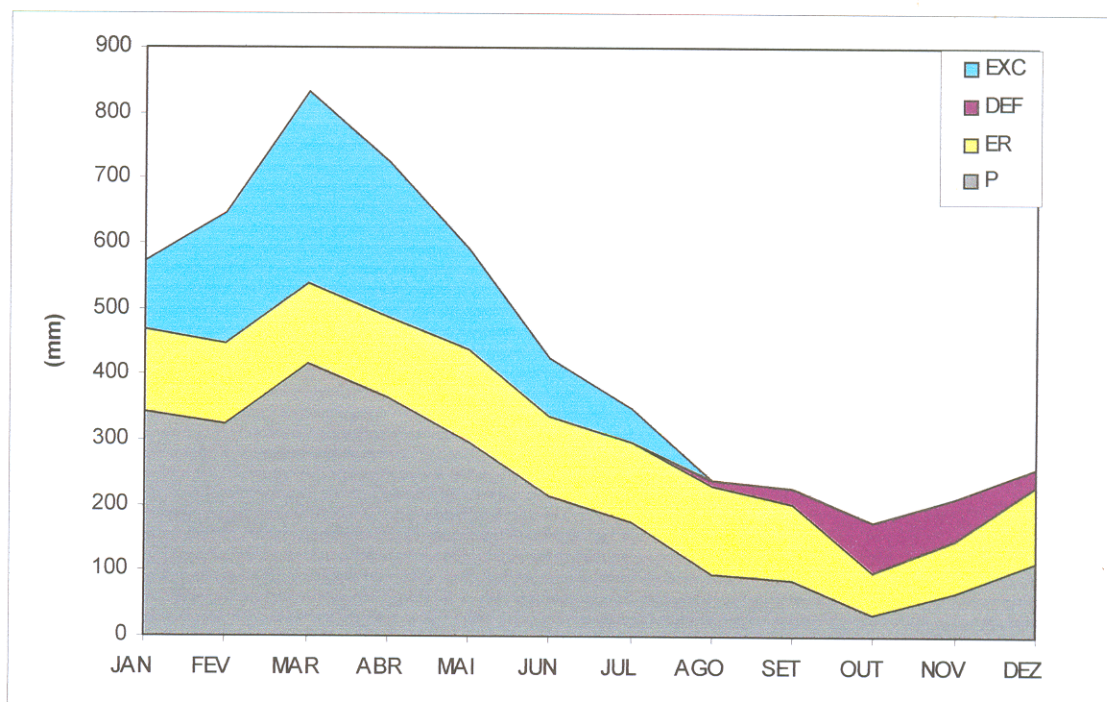
$$EP = ER + DEF = 1397 + 205 = 1602$$

$$P = ER + EXC = 1397 + 1128 = 2525$$

$$P = EP + (P - EP) = 1602 + (2525 - 1602) = 2525$$

$$(P - EP) = EXC - DEF = 1128 - 205 = 923$$

Figura 6.1 – Representação gráfica do balanço hídrico com os valores médios mensais de precipitação pluviométrica (P), evapotranspiração real (ER), déficit (DEF) e excedente (EXC) hídricos do período de 1994 a 2001.



## 6.2- HIDRODINÂMICA DO AQUÍFERO LIVRE

Neste capítulo estão reunidas as informações obtidas no cadastramento e monitoramento dos poços e teste de aquífero, a fim de definir principalmente seus parâmetros hidrodinâmicos, o comportamento do nível dinâmico com o bombeamento e a avaliação do fluxo subterrâneo.

### 6.2.1- Parâmetros Hidrodinâmicos

#### 6.2.1.1- Condutividade Hidráulica (K)

A condutividade hidráulica em meio isotrópico é definida como a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Representa em um sistema aquífero a facilidade de conduzir água. Este parâmetro depende da porosidade e das propriedades do meio fluido (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

Os fatores controladores do movimento da água subterrânea foram primeiramente expressos na forma da equação de Henry Darcy em 1856 (Heath, 1995). De acordo com a Lei de Darcy, obtém-se:

$$Q = K A(dh/dl)$$

onde:

Q é a quantidade de água por unidade de tempo; K é a condutividade hidráulica e depende do tamanho e arranjo das aberturas (poros e fraturas) que transmitem água, A é a área da seção transversal de escoamento e (dh/dl) o gradiente hidráulico (Heath, 1995; Feitosa & Manoel Filho, 1997).

A condutividade hidráulica foi calculada através de análise granulométrica. Os dados obtidos na análise granulométrica foram cedidos por Lima (2003).

A Figura 6.2 apresenta um histograma de distribuição granulométrica, obtido com os resultados do peneiramento e pesagem das amostras.

Na Figura 6.3 é apresentada a curva granulométrica característica dos sedimentos arenosos que constituem o aquífero.

Através destes dados foi possível calcular a condutividade hidráulica para o aquífero utilizando a relação de Hazen, através da seguinte fórmula:

$$K = c \cdot (d_{90})^2 \quad \text{onde:}$$

K é a condutividade hidráulica, ( $d_{90}$ ) é o tamanho efetivo do grão obtido na curva de granulometria e c é o coeficiente de proporcionalidade.

O tamanho efetivo ( $d_{90}$ ) representa o tamanho dos grãos em que 10% da percentagem acumulada da areia é mais fina e 90% mais grossa. O tamanho médio ( $d_{50}$ ) dos grãos é o tamanho em que 50% da percentagem acumulada da areia é mais fina e 50% mais grossa. O coeficiente de uniformidade constitui a relação entre 40% da percentagem acumulada de areia mais fina e 60% de areia mais grossa ( $d_{60}/d_{90}$ ).

Considerando-se a água a 20°C e  $d_{90}$  em mm, a condutividade hidráulica pode ser calculada diretamente (K em cm/s), adotando-se  $c = 1$  (Freeze & Cherry, 1979).

O valor obtido para ( $d_{90}$ ) na curva de frequência acumulada do sedimento (Figura 6.3) foi de 0,18 mm. Através destes dados a condutividade hidráulica calculada pela fórmula de Hazen foi de 27,9 m/dia.

A Tabela 6.2 apresenta os dados encontrados na análise granulométrica dos sedimentos coletados durante a perfuração de alguns poços de monitoramento.

Tabela 6.2 – Resultado do peneiramento dos sedimentos coletados para análise granulométrica.

| Granulometria<br>(mm) | PHI           | Peso<br>(g) | P.Corrigido<br>(g) | P. Acumulado<br>(g) | %<br>Indiv. | %.<br>Acumul |
|-----------------------|---------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 2,8                   |               | 0,8         | 0,80620985         | 0,80620985          | 0,21        | 0,21         |
| 2,0                   | < (-1)        | 0,9         | 0,91               | 1,71                | 0,24        | 0,46         |
| 1,41                  | (-1) - (-0,5) | 1,2         | 1,21               | 2,92                | 0,32        | 0,78         |
| 1,0                   | (-0,5) - 0    | 3,4         | 3,43               | 6,35                | 0,91        | 1,69         |
| 0,71                  | 0 - 0,5       | 4,6         | 4,64               | 10,98               | 1,23        | 2,92         |
| 0,5                   | 0,5 - 1,0     | 27,7        | 27,92              | 38,9                | 7,41        | 10,33        |
| 0,35                  | 1,0 - 1,5     | 63,2        | 63,69              | 102,59              | 16,92       | 27,25        |
| 0,25                  | 1,5 - 2,0     | 151,3       | 152,47             | 255,06              | 40,5        | 67,75        |
| 0,177                 | 2,0 - 2,5     | 77,1        | 77,7               | 332,76              | 20,64       | 88,38        |
| 0,125                 | 2,5 - 3,0     | 27,9        | 28,12              | 360,88              | 7,47        | 95,85        |
| 0,088                 | 3,0 - 3,5     | 12          | 12,09              | 372,97              | 3,21        | 99,06        |
| 0,062                 | 3,5 - 4,0     | 3,5         | 3,53               | 376,50              | 0,94        | 100,00       |
| <b>Total</b>          |               | 373,6       | 376,52             |                     | 100,00      |              |



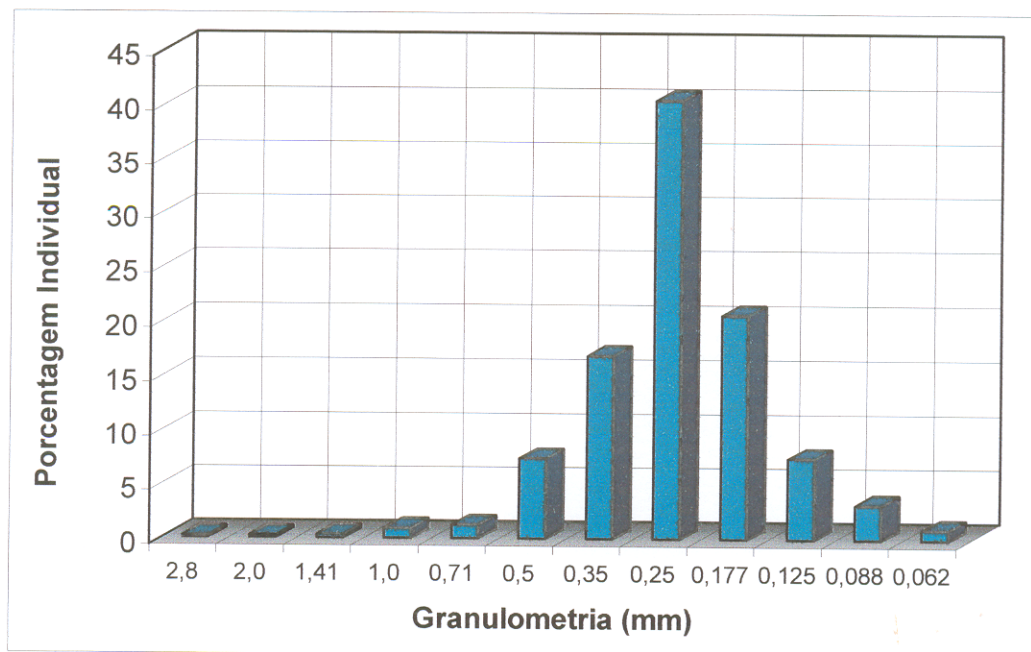


Figura 6.2 – Histograma de distribuição granulométrica do sedimento arenoso do aquífero livre.

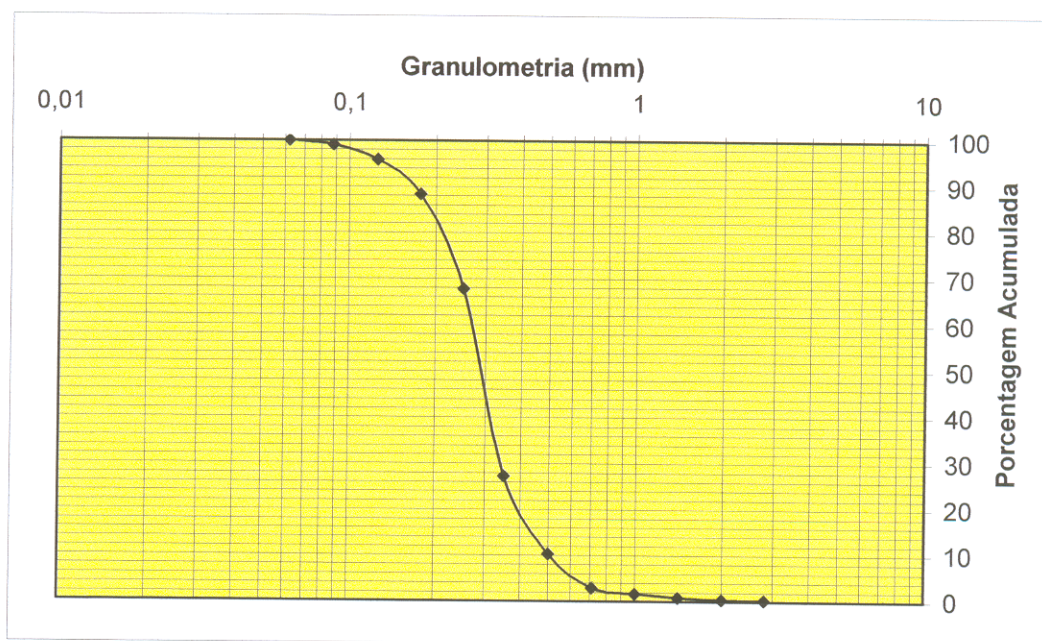


Figura 6.3 – Curva de frequência acumulada do sedimento arenoso do aquífero livre.

### 6.2.1.2- Transmissividade e Coeficiente de armazenamento

O teste de aquífero foi realizado no poço P-M e monitorado no poço P-6, localizado a 13,7 m de distância. Teve uma duração de 6 horas de bombeamento, a uma vazão constante de 1,04 m<sup>3</sup>/h, que foi determinada durante o teste. A frequência de medições de nível d'água seguiu a metodologia citada por Rocha & Jorba (1982).

Os dados obtidos de tempo (min) *versus* rebaixamento (m) foram interpretados pelo método de Theis (Theis, 1935), e está representado na Figura 6.4.

A carga hidráulica observada durante o teste de bombeamento apresentou uma pequena variação. A vazão de bombeamento revelou-se pequena para se configurar melhor o comportamento do aquífero, devido a pequena variação de cargas hidráulicas. Entretanto, notou-se a tendência do comportamento de aquífero livre.

A curva obtida no método de Theis (diagrama bilogarítmico) forneceu valores de transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S).

A transmissividade calculada pelo método utilizado foi de 347 m<sup>2</sup>/dia e o coeficiente de armazenamento 0,25.

Utilizando-se os valores da transmissividade, obtida pelo método de Theis (347 m<sup>2</sup>/dia), e a condutividade hidráulica obtida na análise granulométrica (27,9 m/dia), calculou-se a espessura (b) do aquífero através da equação (Feitosa & Manoel Filho, 1997):

$$T = K \cdot b$$

Desta forma, o valor da espessura do aquífero livre investigado seria de aproximadamente 12 m.

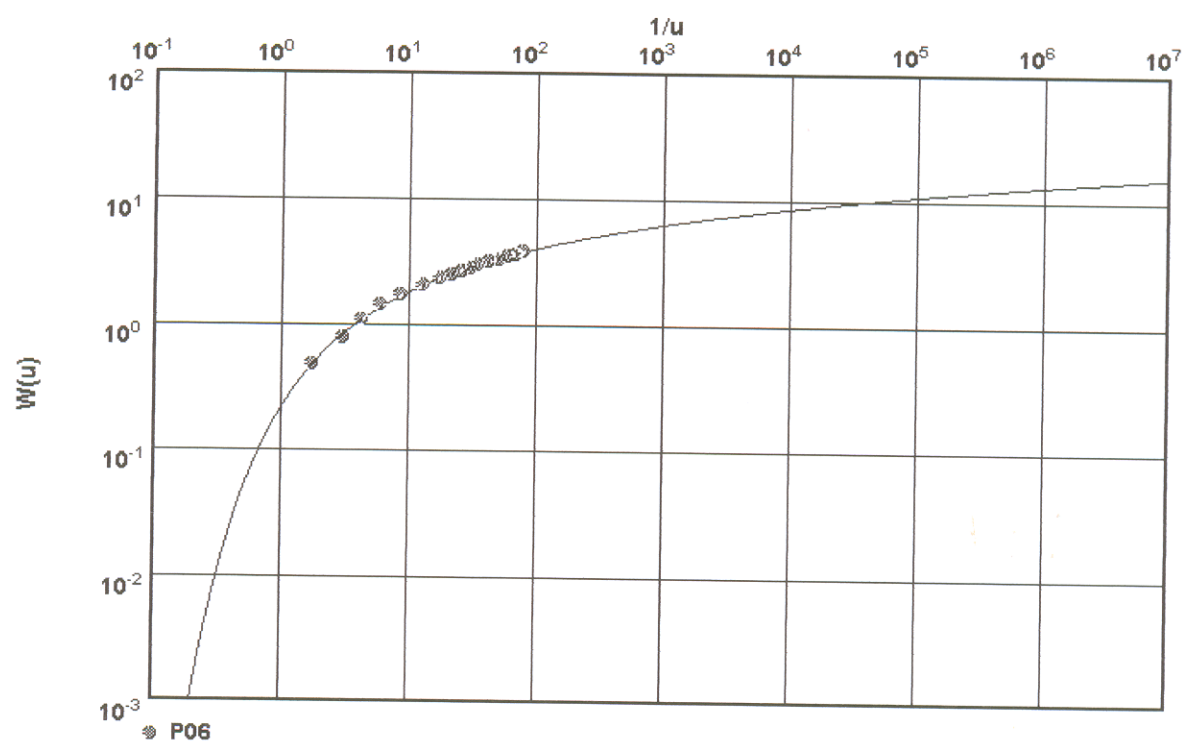


Figura 6.4 – Diagrama rebaixamento  $W(u)$  versus tempo ( $1/u$ ), do poço P-M obtidas no poço de observação P-6.

### 6.2.2- Fluxo Subterrâneo

O sentido de fluxo da água subterrânea foi determinado através dos mapas potenciométricos com os dados dos poços cadastrados na área de estudo.

Os níveis estáticos avaliados referem-se ao período de 2000 a 2001, sendo que os dados adquiridos foram fornecidos pela Embrapa através do Projeto *Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics* (SHIFT), que realiza estudos na área da microbacia do Cumaru e adjacências. Os meses utilizados para determinar as variações dos níveis estáticos foram os de maiores precipitações pluviométricas (março e abril) e os de menores precipitações (setembro e outubro), correspondendo aos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

A Tabela 6.3 apresenta os dados dos poços utilizados para a determinação do potencial hidráulico do aquífero, calculado a partir das cotas topográficas e níveis estáticos.

A Figura 6.5 apresenta o gráfico de variação do nível estático nos poços tubulares para os períodos sazonais investigados. Observa-se que há variação do nível estático, nos poços selecionados, que vão de 0,4 m a 4,1 m.

O bloco topográfico (Figura 6.6) apresentado, juntamente com a localização de alguns poços de monitoramento, dá uma indicação mais precisa do posicionamento dos poços dentro da área de estudo.

A partir dos valores de potenciais hidráulicos, traçou-se os mapas potenciométricos em relação aos períodos sazonais avaliados, utilizando-se o software Surfer 6.0 (Golden Software Incorporated).

Nas Figuras 6.7 e 6.8 estão representados os mapas potenciométricos do aquífero livre no período seco e chuvoso, respectivamente, através dos quais foi possível determinar o sentido do fluxo da água subterrânea, sendo representados por setas perpendiculares às linhas de equipotenciais hidráulicos.

A concentração das linhas de fluxo se dá na parte central da área, próximo à nascente e da drenagem principal. Deste modo, a superfície potenciométrica tende a acompanhar a topografia do terreno, sendo que na faixa NW-SE as linhas tendem a se



juntar pelo aumento do gradiente hidráulico. Onde a topografia é mais elevada as equipotenciais mudam o modelo de seu traçado.

O fluxo subterrâneo da área de estudo escoar de noroeste e norte para a região central da área, sendo possível identificar através do mapa potenciométrico três áreas principais de recarga e uma área de descarga que coincide com a drenagem principal. O sentido do fluxo da água subterrânea no geral é da área superior do mapa para a região central, onde encontra-se uma nascente e, continuando no sentido da drenagem principal, o igarapé Cumaru. O padrão principal do fluxo é de norte para sul, em direção ao igarapé Cumaru, principal exutório da área.

As curvas potenciométricas mostram também uma certa influência da pluviometria. No período chuvoso, com o nível da água mais elevado, as curvas avançam no sentido do igarapé Cumaru, podendo se observar como exemplo a curva de cota 40 m, que está mais ao sul do que no período seco (Figuras 6.7 e 6.8).

Com este padrão de fluxo, observa-se que as localizações das principais áreas de plantações de maracujá estão oferecendo grande risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, principalmente na área próxima à nascente e drenagem principal, onde ocorre a maior concentração de plantações, além de a topografia ser menos elevada.

Outra implicação é o fato de que várias famílias de agricultores localizam-se próximas a essas plantações e utilizam água de poços escavados e diretamente dos igarapés, colocando em risco também a saúde destes moradores.

Através dos Blocos Diagramas da Figura 6.9 (A e B), pode ser melhor visualizada a distribuição das curvas potenciométricas e o sentido preferencial das linhas de fluxo, mostrando com maior exatidão o potencial de risco de contaminação dos recursos hídricos na área de estudo.

Tabela 6.3 – Dados dos poços selecionados para a obtenção do mapa potenciométrico.

| Poços       | Coordenadas |        | Cota topogr<br>(m) | Nível estático |         | Potencial Hidráulico |         |
|-------------|-------------|--------|--------------------|----------------|---------|----------------------|---------|
|             | Norte       | Leste  |                    | P. Chuvoso     | P. Seco | P. Chuvoso           | P. Seco |
| <b>P-4</b>  | 9867955     | 214652 | 41,02              | 3,52           | 7,32    | 37,50                | 33,71   |
| <b>P-6</b>  | 9868126     | 214911 | 44,50              | 5,57           | 6,68    | 38,93                | 37,83   |
| <b>P-11</b> | 9867949     | 214953 | 36,69              | 2,89           | 4,92    | 33,81                | 31,78   |
| <b>P-18</b> | 9868312     | 214616 | 54,42              | 5,55           | 7,96    | 48,87                | 46,46   |
| <b>P-19</b> | 9868383     | 214909 | 62,82              | 11,61          | 12,86   | 51,21                | 49,96   |
| <b>P-21</b> | 9867794     | 214723 | 42,18              | 4,40           | 8,48    | 37,79                | 33,70   |
| <b>P-22</b> | 9868022     | 215157 | 56,98              | 6,10           | 7,88    | 50,88                | 49,10   |
| <b>P-30</b> | 9868352     | 214249 | 50,59              | 2,62           | 3,06    | 47,98                | 47,53   |
| <b>P-32</b> | 9868455     | 213884 | 65,37              | 11,90          | 13,44   | 53,47                | 51,93   |
| <b>P-34</b> | 9868549     | 214270 | 56,27              | 6,31           | 7,13    | 49,96                | 49,15   |
| <b>P-44</b> | 9868335     | 215614 | 55,97              | 11,28          | 12,47   | 44,70                | 43,50   |
| <b>P-49</b> | 9867657     | 215280 | 43,18              | 3,78           | 5,00    | 39,41                | 38,19   |
| <b>P-53</b> | 9868092     | 215670 | 36,37              | 7,22           | 8,56    | 29,15                | 27,81   |
| <b>P-54</b> | 9867833     | 215601 | 53,29              | 8,20           | 10,40   | 45,09                | 42,89   |
| <b>P-55</b> | 9867506     | 215398 | 37,34              | 1,24           | 1,62    | 36,10                | 35,72   |

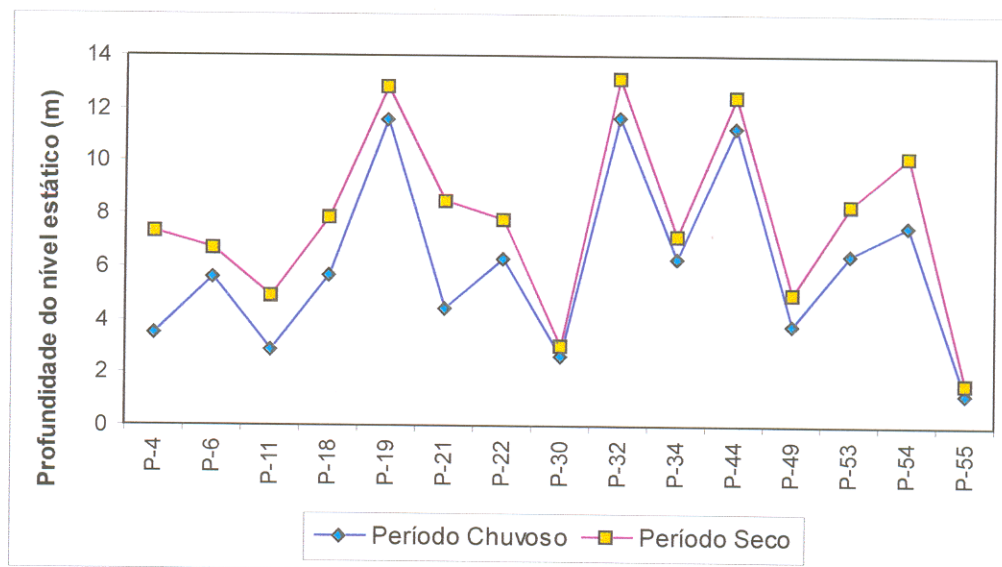


Figura 6.5 - Representação da variação do nível estático, nos períodos sazonais avaliados.

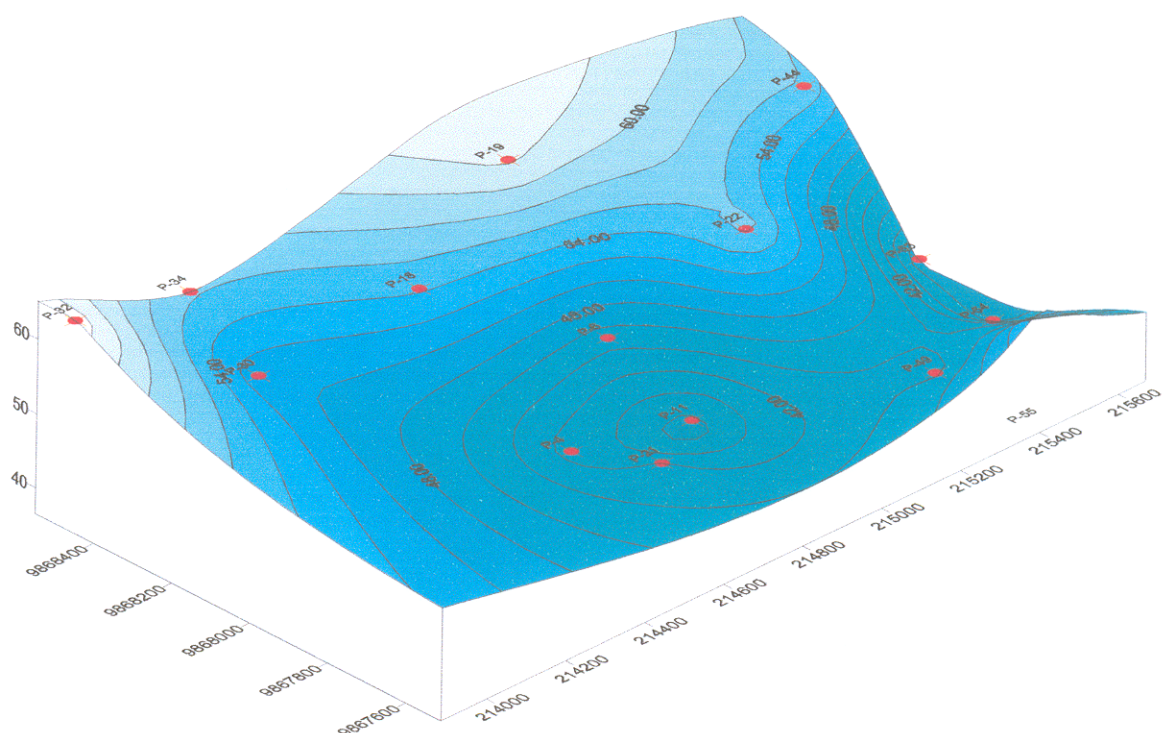


Figura 6.6 - Diagrama topográfico da área de estudo

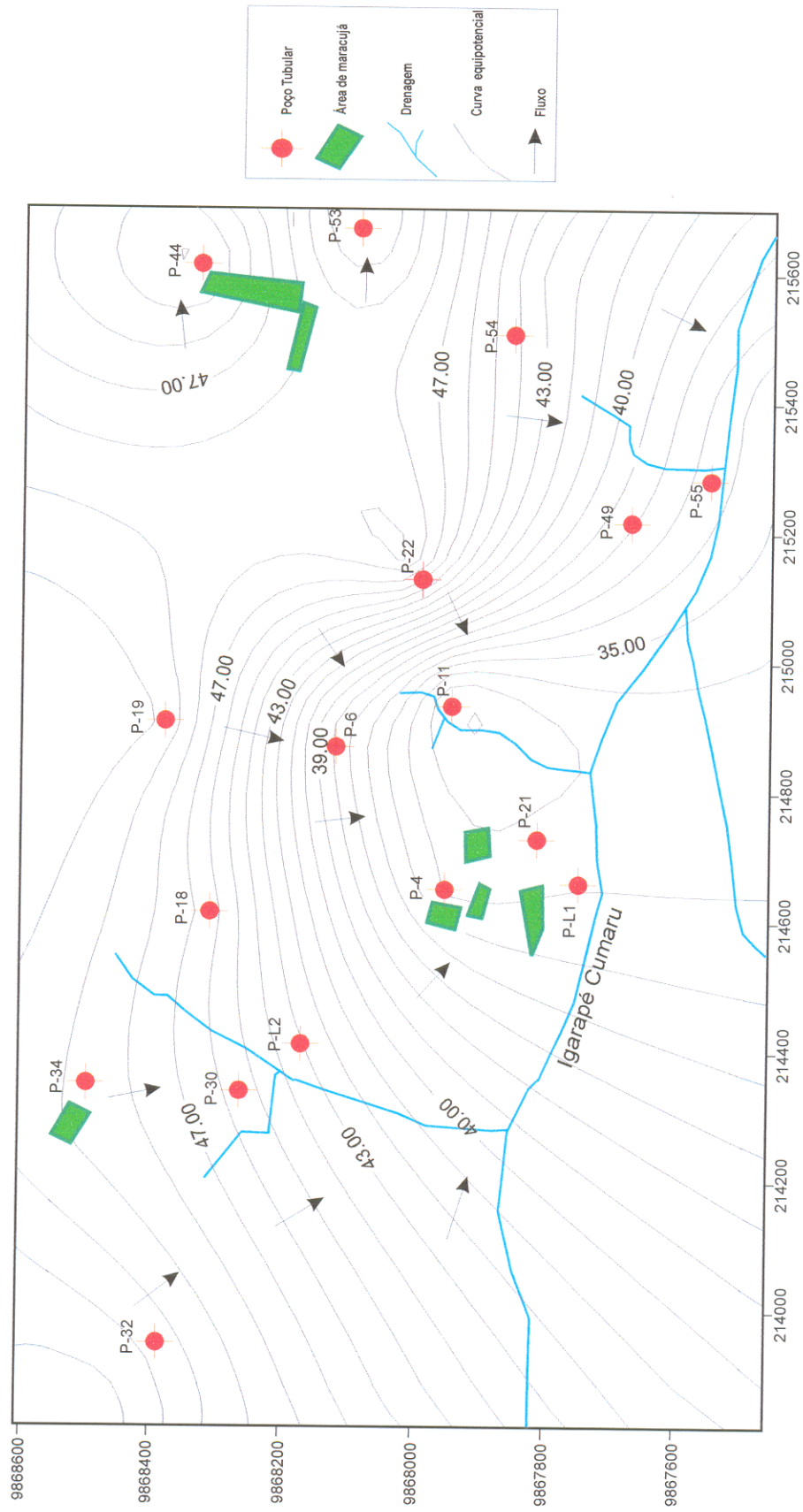


Figura 6.7 - Mapa potenciométrico da microbacia do Cumarú, referente ao período seco.



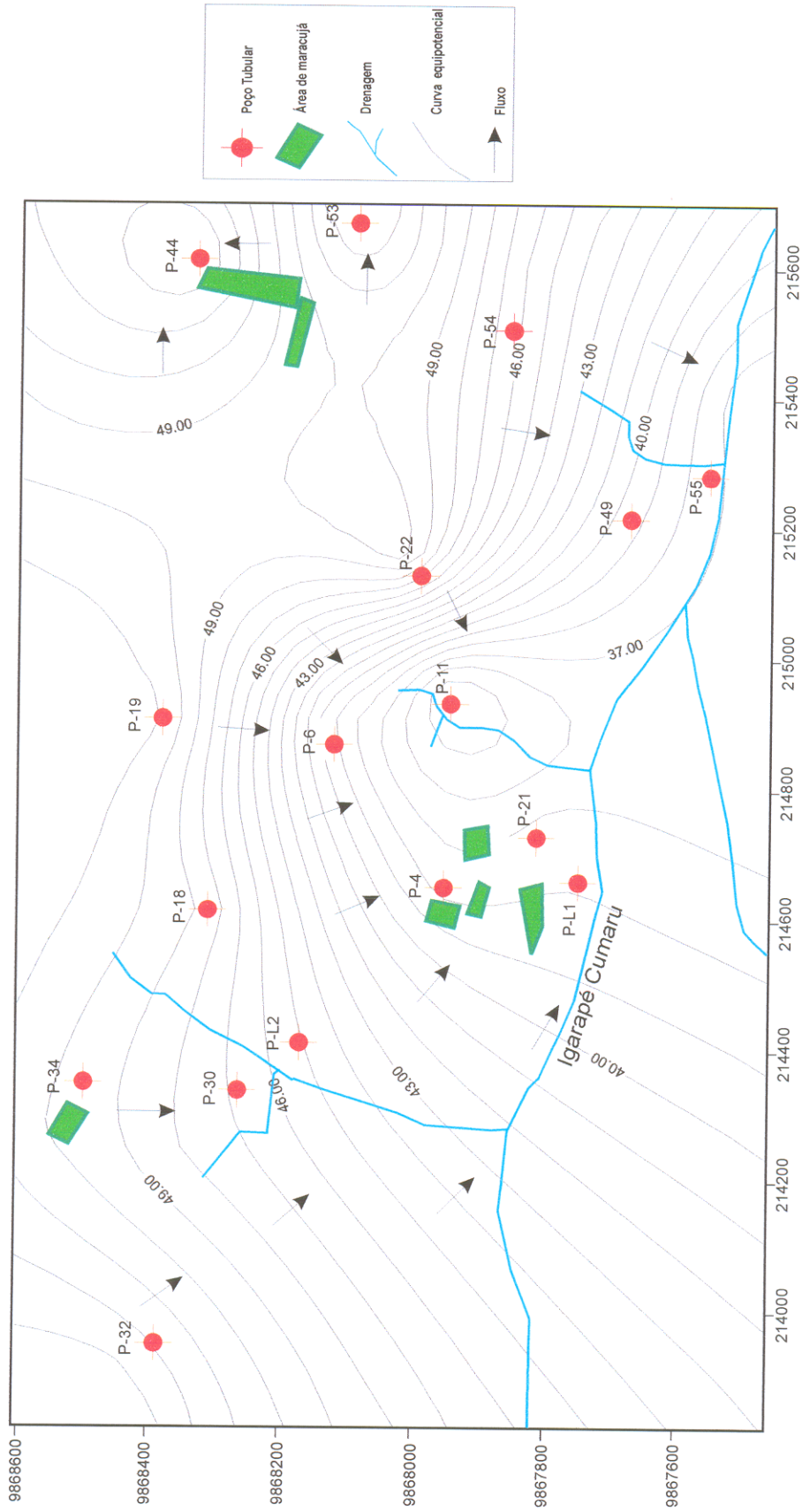


Figura 6.8 - Mapa potenciométrico da microbacia do Cumaru, referente ao período chuvoso.

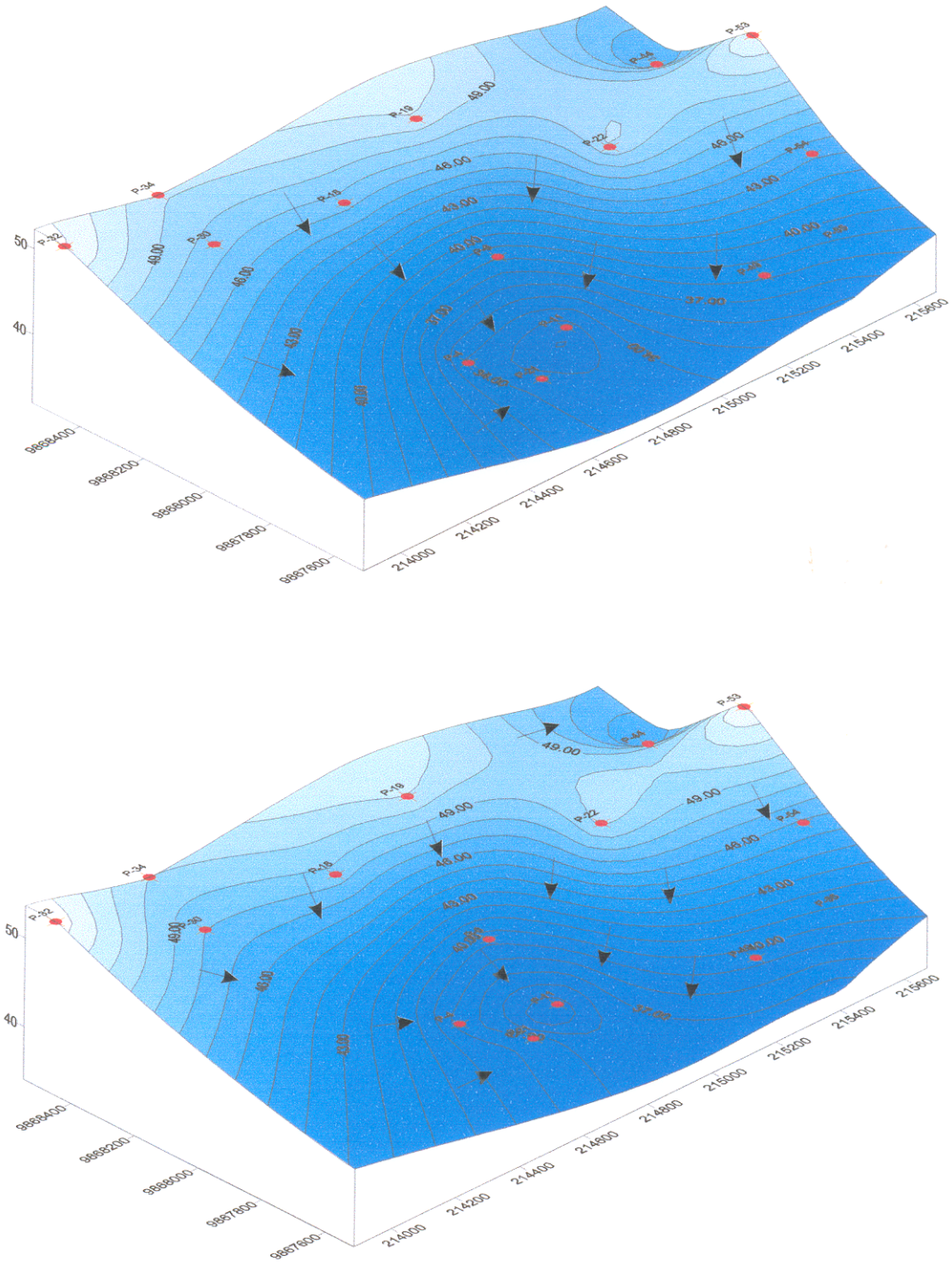


Figura 6.9 - Diagramas potenciométricos da área de estudo, referentes aos períodos seco (A) e chuvoso(B).

### 6.2.2.1- Velocidade do Fluxo Subterrâneo

A velocidade da água subterrânea pode ser, em qualquer local, obtida através dos mapas potenciométricos.

A equação da velocidade da água subterrânea pode ser derivada de uma combinação da Lei de Darcy e equação da velocidade hidráulica.

$$Q = K A \left( \frac{dh}{dl} \right) \quad (\text{Lei de Darcy})$$

$$Q = A v \quad (\text{Equação da velocidade})$$

Onde, Q é a razão de fluxo ou volume por unidade de tempo, K é a condutividade hidráulica, A é a área da seção transversal do fluxo, (dh/dl) é o gradiente hidráulico e v é a velocidade de Darcy ou velocidade aparente (Heath, 1995).

A velocidade aparente de escoamento de fluxo subterrâneo pode ser calculada através da expressão:

$$v = K \left( \frac{dh}{dl} \right)$$

O gradiente hidráulico foi obtido entre o poço P-6 (poço de observação do teste de bombeamento) e os poços (P-4, P-11, P-18, P-19, P-22). Os valores obtidos variaram de 0,01 a 0,06 m.

Os valores de gradiente hidráulico e a condutividade hidráulica de 27,9 m/dia forneceram resultados, para a velocidade aparente do fluxo subterrâneo, que variaram de 0,29 m/dia a 1,73 m/dia.

A velocidade aparente de escoamento determinada foi então utilizada para calcular a velocidade real do fluxo subterrâneo através da equação:

$$V_r = v/\eta_e \quad \text{onde,}$$

$V_r$  – velocidade real;  $v$  – velocidade aparente;  $\eta_e$  –porosidade efetiva.

A porosidade efetiva foi estimada em 0,25 de acordo com os valores de referência citados na literatura (Keeler, 1996; Heath, 1995). A velocidade real do fluxo subterrâneo no aquífero livre entre os poços selecionados variou de 0,9 m/dia a 5,7 m/dia.

As características hidrodinâmicas obtidas para o aquífero livre estudado são apresentadas na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Características hidrogeológicas do aquífero livre da microbacia do Cumaru.

| CARACTERÍSTICA HIDROGEOLÓGICA   | UNIDADE             | RESULTADO   |
|---------------------------------|---------------------|-------------|
| Espessura estimada do aquífero  | m                   | 12          |
| Nível estático                  | m                   | 2,6 a 13,4  |
| Tamanho efetivo dos grãos       | mm                  | 0,18        |
| Gradiente hidráulico            | m                   | 0,1 a 0,6   |
| Velocidade aparente             | m/dia               | 0,29 a 1,73 |
| Velocidade real de fluxo        | m/dia               | 0,9 a 5,7   |
| Coeficiente de Armazenamento    |                     | 0,25        |
| Porosidade efetiva              |                     | 0,25        |
| Condutividade hidráulica        | m/dia               | 28,9        |
| Coeficiente de transmissividade | m <sup>2</sup> /dia | 347         |



### 6.2.3- Reserva Reguladora

A reserva reguladora de um aquífero representa o volume de água compreendido entre os níveis máximo e mínimo, ou seja, o volume de água compreendido entre os níveis de flutuação sazonal do aquífero livre. Esta reserva é função das características físicas do aquífero livre, principalmente das hidrodinâmicas e das condições de recarga e descarga (Tancredi, 1996).

A reserva reguladora foi obtida através do cálculo da vazão de escoamento natural (VEN), que é equivalente ao escoamento de base dos rios nos períodos de estiagem, sendo calculado pela equação (In: Gaspar, 2001):

$$VEN = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e \quad \text{onde,}$$

A é a área de abrangência do aquífero ( $m^2$ );  $\Delta h$  é a variação sazonal do nível potenciométrico (m) e  $\eta_e$  a porosidade efetiva.

A variação média sazonal do nível potenciométrico nos poços de observação, considerada no cálculo da reserva, refere-se ao período de 2 anos (2000 e 2001). A variação média calculada foi de 1,74 metros. A área de abrangência considerada para o cálculo da reserva reguladora foi de 16  $Km^2$ , ou seja, a área total da microbacia do Cumaru.

O valor da porosidade efetiva foi obtido de acordo com os valores citados por Keeler (1996) para sedimentos arenosos. Através dos valores da variação sazonal (1,74 m), da área de abrangência do aquífero (16  $Km^2$ ) e da porosidade efetiva ( $\eta_e=0,25$ ), obteve-se o valor da reserva (VEN) de 6,96 milhões de  $m^3$ .

Tancredi (1996) determinou, para o ano de 1993, um volume de 226 milhões de  $m^3$  para a reserva reguladora, utilizando a determinação do fluxo de base do igarapé São Brás (37 milhões de  $m^3$ ). O volume restituído pelo aquífero livre para o igarapé São Brás, envolvendo uma área de 147,78  $Km^2$  correspondeu a 12% (250.372  $m^3$ ) da precipitação pluviométrica. Na área da microbacia do Cumaru (16  $Km^2$ ) o valor restituído forneceu um valor de 521.875  $m^3$ . A precipitação total anual para a bacia foi

de 2.526,3 mm, fornecendo um total de 40,4 milhões de m<sup>3</sup>, desta forma o volume calculado para a reserva reguladora representou cerca de 17% da precipitação.

Através dos dados obtidos observa-se que a reserva reguladora da microbacia do Cumaru é mais elevada (17% da precipitação pluviométrica) que a encontrada por Tancredi (1996), que corresponde a 12% da precipitação. Entretanto, deve-se considerar que a área da microbacia do Cumaru é plana, bem menos povoada e grande parte da área é coberta por vegetação primária e secundária, o que facilita a infiltração da água da chuva no solo.

### 6.3- HIDROGEOQUÍMICA

As águas subterrâneas analisadas são de aquíferos livres e, portanto, a recarga principal é através de infiltração das águas pluviais. Deste modo, realizou-se também análise química destas águas a fim de avaliar sua influência sobre os resultados analíticos encontrados.

Avaliar e discutir dados hidroquímicos de águas necessita de cautela, em virtude de vários problemas e considerações que devem ser levados em conta como, por exemplo, os diversos processos e reações que ocorrem na área de captação, particularidades petrográficas, processos de origem biótica, modificações artificiais de origem antropogênica, propriedades físico-químicas, entre outros (Sioli, 1957; Junk & Furch, 1980).

Para verificar a precisão dos dados obtidos nas análises foi avaliado o balanço iônico dos constituintes analisados. Nesta verificação algumas amostras apresentaram porcentagem de erro acima de 5%. Vale ressaltar que, por falta de recursos, algumas análises não puderam ser realizadas como é o caso do  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ , que em áreas de intensa atividade agrícola podem ter influência significativa no total de cátions e ânions. Entretanto, os resultados obtidos foram usados com cautela e sempre com amparo da literatura referente às características físico-químicas das águas do nordeste paraense.

A Figura 6.10 apresenta o mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de água superficial, subterrânea e de áreas de cultivo de maracujá localizadas próximo aos pontos de amostragem.

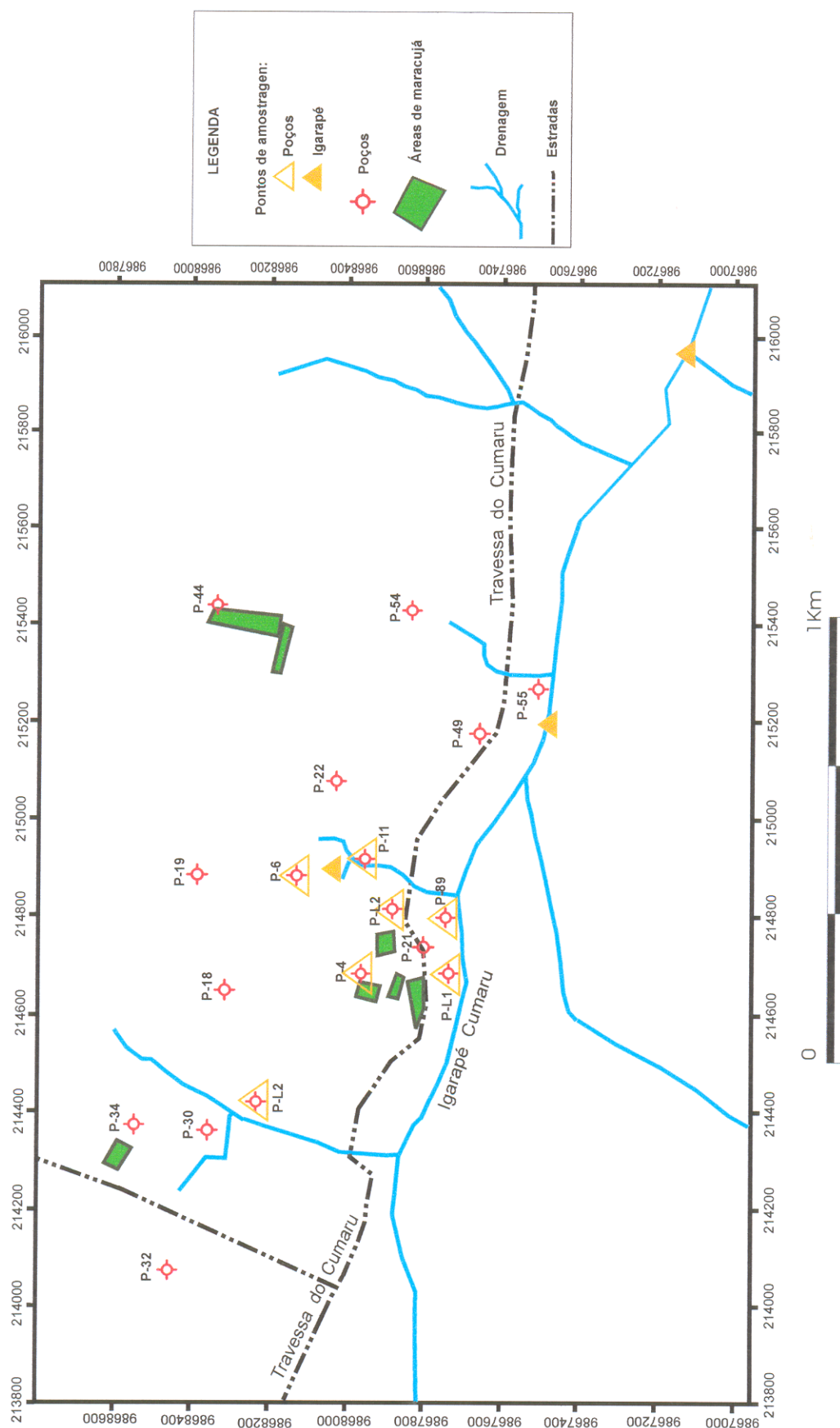


Figura 6.10 - Mapa dos pontos de amostragem de água superficial, subterrânea e localização de áreas de cultivo de maracujá.



### 6.3.1- Água Pluviométrica

Grande parte dos constituintes químicos dissolvidos nas águas de chuva ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{NH}_4^+$ ) provém da dissolução de aerossóis e o pH destas águas normalmente situa-se em torno de 5,7 (Mestrinho, 2000). Em Igarapé-Açu, a água da chuva apresenta pH de 5,3 para os períodos seco e chuvoso, estando de acordo com outras regiões não afetadas por atividades industriais, com pH compreendido entre 5 e 6 (Keeler, 1996).

A temperatura de 25,4°C a 26°C encontrada concorda com os valores climáticos apresentados para a região, em torno de 26,5°C segundo os estudos meteorológicos desenvolvidos por Bastos & Pacheco (1999), no município de Igarapé-Açu.

A condutividade elétrica é baixa, variando de 14,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 18,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e apresenta-se compatível com os baixos valores de sólidos totais dissolvidos e resíduo seco encontrados, que variam de 4,4 mg/L a 1,9mg/L.

Pode-se notar que na água pluvial os constituintes químicos são extremamente diluídos. Trata-se de água levemente ácida, podendo causar reações químicas no solo e nas rochas durante a infiltração.

O sódio e o cálcio são os cátions com maiores concentrações na água da chuva, com valores de 1,0 mg/L e 0,5 mg/L, respectivamente. Estas concentrações são representativas do período seco analisado, sendo que no período chuvoso estes valores não ultrapassaram 0,4 mg/L.

Os cátions potássio e magnésio apresentam concentrações mínimas de 0,1 mg/L para os dois períodos sazonais estudados.

Os ânions de maiores concentrações são o sulfato 1,4 mg/L e o cloreto 1,2 mg/L, no período seco. Para o período chuvoso a concentração do cloreto tem leve predominância em relação ao sulfato, que tem maior concentração no período seco.

As Tabelas 6.5 e 6.6 apresentam os resultados obtidos em análises de água da chuva (AC), ocorridos em estação seca (nov/2002) e chuvosa (fev/2003).

A partir da precipitação pluviométrica, infiltração e circulação através das rochas, a água subterrânea é submetida a uma série de processos geoquímicos que influenciam nas suas características físico-químicas.

A composição química das águas que alimentam os aquíferos (águas de percolação) é diferente da composição da água pluvial, devido sofrer reações com os gases presentes no solo ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , etc), com o material sólido de origem geológica ou orgânica e com os organismos vivos (Fenzl, 1988).

O solo exerce uma influência muito grande nos processos químicos durante a infiltração da água, gerando grande quantidade de ácido que consome bastante oxigênio dissolvido.

A decomposição da matéria orgânica é a principal fonte de  $CO_2$ . Assim é produzido o  $H_2CO_3$  a partir da reação:



O  $CO_2$  é produzido pela decomposição da matéria orgânica e pela respiração dos microorganismos e nas raízes da vegetação.

Durante a movimentação das águas através dos solos, pode ocorrer a lixiviação de um grande número de elementos, dependendo do comportamento físico-químico dos mesmos (Fenzl, 1988).

Tabela 6.5 – Constituintes químicos principais analisados em amostras de água da chuva, para os períodos seco e chuvoso.

|                     | Amostra | Na <sup>+</sup><br>mg/L | K <sup>+</sup><br>mg/L | Ca <sup>+2</sup><br>mg/L | Mg <sup>+2</sup><br>mg/L | Cl <sup>-</sup><br>mg/L | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>mg/L | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>mg/L | Fer<br>mg/L |
|---------------------|---------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| P. Seco (nov/02)    | AC      | 1,0                     | 0,1                    | 0,5                      | 0,1                      | 1,2                     | 1,4                                   | nd                                    | nd          |
| P. Chuvoso (fev/03) | AC      | 0,3                     | 0,1                    | 0,4                      | 0,1                      | 0,5                     | 0,4                                   | nd                                    | 0,03        |

Tabela 6.6 – Principais parâmetros analisados em amostras de água da chuva, para os períodos seco e chuvoso.

|                     | Amostra | Temperatura<br>°C | pH  | Cond. Elétrica<br>µS/cm | STD<br>mg/L | Resíduo Seco<br>mg/L | Alcalinidade<br>mg/L de CaCO <sub>3</sub> |
|---------------------|---------|-------------------|-----|-------------------------|-------------|----------------------|-------------------------------------------|
| P. Seco (nov/02)    | AC      | 26,2              | 5,3 | 18,9                    | 4,4         | 4,4                  | nd                                        |
| P. Chuvoso (fev/03) | AC      | 25,4              | 5,3 | 14,3                    | 1,9         | 1,9                  | nd                                        |

nd – não detectado

STD – sólidos totais dissolvidos

### 6.3.2- Água Superficial

As Tabelas 6.7 e 6.8 apresentam os resultados obtidos nas análises físico-químicas, realizadas nas águas do Igarapé Cumaru (AI-1 e AI-2), expressos em miligramas por litro (mg/L).

Observa-se que a temperatura das águas do igarapé Cumaru variam de 25,8 °C a 27,7 °C, com média em torno de 26,3 °C. Este resultado mostra que a temperatura reflete as características climáticas do tipo quente e úmido, típicas da região nordeste do Pará, e semelhantes aos valores encontrados no município de Barcarena/PA por Lima & Kobayashi (1988), localizada a aproximadamente 50 Km de Igarapé-Açu.

O pH é ácido, com valores variando de 4,7 a 5,7, semelhantes aos encontrados por Sioli (1957) em águas de rios e igarapés onde a geologia é semelhante à da área estudada. Na Zona Bragantina e no município de Igarapé-Açu, este autor identificou valores de pH compreendidos entre 4,5 e 5,5, e valores entre 4,0 e 5,9 no Amazonas e em outras regiões do Pará.

No geral, a acidez das águas do igarapé Cumaru ( $\text{pH} < 6$ ) reflete a influência do material dissolvido e em suspensão (geralmente argilominerais, predominando a caulinita, e presença de ácidos húmicos originados da decomposição da matéria orgânica), como já mostraram Lima & Kobayashi (1988) em águas superficiais da região de Barcarena, e Junk & Furch (1980) em rios e igarapés da bacia Amazônica.

Os valores de alcalinidade em mg/L de  $\text{CaCO}_3$  localizaram-se abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada. Godot et al. (1990) também encontraram alcalinidade fraca ou nula em áreas onde a geologia é semelhante à da área de estudo, onde predominam arenitos com níveis argilosos.



Tabela 6.7 – Constituintes químicos principais analisados no Igarapé Cumaru, nos períodos seco e chuvoso.

| Amostra                     |      | Na <sup>+</sup><br>mg/L | K <sup>+</sup><br>mg/L | Ca <sup>+2</sup><br>mg/L | Mg <sup>+2</sup><br>mg/L | Cl <sup>-</sup><br>mg/L | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>mg/L | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>mg/L | Fe <sub>T</sub><br>mg/L |
|-----------------------------|------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Período Seco<br>(nov/02)    | AI-1 | 1,8                     | 0,1                    | 0,5                      | 0,3                      | 2,9                     | 3,5                                   | nd                                    | 0,26                    |
|                             | AI-2 | 1,9                     | 0,2                    | 1,2                      | 0,4                      | 2,6                     | 4,4                                   | nd                                    | 0,17                    |
| Período Chuvoso<br>(fev/03) | AI-1 | 1,9                     | 0,3                    | 0,7                      | 0,3                      | 2,0                     | 2,5                                   | 1,8                                   | 0,11                    |
|                             | AI-2 | 2,2                     | 0,6                    | 0,9                      | 0,4                      | 3,5                     | 2,8                                   | 2,4                                   | 0,11                    |

Tabela 6.8 – Principais parâmetros analisados no Igarapé Cumaru, nos períodos seco e chuvoso.

| Amostras                    |      | Temperatura<br>°C | pH  | Cond. Elétrica<br>µS/cm | STD<br>mg/L | Resíduo Seco<br>mg/L | Alcalinidade<br>mg/L de CaCO <sub>3</sub> |
|-----------------------------|------|-------------------|-----|-------------------------|-------------|----------------------|-------------------------------------------|
| Período Seco<br>(nov/02)    | AI-1 | 25,6              | 5,5 | 16,8                    | 9,7         | 9,3                  | nd                                        |
|                             | AI-2 | 25,8              | 5,7 | 19,1                    | 11,4        | 10,9                 | nd                                        |
| Período Chuvoso<br>(fev/03) | AI-1 | 27,7              | 5,1 | 16,2                    | 10,0        | 8,7                  | 1,5                                       |
|                             | AI-2 | 26,2              | 4,7 | 23,5                    | 13,4        | 11,7                 | 2,0                                       |

nd – não detectado

STD – sólidos totais dissolvidos

A condutividade elétrica é baixa e coincide com as baixas concentrações dos constituintes químicos analisados, concordando com os baixos valores de resíduo seco e sólidos totais dissolvidos. Esta relação pode ser melhor observada no diagrama da condutividade *versus* resíduo seco (Figura 6.11). Os valores encontrados variam de 16,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 23,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo semelhantes aos baixos valores obtidos em outros rios e igarapés da bacia amazônica (Junk & Furch, 1980; Lima & Kobayashi, 1988).

O constituinte químico catiônico que apresentou maiores concentrações nas águas superficiais foi o sódio, variando de 1,8 mg/L a 2,2 mg/L, com média de 1,9 mg/L de  $\text{Na}^+$ . No período chuvoso aparecem os maiores valores deste íon (1,9 – 2,2 mg/L).

O cálcio é o segundo cátion de maior concentração variando de 0,5 mg/L a 1,2 mg/L, com valor médio de 0,8 mg/L de  $\text{Ca}^{+2}$ . Nos dois períodos avaliados não ocorrem variações significativas deste íon. Estas concentrações são menores que as observadas em rios da Amazônia e América do Sul (Gibbs, 1972).

O ânion mais representativo no período seco é o sulfato variando de 3,5 mg/L a 4,4 mg/L, com valor médio de 3,9 mg/L de  $\text{SO}_4^{-2}$ . O cloreto apresentou concentrações que variaram de 2,6 mg/L a 2,9 mg/L para o mesmo período.

Para o período chuvoso o cloreto mostrou-se levemente superior à concentração de sulfato, apresentando valores de 2,0 mg/L a 3,5 mg/L de  $\text{Cl}^-$ . A média de concentração deste ânion é de 2,7 mg/L, enquanto a média de concentração do sulfato para este período foi de 2,65 mg/L. As concentrações do íon cloreto nas águas superficiais sugerem a influência de aerossóis marinhos, (Godot et al. 1990).

Os valores de sulfato assemelham-se às concentrações determinadas por Gibbs (1972) em rios da Amazônia, enquanto o cloreto apresenta-se com teores mais baixos que os dados obtidos por este autor.

Os teores de ferro são relativamente baixos variando de 0,11 mg/L a 0,26 mg/L, com média de 0,16 mg/L, semelhantes aos valores obtidos por Lima & Kobayashi (1988), em águas superficiais da região de Barcarena/PA.

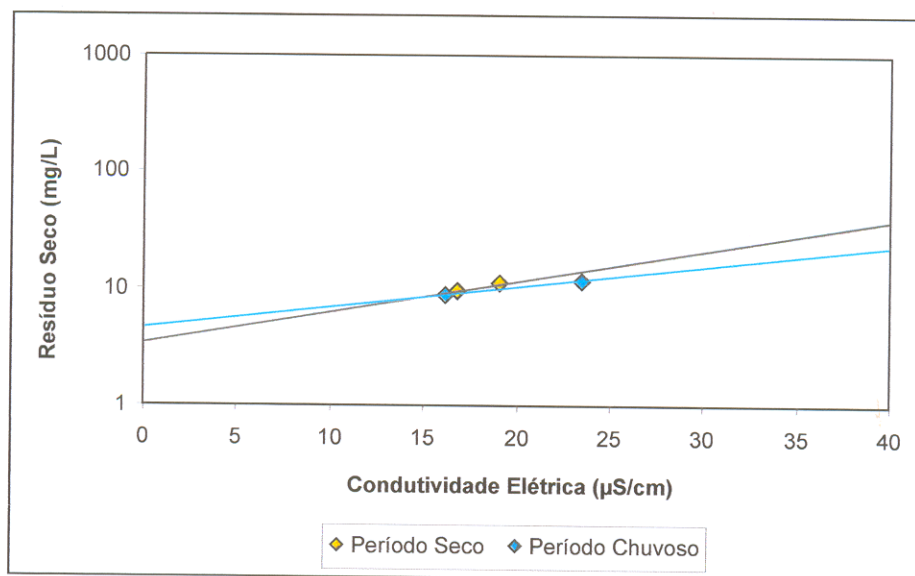


Figura 6.11 - Gráfico representativo da correlação entre resíduo seco e condutividade elétrica para os períodos seco e chuvoso das águas do igarapé Cumaru.

### 6.3.2.1 Relações Iônicas

As relações iônicas aqui estudadas podem ser significativas no entendimento da origem e influência dos constituintes químicos analisados. Para tanto, foram determinadas as relações entre  $rCl/rNa$ ,  $rCl/(rNa+rK)$ ,  $rHCO_3/rCa$  e  $rHCO_3/(rCa+rMg)$ , expressos em meq/L. Os valores obtidos para as águas superficiais (Al-1 e Al-2) estão representados na Tabela 6.9.

As águas naturais da região amazônica já foram estudadas por Gibbs (1972), Stallard (1980) e Stallard & Edmond (1981), em trabalhos hidrogeoquímicos retratando as relações iônicas entre os constituintes em solução.

Com relação à ordem de predominância de cátions e ânions (expressos em meq/L) nas águas do Igarapé Cumaru, observou-se que no período seco e chuvoso o íon catiônico de maior concentração é o sódio ( $rNa > rCa > rMg > rK$ ). Para os ânions o sulfato tem maior concentração em relação ao cloreto nos períodos sazonais estudados ( $rSO_4 > rCl > rHCO_3$ ).

A predominância existente para o sulfato em relação ao cloreto pode estar relacionada à influência da atividade agrícola com o uso de fertilizantes e corretivos no solo.

Os íons de maior predominância nestas águas confirmam a influência de águas de precipitação pluviométrica (Godot et al. 1990).

Apesar de grande parte das águas doces já investigadas ter o cálcio como elemento principal, a região Amazônica é conhecida por sua pobreza neste íon (Junk & Furch, 1980).

A relação  $rCl/rNa$  tem seus valores próximos a 1 no período seco, enquanto no período chuvoso é menor que 1 devido o cloreto ter menor concentração em relação ao sódio. Entretanto, os pontos estão localizados próximos à reta  $rNa=rCl$  no diagrama da Figura 6.12 (A). Deste modo, confirma-se novamente a influência das águas de precipitação pluviométrica na composição química das águas investigadas. Relação semelhante foi obtida para águas da chuva com influência marinha por Stallard (1980) e Stallard & Edmond (1981), e em diversas fontes no nordeste do Pará e em água pluviométrica na Serra do Piriá (Souza, 1996).



Stallard & Edmond (1981), e em diversas fontes no nordeste do Pará e em água pluviométrica na Serra do Piriá (Souza, 1996).

A relação  $rCl/(rNa+rK)$  é muito semelhante à relação  $rCl/rNa$  devido ao baixo teor de potássio, como pode ser observado na Figura 6.12 (B).

Os baixos valores (menores que 1) obtidos nas relações  $rHCO_3/rCa$  e  $rHCO_3/(rCa+rMg)$  confirmam a pobreza em sais nestas águas, principalmente em relação ao cálcio e magnésio.

Tabela 6.9 – Relações iônicas entre os principais constituintes nas águas do igarapé Cumaru.

|                          | Amostras | Cl/(Na+K) | HCO <sub>3</sub> /Ca | HCO <sub>3</sub> /(Ca+Mg) | Cl/Na |
|--------------------------|----------|-----------|----------------------|---------------------------|-------|
| Período Seco (nov/02)    | AI-1     | 1,02      | -                    | -                         | 1,06  |
|                          | AI-2     | 0,86      | -                    | -                         | 0,92  |
|                          | Média    | 0,94      | -                    | -                         | 0,99  |
| Período Chuvoso (fev/03) | AI-1     | 0,63      | 0,84                 | 0,49                      | 0,69  |
|                          | AI-2     | 0,90      | 0,87                 | 0,50                      | 1,04  |
|                          | Média    | 0,77      | 0,86                 | 0,50                      | 0,87  |

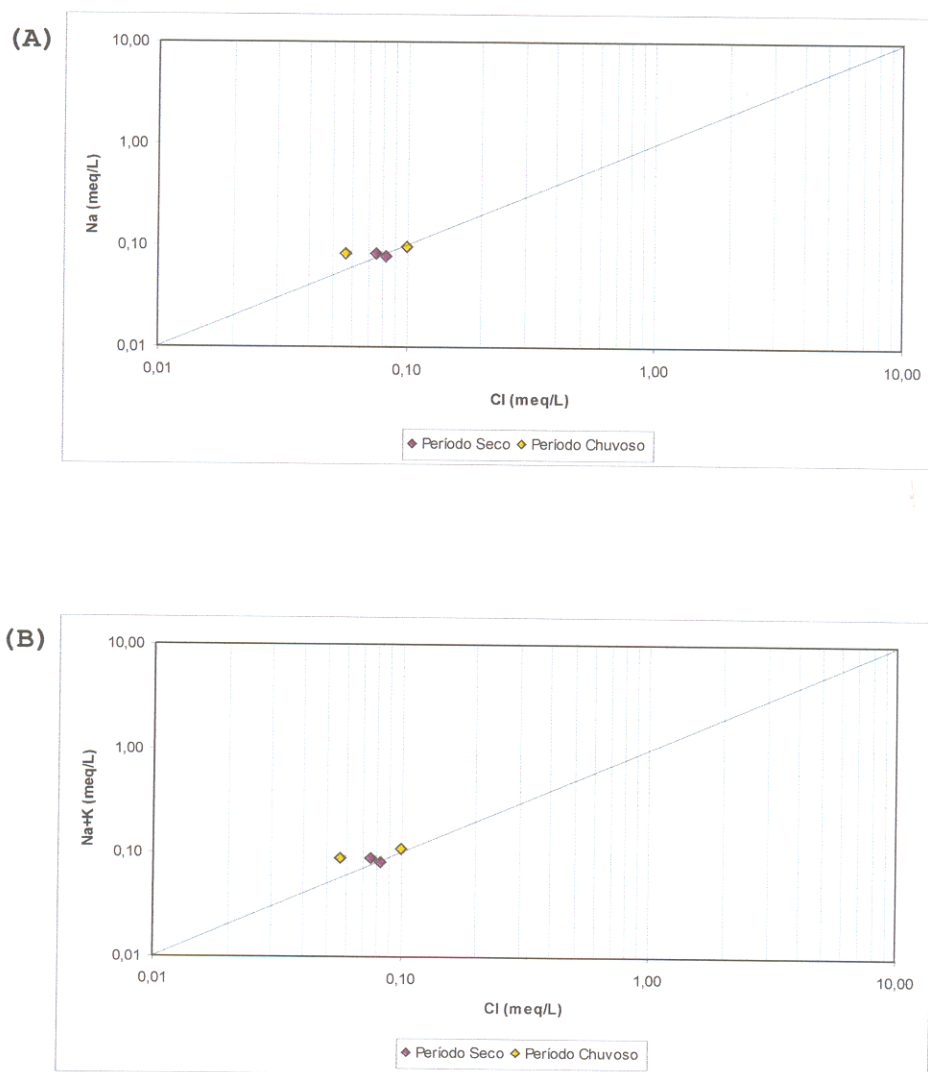


Figura 6.12 - Diagramas lineares das relações (A) Cl/Na e (B) Cl/(Na+K) para as águas superficiais, nos períodos seco (nov/02) e chuvoso (fev/03).

### 6.3.2.2- Classificação das águas

Através dos resultados analíticos dos principais constituintes químicos obtidos nas águas superficiais construiu-se o diagrama de Piper (Piper, 1944) e semi-logarítmico de Shöeller (Shöeller, 1962).

Os resultados obtidos através dos diagramas apresentados indicam que as águas do Igarapé Cumaru em relação aos cátions são sódicas independente do período sazonal analisado. Para os ânions as águas são principalmente sulfatadas no período seco, enquanto no período chuvoso ocorre apenas uma leve predominância deste tipo de água.

As concentrações de sódio e cloreto podem estar relacionadas ao transporte de sais cíclicos de origem marinha, como já foi observado por Stallard (1980).

A Figura 6.13 apresenta os dados dos constituintes químicos analisados em diagrama trilinear de Piper (Piper, 1944), expressos em porcentagem de miliequivalente grama por litro, para os períodos seco (A) e chuvoso (B).

A Figura 6.14 apresenta o diagrama semi-logarítmico de Shöeller (Shöeller, 1962) para os períodos seco (A) e chuvoso (B), no qual foram plotadas as amostras de água superficial, expressas em meq/L. É possível observar a tendência das concentrações e a boa correlação entre os constituintes, independente do período analisado. Neste gráfico é possível confirmar que as águas sódicas e sulfatadas são dominantes, sendo que na amostra AI-2 as concentrações de cloreto e sulfato são muito próximas, no período chuvoso, mas ainda ocorre a predominância do sulfato nestas águas.

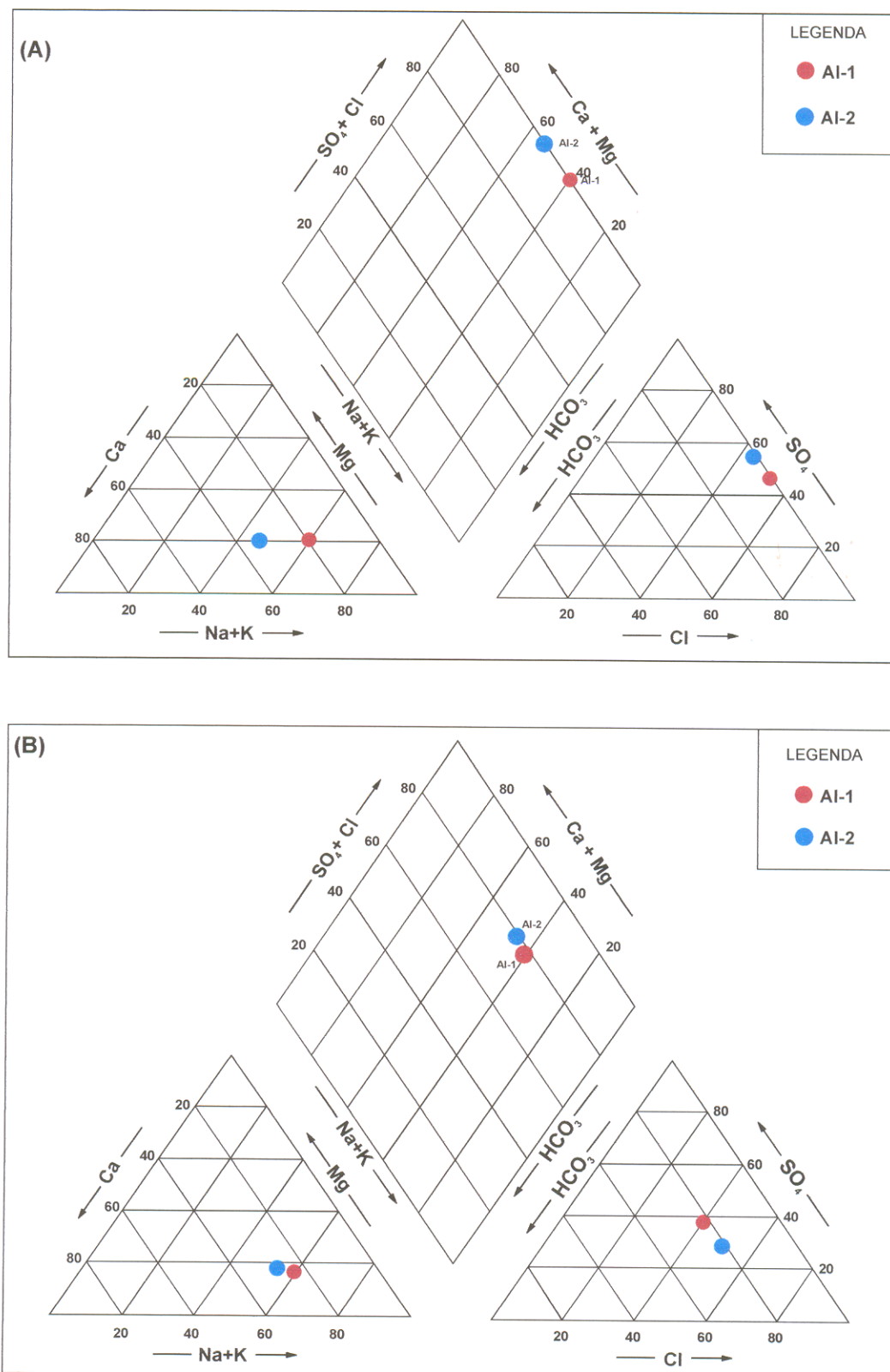


Figura 6.13 - Diagrama trilinear de Piper (Piper, 1944) de amostras de águas superficiais, representativas do período seco (A) e chuvoso (B).



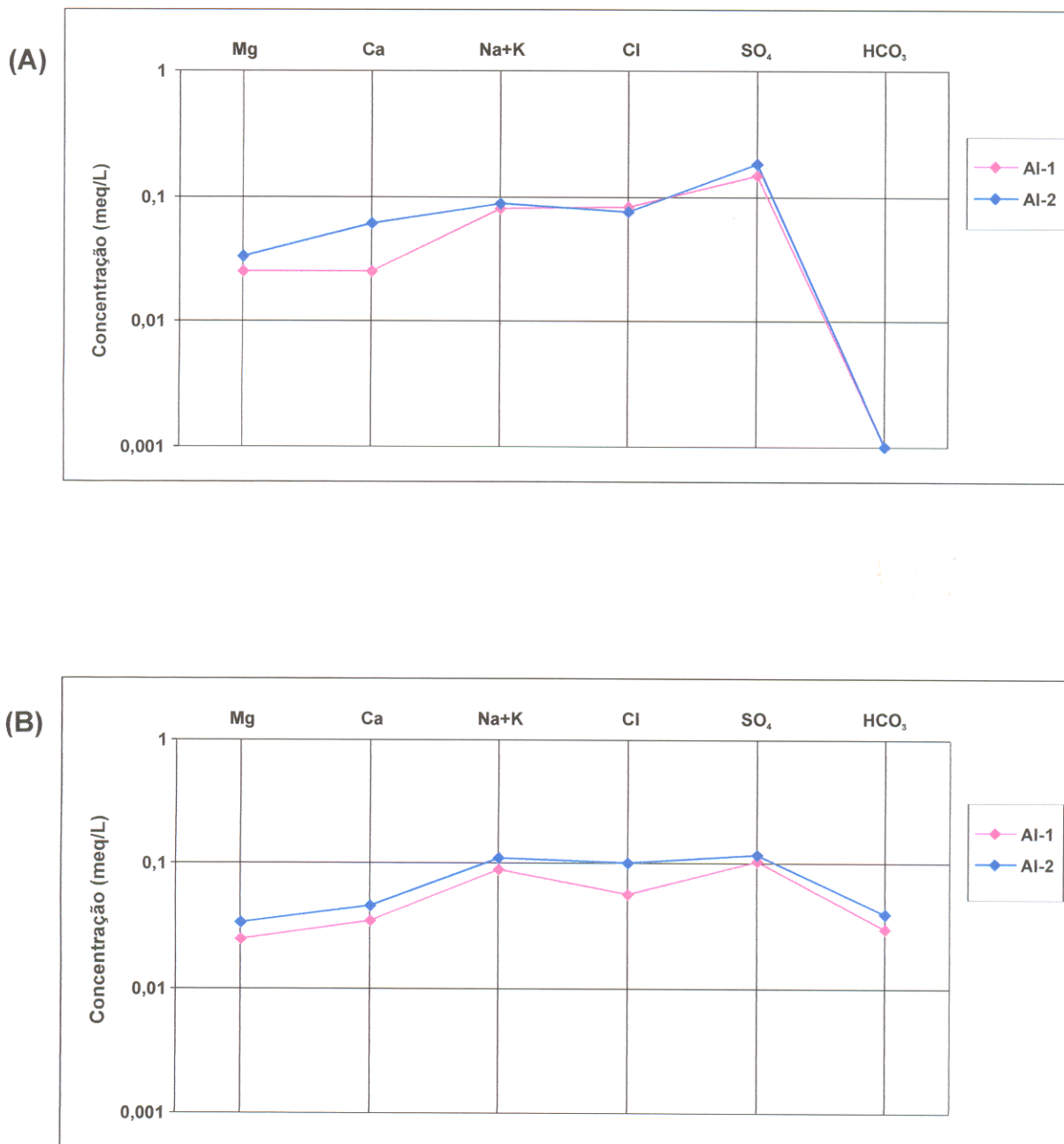


Figura 6.14 - Diagramas de Shöeller modificado (Shöeller, 1962), de amostras de águas do igarapé Cumaru, para os períodos seco (A) e chuvoso (B).

### 6.3.3- Água Subterrânea

Os parâmetros analisados nas amostras de água dos poços tubulares rasos e da surgência, referem-se ao período seco (nov/2002) e chuvoso (fev/2003). As Tabelas 6.10 e 6.11 apresentam os resultados obtidos para os constituintes químicos principais encontrados nas águas dos poços de monitoramento (P-4; P-6; P-11; P-89; P-L1; P-L2) e na água da nascente do igarapé Cumaru (AB).

Verifica-se através dos resultados que as águas do aquífero livre da microbacia do Cumaru são ácidas, com valores de pH variando de 4,5 a 5,3, semelhantes aos valores (mínimo de 4,0 e máximo de 5,1), obtidos por Lima & Kobayashi (1988) nas águas de poços e nascentes da região de Barcarena/PA. Souza (1996) em seu estudo sobre os fatores controladores da composição química nas águas subterrâneas da região nordeste do Pará, encontrou valores parecidos ( $\text{pH} < 5$ ), onde a geologia é semelhante (domínio sedimentar Barreiras e Pirabas) à da área da bacia do Cumaru.

As temperaturas das águas oscilam entre 26,5 °C e 32,4 °C, refletindo as condições climáticas da área e assemelhando-se com valores observados em outras regiões do nordeste paraense (Lima & Kobayashi, 1988).

A condutividade elétrica é baixa, com valores variando de 25,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 50,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , concordando com as baixas concentrações encontradas para os constituintes químicos analisados. O diagrama da Figura 6.15 relacionando a condutividade elétrica com o resíduo seco nos períodos seco (A) e chuvoso (B), mostra a boa correlação destes parâmetros.

A alcalinidade é baixa apresentando valores de 1 mg/L a 10,2 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . As concentrações de bicarbonato, calculadas a partir da alcalinidade, indicaram valores de 1,2 mg/L a 12,4 mg/L.

As concentrações de ferro são relativamente altas no período seco, apresentando concentrações de 0,1 mg/L a 0,8 mg/L. No período chuvoso as concentrações variam de 0,05 mg/L a 0,08 mg/L. Estes valores podem estar relacionados à constituição litológica dos sedimentos. Vale ressaltar que a influência da matéria orgânica é capaz de produzir ácidos húmicos e influenciar em certas propriedades das águas subterrâneas (Junk & Furch, 1980; Lima & Kobayashi, 1988).

Tabela 6.10 – Constituintes químicos principais analisados no aquífero livre da microbacia do Cumaru, expressos em mg/L, referentes aos períodos seco e chuvoso.

| Amostra                  |      | Na <sup>+</sup><br>mg/L | K <sup>+</sup><br>mg/L | Ca <sup>+2</sup><br>mg/L | Mg <sup>+2</sup><br>mg/L | Cl <sup>-</sup><br>mg/L | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>mg/L | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>mg/L | Fe <sub>T</sub><br>mg/L |
|--------------------------|------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Período Seco (nov/02)    | AB   | 1,5                     | 0,1                    | 0,2                      | 0,2                      | 2                       | 3,2                                   | nd                                    | 0,11                    |
|                          | P-4  | 2,6                     | 0,2                    | 1,4                      | 0,2                      | 5,5                     | 3,1                                   | 1,2                                   | 0,41                    |
|                          | P-6  | 4,0                     | 1,3                    | 9,5                      | 1,3                      | 3,7                     | 8,2                                   | 12,4                                  | 0,32                    |
|                          | P-11 | 4,2                     | 1,5                    | 6,5                      | 1,0                      | 7,0                     | 3,7                                   | 6,7                                   | 0,82                    |
|                          | P-89 | 3,0                     | 0,6                    | 3,9                      | 0,3                      | 4,1                     | 2,1                                   | 2,4                                   | 0,52                    |
|                          | P-L1 | 2,5                     | 0,4                    | 2,3                      | 0,5                      | 5,0                     | 2,2                                   | 3,7                                   | 0,51                    |
|                          | P-L2 | 2,3                     | 0,8                    | 4,1                      | 1,3                      | 5,2                     | 2,5                                   | 3,7                                   | 0,48                    |
| Período Chuvoso (fev/03) | AB   | 1,5                     | 0,2                    | 0,3                      | 0,2                      | 0,2                     | 0,8                                   | 0,6                                   | nd                      |
|                          | P-4  | 2,8                     | 0,1                    | 0,3                      | 0,1                      | 6,0                     | 0,1                                   | 0,6                                   | nd                      |
|                          | P-6  | 1,5                     | 0,6                    | 0,3                      | 0,3                      | 4,5                     | 0,5                                   | 0,6                                   | 0,08                    |
|                          | P-11 | 1,9                     | 0,3                    | 0,6                      | 0,3                      | 4,0                     | 0,3                                   | 2,4                                   | 0,07                    |
|                          | P-89 | 1,9                     | 0,5                    | 0,4                      | 0,2                      | 4,0                     | 1,0                                   | 2,1                                   | nd                      |
|                          | P-L1 | 2,0                     | 0,2                    | 0,4                      | 0,3                      | 4,0                     | 0,6                                   | 0,6                                   | 0,05                    |
|                          | P-L2 | 1,5                     | 0,4                    | 0,4                      | 0,2                      | 4,0                     | 0,4                                   | 1,8                                   | nd                      |

Tabela 6.11 – Principais parâmetros analisados no aquífero livre da microbacia do Cumaru, referentes aos períodos seco e chuvoso.

| Amostras                 | Temperatura<br>°C | pH  | Cond. Elétrica<br>µS/cm | STD<br>mg/L | Resíduo<br>Seco<br>mg/L | Alcalinidade<br>mg/L de CaCO <sub>3</sub> |
|--------------------------|-------------------|-----|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Período Seco (nov/02)    |                   |     |                         |             |                         |                                           |
| AB                       | 26,5              | 4,8 | 24,6                    | 7,6         | 7,3                     | nd                                        |
| P-4                      | 26,8              | 4,9 | 31,5                    | 15,3        | 14,2                    | 1,0                                       |
| P-6                      | 26,5              | 5,3 | 30,8                    | 43,3        | 35,6                    | 10,2                                      |
| P-11                     | 29,3              | 4,5 | 30,7                    | 33,7        | 29,2                    | 5,5                                       |
| P-89                     | 32,4              | 4,9 | 25,8                    | 18,3        | 16,4                    | 2,0                                       |
| P-L1                     | 28,6              | 4,7 | 33,4                    | 18,5        | 16,1                    | 3,0                                       |
| P-L2                     | 28,7              | 4,5 | 50,5                    | 21,9        | 19,3                    | 3,0                                       |
| Período Chuvoso (fev/03) |                   |     |                         |             |                         |                                           |
| AB                       | 26,4              | 4,4 | 24,3                    | 6,8         | 6,3                     | 0,5                                       |
| P-4                      | 26,3              | 4,7 | 40,7                    | 10,5        | 9,9                     | 0,5                                       |
| P-6                      | 25,9              | 4,9 | 10,9                    | 8,9         | 8,3                     | 0,5                                       |
| P-11                     | 27,2              | 4,8 | 19,5                    | 10,3        | 8,8                     | 2,0                                       |
| P-89                     | 27,2              | 5,0 | 27,0                    | 10,6        | 9,3                     | 1,7                                       |
| P-L1                     | 26,6              | 4,8 | 31,2                    | 8,8         | 8,2                     | 0,5                                       |
| P-L2                     | 27,7              | 4,8 | 26,0                    | 9,1         | 7,9                     | 1,5                                       |

nd – não detectado

STD – sólidos totais dissolvidos



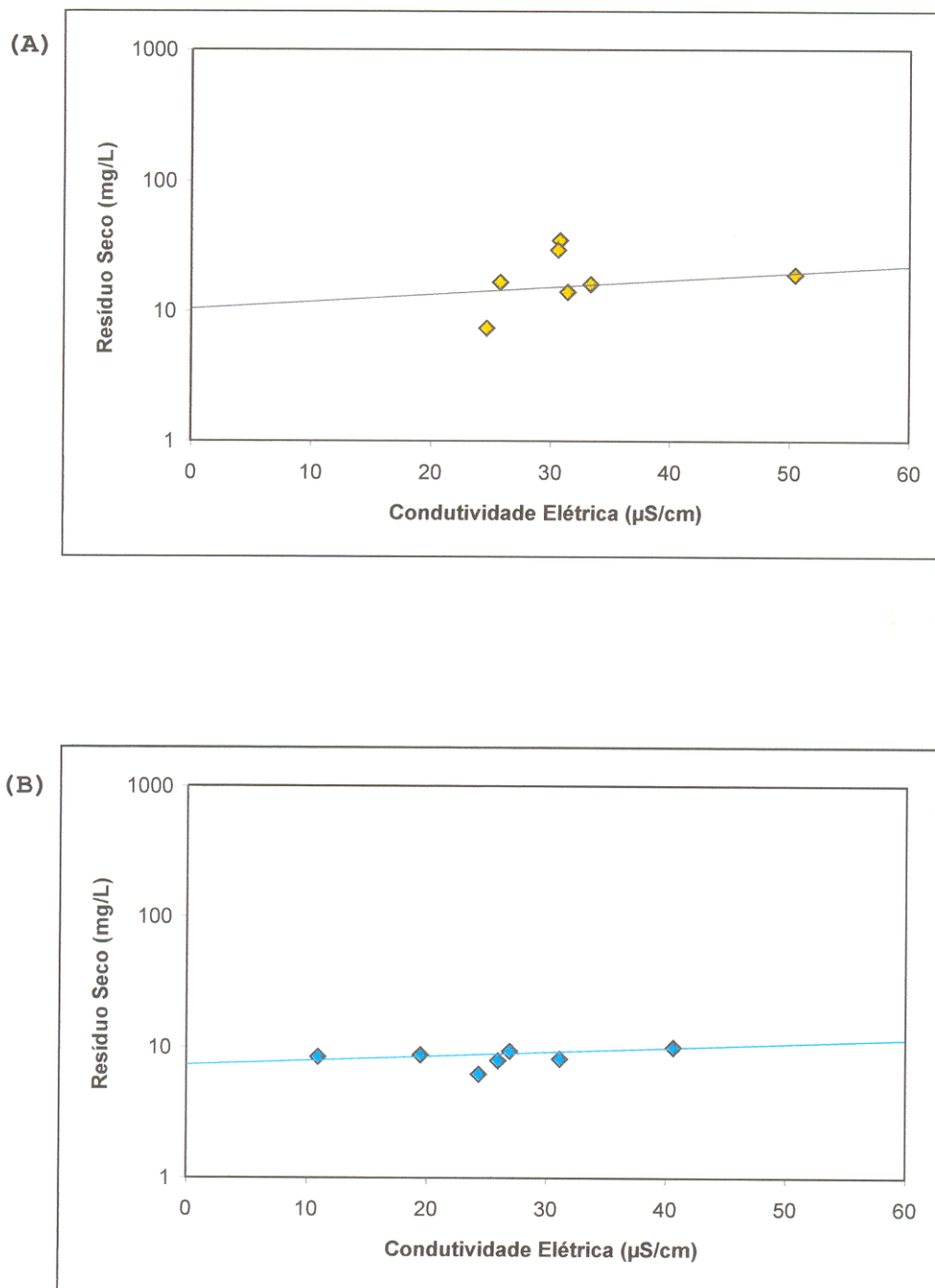


Figura 6.15 - Gráficos representativos da correlação entre resíduo seco e condutividade elétrica para os períodos seco (A) e chuvoso (B) das águas subterrâneas.

O cálcio é o cátion de maior concentração no período seco, com média de 3,9 mg/L, em relação ao sódio que apresentou uma média de 2,87 mg/L. No período chuvoso a concentração do íon sódio é mais elevada (média de 1,87 mg/L) quando comparado ao cálcio que apresentou média de 0,38 mg/L.

Observa-se que os teores de cálcio são bastante discrepantes quando compara-se as médias de concentrações nos períodos sazonais analisados, sendo que no período seco as águas chegam a ser quase dez vezes mais concentradas neste íon que no período chuvoso. Este fato pode estar relacionado à utilização de corretivos no solo em decorrência das atividades agrícolas.

O sódio apresenta teores mais elevados com exceção do período seco, em que o cálcio é predominante, o que pode ter sido influenciado pelas águas de chuva, solo, ocorrência de lentes de argila no perfil geológico ou ainda pelas atividades agrícolas. No período seco, as concentrações de sódio variaram de 1,5 mg/L a 4,2 mg/L (média de 2,87 mg/L), enquanto no período chuvoso os valores variaram de 1,5 mg/L a 2,8 mg/L (média de 1,87 mg/L).

O cloreto é o ânion mais abundante nos períodos sazonais estudados, apresentando concentrações que variaram de 2,0 mg/L a 7,0 mg/L no período seco (média de 4,64 mg/L), e de 0,2 mg/L a 6,0 mg/L no período chuvoso (média de 3,81 mg/L).

O sulfato, no período seco, apresentou concentrações de 2,1 mg/L a 8,2 mg/L, com média de 3,57 mg/L. No período chuvoso as concentrações são bem menores que no período anterior, variando de 0,1 mg/L a 1,0 mg/L e média de 0,5 mg/L. Os teores são semelhantes aos encontrados por Lima & Kobayashi (1988), na região nordeste do Pará.

A presença do bicarbonato chega a ser bastante significativa no período seco, principalmente com relação a amostra P-6 que chega a uma concentração de 12,4 mg/L. Entretanto, as concentrações no geral são concordantes com os valores de condutividade elétrica. No período chuvoso as concentrações são menores variando de 0,6 mg/L a 2,4 mg/L.

### 6.3.3.1- Relações Iônicas

Neste trabalho algumas relações foram determinadas nas águas subterrâneas e calculadas a partir das Tabelas 6.10 e 6.11. Os valores obtidos nas relações estudadas são apresentados na Tabela 6.12.

A ordem de predominância dos cátions nos períodos seco são  $rCa > rNa > rMg > rK$  e no período chuvoso  $rNa > rCa > rMg > rK$ . Para os ânions no período seco, a ordem de predominância é  $rSO_4 > rCl > rHCO_3$  e para o período chuvoso é  $rCl > rSO_4 > rHCO_3$ .

Nas águas dos poços e nascente os valores das relações  $rCl/rNa$  e  $rCl/(rNa+rK)$  estão próximas de 1, semelhantes aos encontrados por Souza (1996), indicando influência da água da chuva de origem oceânica. Os diagramas da Figura 6.16 apresentam as relações  $rCl/rNa$  (A) e  $rCl/(rNa+rK)$  (B) nos períodos seco e chuvoso.

Apesar de ser apresentada apenas uma amostra de água da chuva para cada período analisado, os valores obtidos assemelham-se aos encontrados em outras áreas do nordeste paraense (Amorim, 2000).

As relações  $rHCO_3/rCa < 1$  e  $rHCO_3/(rCa+rMg) < 1$  não são significativas em virtude da baixa alcalinidade destas águas e as baixas concentrações de sódio em relação ao cálcio (período seco). Os pontos nos diagramas (Figura 6.17 A e B) que representam as relações  $rHCO_3/rCa$  e  $rHCO_3/(rCa+rMg)$ , estão relativamente afastados das retas  $rHCO_3=rCa$  e  $rHCO_3=(rCa+rMg)$ , indicando uma baixa correlação entre os íons  $Ca$  e  $HCO_3$ . Águas com boa relação entre  $Ca$  e  $HCO_3$ , foram identificadas em áreas de domínio de rocha carbonática e os pontos plotados ficaram próximos à reta de isovalores (Souza, 1996).

O diagrama das concentrações dos constituintes químicos analisados nas águas da chuva, igarapé, nascente e poços, mostra a evolução da composição química nos diferentes tipos de águas (Figura 6.18), principalmente no período seco, dos íons  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$  e  $SO_4^{-2}$ .

No período chuvoso já não se observa uma evolução coerente como ocorre no primeiro período analisado. As diferenças mais marcantes estão nas concentrações dos ânions principais nas águas superficiais e subterrâneas. O sulfato no período seco

apresenta maiores concentrações em relação ao cloreto para todas as águas analisadas, com exceção das águas subterrâneas, que independente do período analisado é mais elevado que o sulfato.

Observa-se uma predominância do cálcio nas águas subterrâneas e do sódio nas águas superficiais no período de maior estiagem. No período chuvoso o sódio apresenta maiores concentrações em relação ao cálcio para as águas analisadas.

Essas diferenças marcantes na troca das predominâncias dos íons principais nos diferentes períodos analisados podem estar relacionadas à influências das águas de chuva, pelas atividades agrícolas, presença de ácidos húmicos e o solo (Lima & Kobayashi, 1988).

Tabela 6.12 – Relações iônicas dos principais constituintes químicos analisados em águas subterrâneas.

|                          | Amostras | Cl/(Na+K) | HCO <sub>3</sub> /Ca | HCO <sub>3</sub> /(Ca+Mg) | Cl/Na |
|--------------------------|----------|-----------|----------------------|---------------------------|-------|
| Período Seco (nov/02)    | AB       | 0,84      | -                    | -                         | 0,88  |
|                          | P-4      | 1,33      | 0,29                 | 0,23                      | 1,39  |
|                          | P-6      | 0,52      | 0,43                 | 0,35                      | 0,62  |
|                          | P-11     | 0,90      | 0,34                 | 0,27                      | 1,09  |
|                          | P-89     | 0,81      | 0,21                 | 0,18                      | 0,91  |
|                          | P-L1     | 1,20      | 0,52                 | 0,38                      | 1,31  |
|                          | P-L2     | 1,24      | 0,92                 | 0,35                      | 1,50  |
|                          | Média    | 0,98      | 0,45                 | 0,29                      | 1,10  |
| Período Chuvoso (fev/03) | AB       | 1,22      | 0,66                 | 0,31                      | 1,31  |
|                          | P-4      | 1,38      | 0,66                 | 0,42                      | 1,41  |
|                          | P-6      | 1,59      | 0,66                 | 0,25                      | 1,97  |
|                          | P-11     | 1,26      | 1,31                 | 0,72                      | 1,38  |
|                          | P-89     | 1,20      | 1,72                 | 0,94                      | 1,38  |
|                          | P-L1     | 1,24      | 0,49                 | 0,22                      | 1,31  |
|                          | P-L2     | 1,51      | 1,48                 | 0,80                      | 1,75  |
|                          | Média    | 1,34      | 1,00                 | 0,52                      | 1,50  |



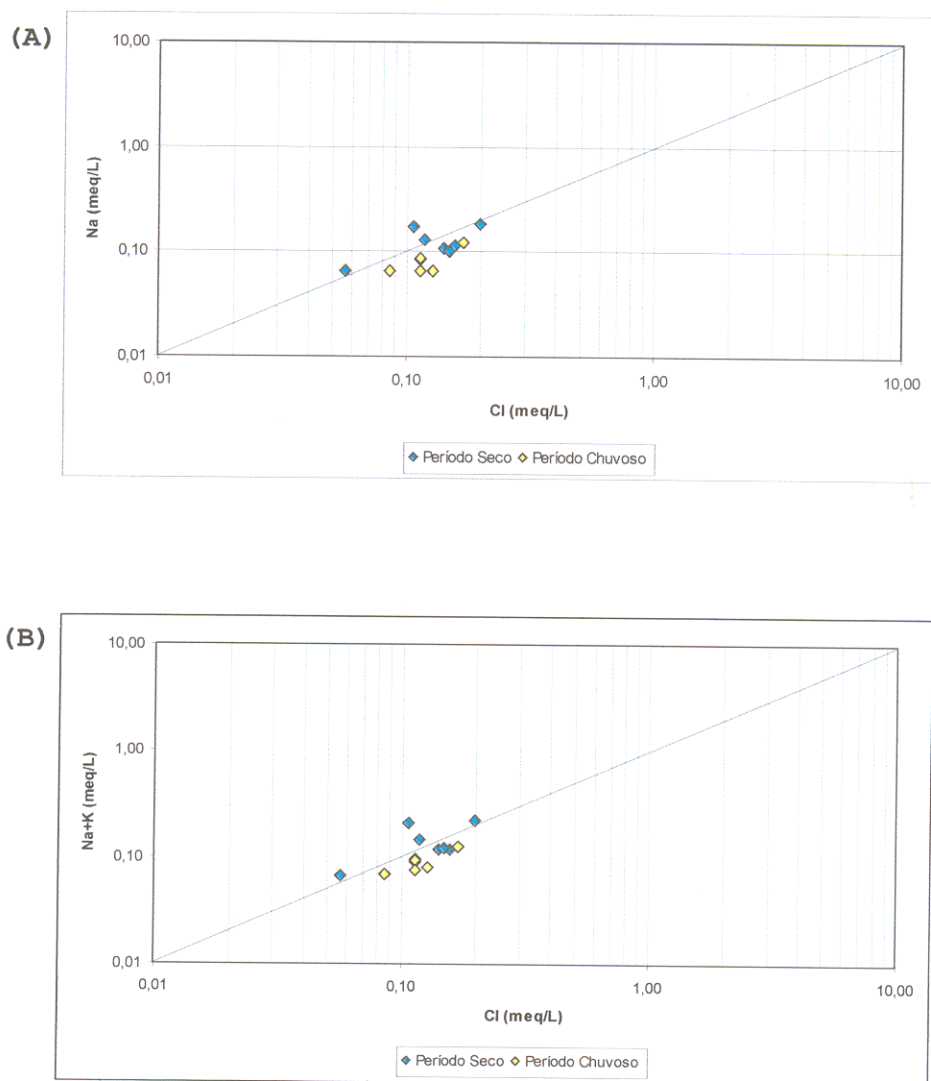


Figura 6.16 - Diagramas lineares das relações (A)  $Cl/Na$  e (B)  $Cl/(Na+K)$  para as águas subterrâneas, nos períodos seco (nov/02) e chuvoso (fev/03).

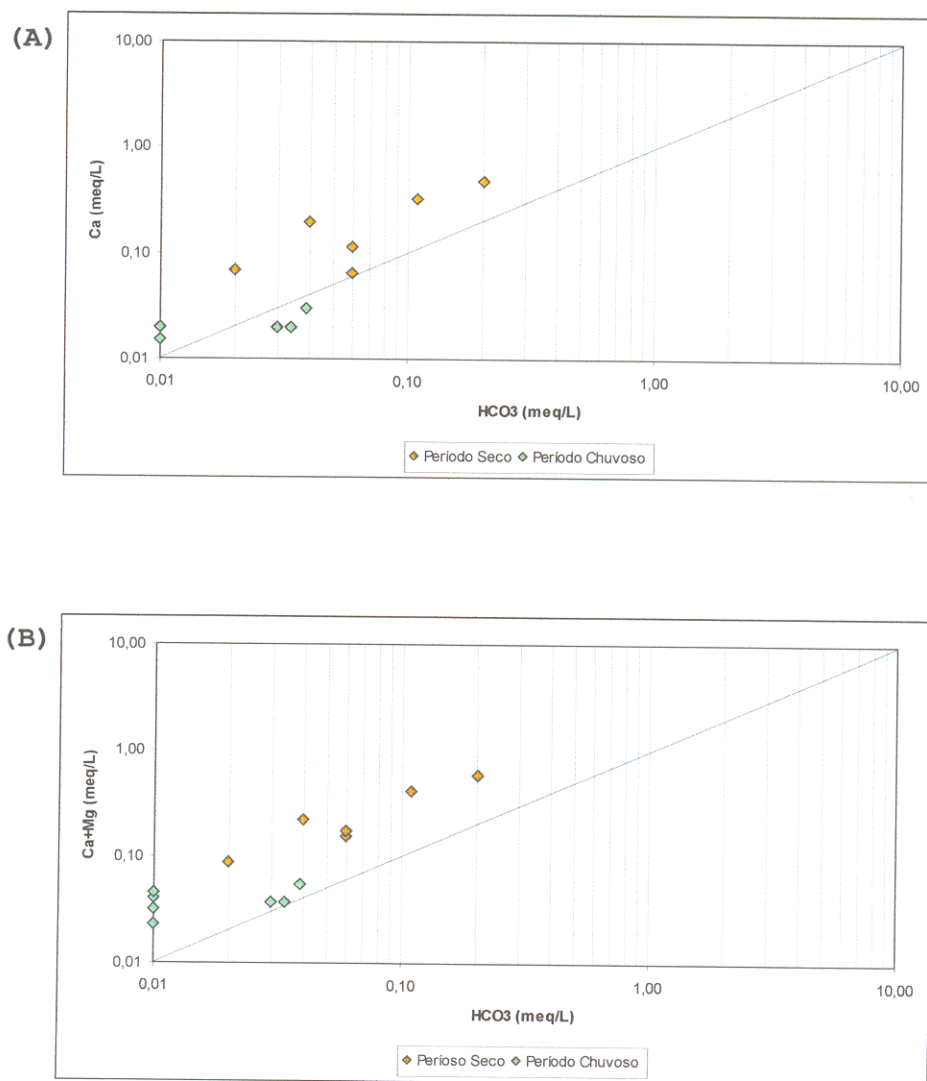


Figura 6.17 - Diagramas lineares das relações (A)  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$  e (B)  $\text{HCO}_3/(\text{Ca}+\text{Mg})$  para as águas subterrâneas, nos períodos seco (nov/02) e chuvoso (fev/03).

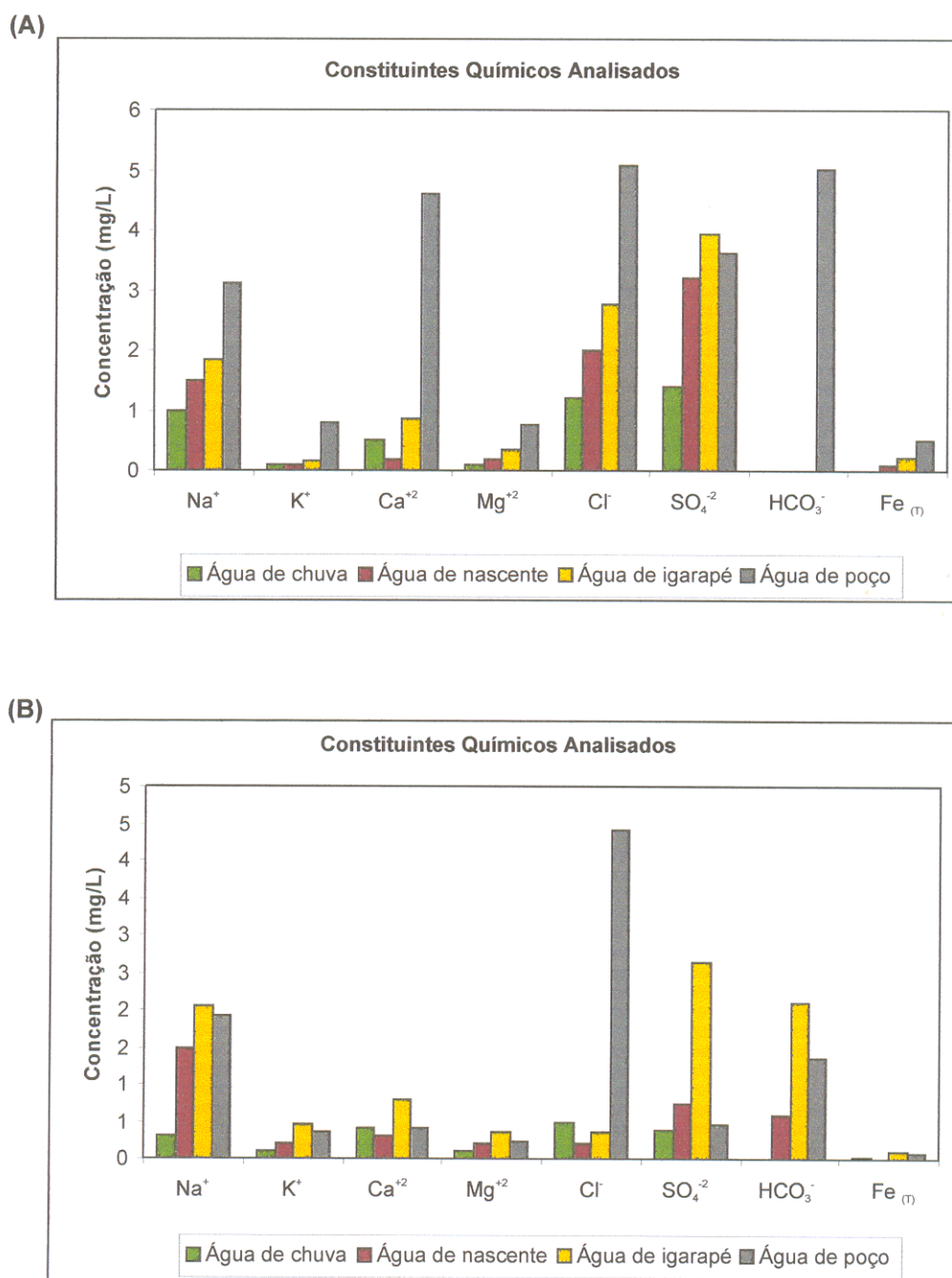


Figura 6.18 - Concentrações dos constituintes químicos principais analisados em águas de chuva, nascente, igarapé e poço, na microbacia do Cumaru, representativos dos períodos seco (A) e chuvoso (B)..

### 6.3.3.2- Classificação das Águas

Para um único sistema aquífero é possível determinar mais de um tipo hidroquímico de água, devido principalmente às variações litológicas que constituem este aquífero.

Utilizando-se o diagrama de Piper (Piper, 1944), que tem por princípio o cruzamento das quantidades percentuais dos teores em miliequivalente grama por litro (meq/L), dos cátions e ânions principais, determinou-se os tipos predominantes de águas subterrâneas, referentes aos períodos seco e chuvoso, apresentados na Figura 6.19 (A) e (B), respectivamente.

As concentrações expressas em miliequivalente grama por litro também foram plotadas em diagrama semi-logarítmico de Schöeller (Schöeller, 1962), e são apresentados na Figura 6.20, para os períodos seco (A) e chuvoso (B).

Com base neste critério de classificação, pode-se determinar que as águas subterrâneas no período seco são dos tipos cloretadas à sulfatadas para os ânions, e sódicas à cálcicas para os cátions. No período chuvoso encontra-se águas predominantemente cloretadas para os ânions e sódicas para os cátions.

Os tipos de águas determinados são semelhantes aos encontrados por Souza (1996), onde predominam águas do tipo cloretada sódica na maior parte das águas da zona saprolítica da serra do Piriá e por Amorim (2000) na cidade de Bragança, nordeste do Pará. No estudo desenvolvido por Tancredi et al. (1986) na Ilha do Marajó, os tipos de águas predominantes também são sódio-cloretadas. Os diagramas de Piper e Shöeller mostram claramente esta predominância de águas cloretadas sódicas, no período chuvoso.

As concentrações de cálcio, mais elevadas no período seco, podem estar relacionadas à atividade agrícola desenvolvida na área. Em áreas onde não é aplicada adubação e com geologia semelhante à da área de estudo, normalmente a classificação da água é sódio-cloretada e não varia com a sazonalidade.



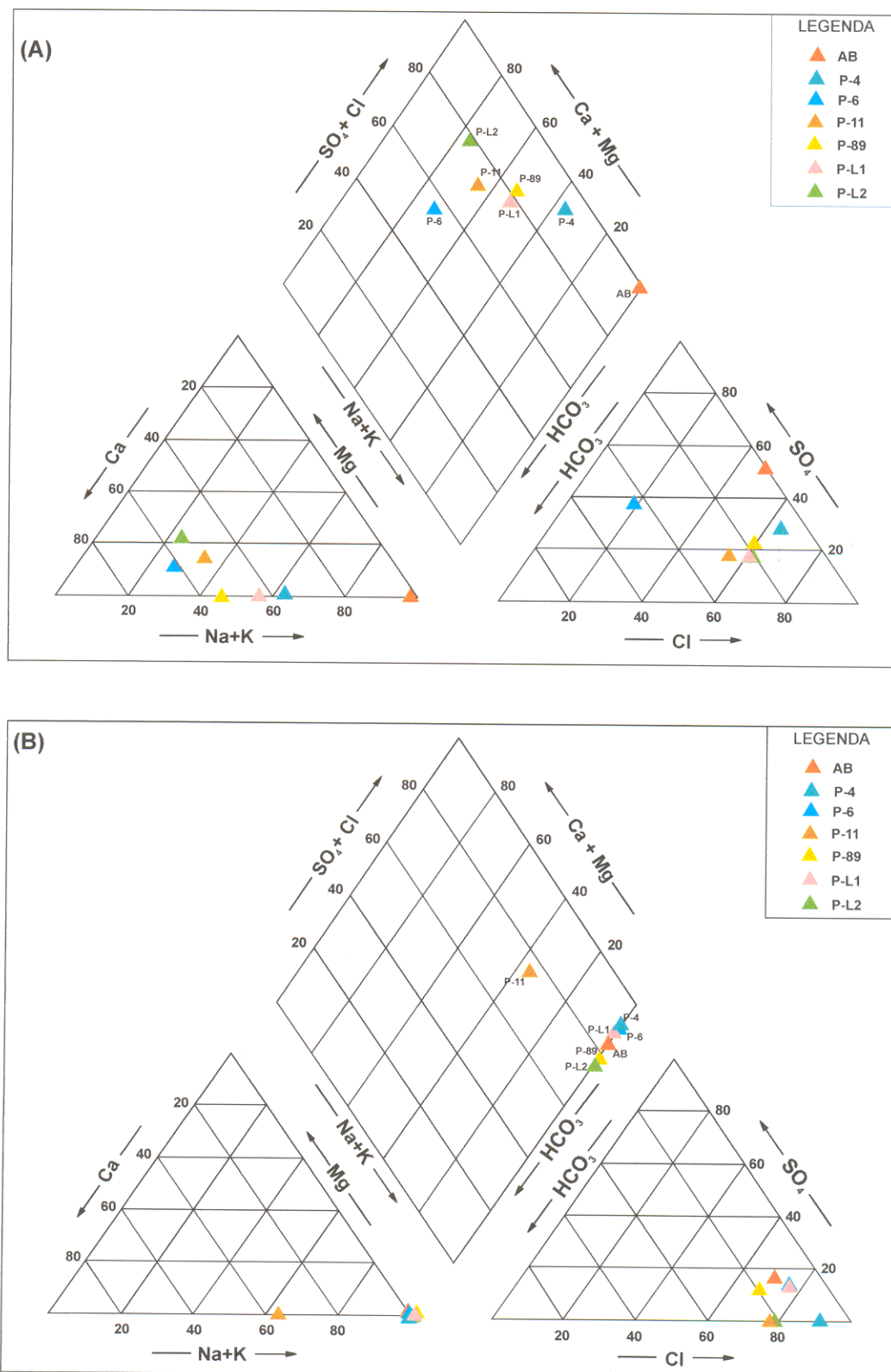


Figura 6.19 - Diagrama trilinear de Piper (Piper, 1944) de amostras de águas subterrâneas, representativas do período seco (A) e chuvoso (B).

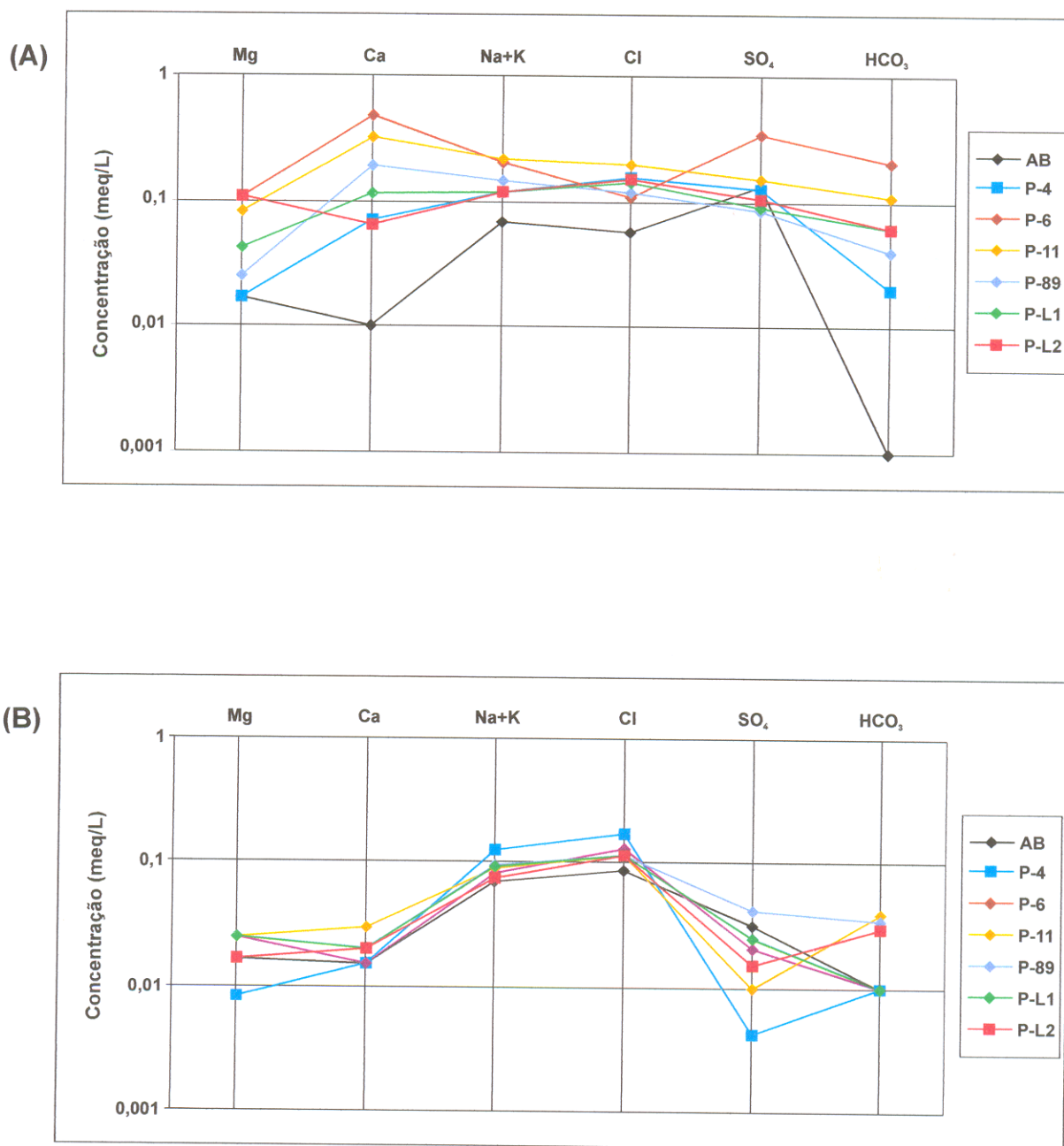


Figura 6.20 - Diagramas de Shöeller modificado (Shöeller, 1962), de amostras de água subterrânea, para os períodos seco (A) e chuvoso (B).

#### 6.3.4- Qualidade das Águas

Para determinação da qualidade das águas superficiais, foram observados os valores máximos determinados pela Resolução nº 20/86 do CONAMA (Brasil, 1986), enquanto para as águas subterrâneas foram seguidos os padrões determinados pelo Ministério da Saúde através da Portaria nº 1.469/00 (Brasil, 2000), que estabelece os procedimentos e responsabilidades relacionadas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A Tabela 6.13 apresenta os valores máximos determinados para os principais parâmetros analisados nas águas superficiais e subterrâneas e comparados com os valores máximos permissíveis de acordo com os padrões de referência do CONAMA e da Portaria nº 1.469/2000.

De acordo com a Resolução nº 20/86 as águas do igarapé Cumaru podem ser classificadas como águas de classe 2.

A partir dos dados obtidos observa-se que os valores apresentados tanto para as águas superficiais quanto subterrâneas estão bem abaixo dos valores indicados pelos padrões de potabilidade, com exceção apenas do pH levemente ácido e da concentração de ferro total nas águas subterrâneas onde foram obtidos valores de até 0,8 mg/L.

Entretanto, estas águas podem ser consideradas de boa qualidade e adequadas ao consumo humano, já que apesar do ferro apresentar-se pouco acima do recomendado, isto não implica em risco à saúde humana. As implicações neste caso são efeitos organolépticos e estéticos.

Tabela 6.13 - Valores máximos obtidos para os principais constituintes analisados nas águas subterrâneas e superficiais e o padrão de potabilidade.

| Parâmetro        | Unidade                   | Valor Máximo     |                  | Padrão de potabilidade da Portaria 1.469/00 | Resolução nº 20/86 do CONAMA |
|------------------|---------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------|------------------------------|
|                  |                           | Água superficial | Água subterrânea |                                             |                              |
| Temperatura      | °C                        | 32,4             | 26,5             |                                             |                              |
| pH               |                           | 5,3              | 5,7              | 6,0 – 9,5                                   | 6,0 – 9,0                    |
| Cond. Elétrica   | µS/cm                     | 50,5             | 24,6             |                                             |                              |
| Alcalinidade     | mg/L de CaCO <sub>3</sub> | 10,2             | nd               |                                             |                              |
| Na               | mg/L                      | 4,2              | 2,0              | 200                                         |                              |
| K                | mg/L                      | 1,5              | 0,2              |                                             |                              |
| Ca               | mg/L                      | 9,5              | 1,2              |                                             |                              |
| Mg               | mg/L                      | 1,3              | 0,4              |                                             |                              |
| Fe Total         | mg/L                      | 0,8              | 0,3              | 0,3                                         | 0,3                          |
| Cl               | mg/L                      | 7,0              | 2,9              | 250                                         | 250                          |
| SO <sub>4</sub>  | mg/L                      | 8,2              | 4,4              | 250                                         | 250                          |
| HCO <sub>3</sub> | mg/L                      | 12,4             | nd               |                                             |                              |
| STD              | mg/L                      | 43,3             | 13,4             | 1000                                        | 500                          |



#### 6.4- ANÁLISE CROMATOGRÁFICA

Os resultados indicam que nas águas superficiais e subterrâneas analisadas a presença do pesticida dimetoato apresentou-se abaixo do limite de detecção do aparelho, sendo que sem exceção, os resultados indicam valores  $< 0,01$  mg/L. Entretanto, é possível que a metodologia aplicada não tenha sido a mais adequada para avaliar o nível de contaminação deste pesticida.

O estudo relacionado à contaminação por pesticidas nos recursos hídricos da região nordeste do Pará estão apenas dando um primeiro passo, e muito ainda deve ser feito, em virtude da dificuldade em se avaliar o risco de contaminação destes produtos, devido aos inúmeros processos envolvidos nessa dinâmica.

Apesar dos resultados apresentados serem satisfatórios, deve-se levar em consideração o consumo excessivo de agroquímicos pelos agricultores da microbacia do Cumaru.

Um poluente após atingir o solo pode passar por uma gama variada de reações químicas, bioquímicas, fotoquímicas e interrelações físicas com os constituintes do solo antes de atingir os mananciais subterrâneos, podendo neutralizar, modificar ou retardar a ação do contaminante. No caso do dimetoato, pode ocorrer a degradação para o dimetoxon que é 75 a 100 vezes mais tóxico (Poluição..., 2003).

No trabalho desenvolvido por Alexandre (1995) no município de Louveira (SP), as águas analisadas indicaram forte influência de compostos fertilizantes, principalmente da presença excessiva de cobre derivado de pesticidas. Talvez uma investigação em períodos sazonais de outros compostos seja mais significativa, principalmente com relação a presença de metais derivados dos pesticidas.

Portanto, uma investigação mais apurada, envolvendo os pesticidas mais tóxicos utilizados na região e a presença de metais derivados destes compostos, com metodologias mais adequadas, que tenham um limite de detecção mais avançado e com tecnologias que permitam a obtenção de maiores níveis de recuperação seriam de grande valia em virtude do uso de agroquímicos nesta região.

Os resultados das análises são apresentados na Tabela 6.15

Tabela 6.14 - Resultado da análise cromatográfica para o pesticida dimetoato, em amostras de águas subterrâneas e superficiais.

| AMOSTRA          | PARÂMETRO | RESULTADO (mg/L) |
|------------------|-----------|------------------|
| AB               | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| AB - Duplicata   |           | <0,01 (*)        |
| AI-1             | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| AI-1 - Duplicata |           | <0,01 (*)        |
| AI-2             | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| AI-2 - Duplicata |           | <0,01 (*)        |
| P-4              | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| P-4 - Duplicata  |           | <0,01 (*)        |
| P-6              | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| P-6 - Duplicata  |           | <0,01 (*)        |
| P-11             | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| P-11 - Duplicata |           | <0,01 (*)        |
| P-89             | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| P-89 - Duplicata |           | <0,01 (*)        |
| P-L1             | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| P-L1 - Duplicata |           | <0,01 (*)        |
| P-L2             | Dimetoato | <0,01 (*)        |
| P-L2 - Duplicata |           | <0,01 (*)        |

(\*) – Limite de Quantificação 0,01 mg/L

## 7- CONCLUSÕES

A caracterização hidrogeológica dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais da microbacia do Cumaru, Igarapé-Açu, possibilitaram avaliar as condições hidrogeológicas do aquífero livre.

A microbacia do Cumaru tem uma superfície de aproximadamente 16 Km<sup>2</sup>, apresentando clima equatorial úmido, onde o total médio de precipitação pluviométrica anual é de 2.526,3 mm. O balanço hídrico realizado indicou um excesso de água no período de janeiro a julho, que deve representar a recarga de água subterrânea para o aquífero livre. O total anual do excedente hídrico é de 1.128 mm.

O aquífero livre é constituído por sedimentos predominantemente arenosos quaternários, areno-siltosos e com algumas intercalações de lentes argilosas, com distribuição em toda a área. Tem uma espessura estimada em 12 m.

Os parâmetros hidrodinâmicos determinados mostram, relativamente, uma elevada produtividade deste aquífero refletido na condutividade hidráulica de 28,9 m/dia e transmissividade de 347 m<sup>2</sup>/dia, determinadas através de teste de bombeamento. Através da análise granulométrica dos sedimentos arenosos a condutividade hidráulica obtida foi de 27,9 m/dia.

As curvas equipotenciais apresentam relação direta com a topografia do terreno e com a pluviometria, através da variação sazonal. O sentido geral do fluxo subterrâneo é de norte para sul e de noroeste para sudeste, em direção ao igarapé Cumaru, principal exutório da área.

A reserva reguladora calculada para a microbacia do Cumaru é de 8,35 milhões de m<sup>3</sup>, que representa 20% da precipitação pluviométrica da área de estudo.

As águas superficiais têm características hidroquímicas semelhantes às de outros rios e igarapés do nordeste paraense e da bacia Amazônica. São águas ácidas ( $\text{pH} < 5$ ), pobres em sais ( $\text{STD} < 14 \text{ mg/L}$ ) e condutividade elétrica média de  $19 \mu\text{S/cm}$ .

Predominam águas do tipo sódica para os cátions e para os ânions há predominância de águas do tipo sulfatadas. Os constituintes iônicos mostram uma relação  $r\text{Na} > r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{K}$  e  $r\text{SO}_4 > r\text{Cl} > r\text{HCO}_3$ . Os íons predominantes são o sódio e o sulfato, e através das relações  $r\text{Cl}/r\text{Na}$  e  $r\text{Cl}/r(\text{Na}+\text{K}) \cong 1$  é possível perceber a influência das águas de precipitação pluviométrica na composição química das águas superficiais investigadas. Os baixos valores obtidos nas relações  $r\text{HCO}_3/r\text{Ca}$  e  $r\text{HCO}_3/(r\text{Ca}+r\text{Mg})$  concordam com a pobreza em sais nestas águas, principalmente em relação ao cálcio e magnésio.

No geral, são águas de boa qualidade, apresentando valores máximos dos constituintes bem abaixo dos valores estabelecidos pelo padrão de potabilidade considerado, excetuando-se seu caráter levemente ácido, sendo classificadas como águas de classe 2, de acordo com a Resolução nº 20/86.

As águas subterrâneas da microbacia do Cumaru, apresentam caráter ácido ( $\text{pH} < 6$ ) e pobreza em sais ( $\text{STD} < 44 \text{ mg/L}$ ), o que contribuiu para a baixa condutividade elétrica que no período seco apresentou uma média de  $30 \mu\text{S/cm}$ .

Os valores de resíduo seco (média de  $13,6 \text{ mg/L}$ ) são correlacionáveis com a condutividade elétrica e STD, comprovando a relação direta entre estes parâmetros. Os baixos valores de alcalinidade são compatíveis com o baixo pH.

O ferro total apresentou valores baixos, com média de  $0,3 \text{ mg/L}$ , entretanto no período seco 5 dos 6 poços analisados obtiveram valores entre  $0,4 - 0,8 \text{ mg/L}$ .

Os cátions predominantes são o cálcio no período seco e o sódio no período chuvoso, apresentando ordem de predominância ( $r\text{Ca} > r\text{Na} > r\text{Mg} > r\text{K}$ ) e ( $r\text{Na} > r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{K}$ ), respectivamente.



Os ânions de maiores concentrações são o cloreto no período chuvoso ( $rCl > rSO_4 > rHCO_3$ ) e o sulfato ( $rSO_4 > rCl > rHCO_3$ ) para o período seco. As relações  $rCl/rNa$  e  $rCl/(rNa+K) \cong 1$  indicam influência da água da chuva de origem oceânica. As relações  $rHCO_3/rCa$  e  $rHCO_3/(rCa+rMg) < 1$  não são significativas em virtude da baixa alcalinidade destas águas.

São classificadas como águas do tipo cloretadas para os ânions e para os cátions são predominantemente sódicas.

As águas que apresentam concentração de cálcio (P-6, P-11 e P-89) maior que o sódio, podem ter sido influenciadas pelas atividades agrícolas da área.

As águas subterrâneas aqui estudadas possuem boa qualidade, estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente no país, com exceção do pH ácido e do teor de ferro (Portaria nº 1.469/2000), que não implicam em risco à saúde humana.

Os resultados das análises do pesticida dimetoato, nas águas subterrâneas e superficiais, apresentaram-se todos abaixo do limite de detecção do método ( $< 0,01$  mg/L).

Recomenda-se o monitoramento dos pesticidas altamente tóxicos que são utilizados em outros tipos de plantio, como é o caso da pimenta-do-reino e apresentar alternativas de manejo das culturas para a redução da utilização de agroquímicos, além do monitoramento dos parâmetros que envolvem o ecossistema da microbacia do Cumaru, a fim de favorecer a preservação dos mananciais subterrâneos e superficiais da possível contaminação por agrotóxicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. de.; VILLAS, R.N.; HASUI, Y. 1980. Esboço Estratigráfico do Precambriano da Região do Gurupi, Estados do Pará e Maranhão. In: CONG. BRAS. GEOL., 31., Camboriú. *Anais...* SBG: v.2, p. 647-659.
- ACKERMANN, F.L. 1964. *Geologia e fisiografia da Região Bragantina, Estado do Pará*. Manaus. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 90p. (Cadernos da Amazônia, 2).
- ACKERMANN, F.L. 1969. *Esboço para a geologia entre as cidades de Belém – Rio Gurupi e Atlântico – Rio Guamá*. Belém, Imprensa Universitária – UFPA, 90p.
- ACKERMANN, F.L. 1976. *A Formação Pirabas sua evolução e interpretação*. Belém: [s. n.]. 86p.
- ALEXANDRE, G.A.L. 1995. Contribuição ao estudo do comportamento geoquímico do As, Cu, Pb, e Zn, originários de pesticidas agrícolas, nas zonas não saturada e saturada em área urbana e agrícola do município de Louveira (SP). São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 158p. (Tese de Doutorado).
- ALMARAZ, J.S. 1979. *Aspectos geoquímicos e ambientais do calcário da Formação Pirabas – Estado do Pará*. UFRS. 198p. (Tese de Doutorado).
- ALMARAZ, J.S. & FORMOSO, M.L. 1971. Contribuição ao ambiente da Formação Pirabas – Mineralogia de argilas. In: CONG. BRAS. GEOL., 25., São Paulo. 1971. *Anais...* São Paulo, SBG: v.2, p. 247-265.
- ALMEIDA, F.W. 1984. Perigos e Precauções na Utilização de Agrotóxicos. *Revista da Organização Mundial de Saúde*. Disponível em: <<http://www.insite.com.br/bio/wfalmeida/agro1.htm>>. Acesso em: 15 set. 2002.

- AMARAL, C.M.L. 2001. *Agricultura e riesgo ambiental en las microcuencas del Cumaru y Caripi en la Amazonía Brasileña: efectos del uso de los agroquímicos*. Turrialba, Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza. 92p. (Dissertação de Mestrado).
- AMORIM, H.S. 2000. *Caracterização geoquímica e avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aquífero freático da cidade de Bragança, Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 84 p. (Dissertação de Mestrado).
- APHA. 1980. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 15 ed. New York. 1045 p.
- ARANTES, J.K. 2001. *Comentários em relação aos parágrafos dos sites relativos ao tema "agrotóxicos", considerados interessantes e importantes*. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/julianaa.htm>>. Acesso em: 20 set. 2001.
- BASTOS, T.X. & PACHECO, N.A. 1999. *Anuário climatológico do município de Igarapé-Açu 1999*, Belém: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL/CNPq, 30 p.
- BASTOS, T.X. & PACHECO, N.A. 2000. *Características Agroclimatológicas do Município de Igarapé-Açu*. In: Seminário sobre manejo da vegetação secundária para a sustentabilidade da agricultura familiar da Amazônia Oriental, 1999, Belém, PA. *Anais...*, Belém: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL/CNPq, 2000. p. 51-58 (Embrapa Amazônia Oriental: Documentos, 69).
- BRASIL. CONAMA. Resolução CONAMA nº20 de 18 de junho de 1986 - Resolução CONAMA –1984/86. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, DF, 30 jul. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2001.

BRASIL. Lei Federal nº 7.802 de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.1989. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/7802-89.htm>>. Acesso em: 9 abr. 2002.

BRASIL. Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF nº 38-E de 22 fev. 2001, Seção 1, p.39. Disponível em: <[http://www.dtr2001.saude.gov.br/svs/amb/pdfs/portaria\\_14\\_69.pdf](http://www.dtr2001.saude.gov.br/svs/amb/pdfs/portaria_14_69.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2001.

BRASIL. Ministério da Educação. *Diagnóstico Sócio Econômico-cultural da comunidade de Açaiteua Município de Igarapé-Açu*. 1999. FCAP/Unidade de Apoio à Extensão. Plano de Educação Profissional/Programa Agroindústria Familiar/Convênio SETPS/FCAP, 31p.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico químicos da água. *Química Nova*, 23(5): 618-622. Disponível em: <<http://www.sbq.org.br/publicacoes/quimicanova/qnol/2000/vol23n5/08.pdf>>. Acesso em: 7 jan. 2003

CAVALCANTE, I.N. & SABADIA, J.A.B. 1992. Potencial Hídrico Subterrâneo: um bem mineral vital ameaçado pela poluição antrópica. *Revista de Geologia*, 5: 115-124.

CETESB 1977. *Guia técnico de coleta de amostras de águas*. Coordenadores: Souza, H.B. & Derísio, J.C. São Paulo. 257p.



- CETESB 1978. *Análises físico-químicas de águas*. Normalização Técnica, saneamento ambiental – NT 07. São Paulo.
- CORTEZ, C.M.B.; TAGLIARINI, E.M.; TANCREDI, A.C.F.N.S. 2000. Utilização de Águas Minerais dos Aqüíferos do Grupo Barreiras na Região de Belém (PA). In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1. Fortaleza-CE. 1 CD-ROM.
- COSTA, J.L; ARAÚJO, A.A.F.; VILLAS BOAS, J.M.; FARIA, C.A.S.; NETO, C.S.S. 1977. *Projeto Gurupi*: relatório final. Belém, DNPM/CPRM. v.1, 258p.
- CPRM. 1998. *Castanhal*: Folha SA.23-V-C. Estado do Pará – Escala 1:250.000. Programa Grande Carajás. Belém-PA. (Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. 1976. *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona: Ed. Omega. v.2.
- DIMETHOATE. 1991. Disponível em: <<http://www.hc-sc.gc.ca>>. Acesso em: 08 jul. 2002.
- DORES, E.F.G.C. & DE-LAMONICA-FREIRE, E.M. 2001. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – Análise Preliminar. *Química Nova*, 24 (1): 27-36, 2001. Disponível em: <<http://www.sbq.org.br/publicacoes/quimicanova/qnol/2001/vol24n1/06.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2003.
- EMBRAPA. 2001. Impacto Ambiental das Atividades Agrícolas. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/cana/espec.htm>>. Acesso em: 18 abr. 2001.
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. 1997. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE. 389 p.

- FENZL, N. 1988. *Introdução à hidrogeoquímica*. Belém, Universidade Federal do Pará. 189 p.
- FERREIRA, C.S. 1982. Notas estratigráficas sobre o cenozóico marinho do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém. 1982. *Anais...*, Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo – Norte. p. 84-88.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc. New Jersey, EUA. 640p.
- GASPAR, M.T.P. 2001. *Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém-PA*. 112p. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 2001. (Dissertação de Mestrado).
- GIBBS, R.J. 1972. Water chemistry of the Amazon River. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36: 1061-1066.
- GODOT, J.M.; HIERONYMUS, B.; KOTSCHOUBEY, B.; BOULEGUE, J. 1990. Influência do substrato geológico e dos processos de alteração na composição das águas de alguns rios e ribeirões entre Belém e Imperatriz (Estados do Pará e Maranhão). In: CONG. BRAS. GEOL., 36., Natal, 1990. *Anais...* SBG: v.3, p. 889-896.
- GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos Sedimentos Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 31., Camboriú, 1980. *Anais...* SBG: v.2, p. 766-771.
- HEATH, R.C. 1995. *Basic Ground-Water Hydrology*. U.S. Geological Survey, Information Services. 84p.
- JUNK, W.J. & FURCH, K. 1980. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. *Acta Amazônica* 10(3): 611-633.

- KANASHIRO, M. & DENICH, M. 1998. *Possibilidades de Utilização e Manejo Adequado de Áreas Alteradas e Abandonadas na Amazônia Brasileira: Estudo dos Impactos Humanos nas Florestas e Áreas Inundadas nos Trópicos – SHIFT*. Brasília, DF: MCT/CNPq, p. 53-62.
- KEELER, E.A. 1996. *Environmental Geology*. 7.ed. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River. 560 p.
- LEENHEER, J.A. 1980. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon River Basin. *Acta Amazônica* 10(3): 513-526.
- LEVY, C. 1999. *Agrotóxico mata mais no país*. Disponível em: <http://www.estado.estadao.com.br>. Acesso em: 12 out. 2001.
- LIMA, L.M. 2003. *Estudo experimental da mobilidade do dimetoato em áreas de agricultura intensiva na bacia hidrográfica do igarapé Cumaru, Igarapé-Açu (PA)*. 81p. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado).
- LIMA, W.N. & KOBAYASHI, C.N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena, PA. *Geochim. Brasil*, 2(1): 53-71.
- MAURY, C.J. 1925. *Fósseis terciários do Brasil, com descrição de novas formas cretáceas*. Serv. Geol. Miner. do Brasil, 431p. (Monog. 4).
- MELETTI, L.M.M. & MATA, M.L. 1999. *Maracujá: produção e comercialização*. Campinas, SP. Instituto Agrônomo de Campinas, (*Boletim Técnico* nº 181). 64p.
- MELO JUNIOR, H.R.; WICKEL, A.J.; SÁ, T.D.A. 2001. Caracterização hidrogeológica e mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero livre na bacia hidrográfica do igarapé Cumaru, Igarapé-Açu-PA. In: CONG. BRAS. ÁGUA SUBTERRÂNEA, 12., Florianópolis. Anais... Florianópolis. 1 CD-ROM.

- MERTEN, G.H. & MINELLA, J.P. 2002. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.*, Porto Alegre, 3 (4): 33-38.
- MESTRINHO, S.S.P. 2000. *Geoquímica e contaminação de águas subterrâneas*. Salvador/BA. (Notas de Aula).
- OTOBÓ, A.O. *Caracterização de águas naturais sujeitas à influência da Formação Pirabas – (PA)*. Belém, Universidade Federal do Pará. 104 p. (Dissertação de Mestrado).
- PEREIRA, E.R.; OLIVEIRA, W.; TANCREDI, A.C.F.N.S. 1994. Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Belém. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém: *Boletim de Resumos Expandidos*. Belém. p.120-123.
- PETRI, S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 216(16): 1-79.
- PIPER, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Amer. Geophys. Union*. 25: 914-923.
- POLUIÇÃO da água subterrânea. 2003. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2003.
- QUÍMICA da água subterrânea. 2003. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2003.
- ROCHA, G.A. & JORBA, A.F. 1982. Manual de operação e manutenção de poços. 2ª ed São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica. 90p.



- ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W; GÓES, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. *Bol. Mus. Par. E. Goeldi*, Belém. 1(1): 25-74. (Série Ciência da Terra).
- SÁ, J.H. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina, Estado do Pará. *Bol. Geol.* 3: 21-36.
- SAUMA FILHO, M. 1996. *As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 128 p. (Dissertação de Mestrado).
- SCHULER, A. 1999. *Cromatografia*. (Notas de Aula).
- SEICOM. 1999. Mapa Geológico do Estado do Pará. Escala 1:2.000.000. 1 CD-ROM.
- SHÖELLER, H. 1962. *Les eaux souterraines*. Paris. Masson & Cie. 642p.
- SILVA, F.C.; MATOS, A.R.; CARVALHO, C.R.; CARDEAL, Z.L. 2003. *Avaliação da contaminação da Bacia do Rio das Velhas por agrotóxicos organofosforados*. Disponível em: <<http://www.sbg.org.br/ranteriores/23/resumos/0741-1>>. Acesso em: 25 mar. 2003.
- SIOLI, H. 1957. Valores de pH das águas amazônicas. *Bol. do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Nova série, Geologia, Belém, 1: 1-37.
- SOUZA, E.L. de. 1996. *Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região nordeste do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1996. 189 p. (Tese de Doutorado).
- SOUZA, J.C. & REIS, P.R. 1988. Defensivos Agrícolas: Precauções na Utilização e Manuseio. *Informe Agropecuário*, Belo-Horizonte, 14 (162): 70-77.

- STALLARD, R.F. 1980. *Major Element Geochemistry of the Amazon River System*. Woods Hole, MIT. 365p.. Woods Hole MIT. (Tese de Doutorado)
- STALLARD, R.F. & EDMOND, J.M. 1981. Geochemistry of the Amazon. 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolution load at the time of peak discharge. *Jour. Geophys. Res.* 86 (C10): 9844-9858.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. 1996. *Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém – Fundamentos para uso e proteção*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 154p. (Tese de Doutorado).
- TANCREDI, A.C.F.N.S.; LOBATO, J.R.B.; SERRA, V.H. 1986. Interpretação Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da Ilha do Marajó. *Acta Amazônica*, 16/17 (nº único): 293-316.
- THEIS, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Trans. Amer. Geophys. Union.* (2): 519-524.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. 1955. *The water balance*. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.