

UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DA CURVA DE RECESSÃO PARA O CÁLCULO DAS RESERVAS REGULADORAS DO AQÜÍFERO CAIUÁ NA SUB-BACIA DO RIO DOS ÍNDIOS-PR

Maurício Moreira dos Santos¹ & André Celligoi²

Resumo: O desenvolvimento agro-industrial na região noroeste do estado do Paraná vem provocando nos últimos anos o interesse pela exploração de água no Aqüífero Caiuá. Em virtude disso, poços tubulares têm sido perfurados constantemente como forma de suprir a demanda de água, principalmente no sistema hídrico de abastecimento público dos municípios. Dessa forma, a necessidade de estudos avaliadores das reservas subterrâneas desse aqüífero é de extrema importância. Para este fim, foi selecionada a sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios objetivando um estudo local quanto à avaliação das reservas reguladoras e permanentes do Aqüífero Caiuá no estado do Paraná. A reserva permanente, calculada em função da área de ocorrência do Aqüífero Caiuá na sub-bacia do rio dos Índios, da espessura saturada média e da porosidade efetiva, foi estimada em $11,4 \times 10^9 \text{ m}^3$, enquanto que a reserva reguladora, a partir do cálculo das curvas de recessão dos rios, foi estimada em $0,27 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Abstract: The agriculture-industrial development in the northwest area of the state of Paraná comes provoking in the last years the interest for the exploration of water in Caiuá aquifer. Tubular wells have been drilled as form of supplying the demand of water mainly in public provisioning of the municipal districts. In that way, the studies of the groundwater reserves of that aquifer is extremely important. For this end, the hydrographical sub-basin of the Índios river was selected objectifying a local study as the evaluation of the regulator and permanent reserves of Caiuá aquifer in the state of Paraná. The permanent reserve was evaluated in $11,4 \times 10^9 \text{ m}^3$, calculated in function of the area of occurrence of Caiuá aquifer in the sub-basin of the Índios river, the saturated thickness average and the effective porosity. The regulator reserve was evaluated in $0,27 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$, starting from the recession curves of the Índios river.

Palavras-chave: Aqüífero Caiuá, reservas subterrâneas, rio dos Índios, curvas de recessão.

KEYWORDS: Caiuá aquifer, groundwater reserves, Índios river, recession curves.

¹ Departamento de Geociências - Universidade Estadual de Londrina, R. João Borges nº 325 cep.86063-290, Fone: (43)348-1083, mau.geo@bol.com.br.

² Departamento de Geociências - Universidade Estadual de Londrina, Caixa postal 6001, cep. 86051-990 Londrina -PR, Fone: (43) 371-4316, Fax: (43) 371-4216, celligoi@uel.br.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento agro-industrial do noroeste paranaense tem provocado nos últimos anos o aumento pela procura de água no Aquífero Caiuá. Dessa forma, poços tubulares têm sido perfurados como forma de suprir a demanda de água para o abastecimento público e de particulares. Segundo Celligoi (2000), um cadastramento revelou que nos últimos vinte anos foram perfurados mais de 500 poços tubulares que exploram o Aquífero Caiuá no Paraná, visando principalmente, abastecer total ou parcialmente a população urbana e rural dos municípios que compõem o noroeste do Estado.

Neste sentido, os estudos para avaliação das reservas reguladoras e permanentes do Aquífero Caiuá são primordiais, objetivando futuramente que esse importante recurso subterrâneo natural de água, não seja afetado por superexplorações e/ou outras ações antrópicas. Através desses estudos, o planejamento sócio-econômico quanto ao abastecimento público e particular de água dos municípios pertencentes a região do Aquífero Caiuá no Paraná, pode ser melhor gerenciado, contribuindo efetivamente, para a gestão de exploração, evitando a degradação desse importante recurso.

Para a pesquisa foi selecionada a sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios, com a finalidade de um estudo local quanto à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos do Aquífero Caiuá no estado do Paraná. A área abrange a microregião geográfica de Cianorte. Os municípios que a compõem possuem um ou mais poços perfurados na região estudada.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios, inserida entre as coordenadas geográficas de longitudes 52°54' e 52°31' W, e de latitudes 23°21' e 23°54' S, localiza-se na região noroeste do estado do Paraná, onde afloram as rochas sedimentares cretáceas do Grupo Caiuá. A área pesquisada está delimitada pelos rios Paraná, Paranapanema e Piquiri, respectivamente a oeste, norte e sul e pelo limite de ocorrência das formações a leste com a Formação Serra Geral, de idade Juro-Cretácea. O rio dos Índios, junto com os seus afluentes e contribuintes formam parte da bacia hidrográfica do Baixo Ivaí, que por sua vez, está inserida totalmente na da rede de drenagem do rio Paraná (FIGURA 1).

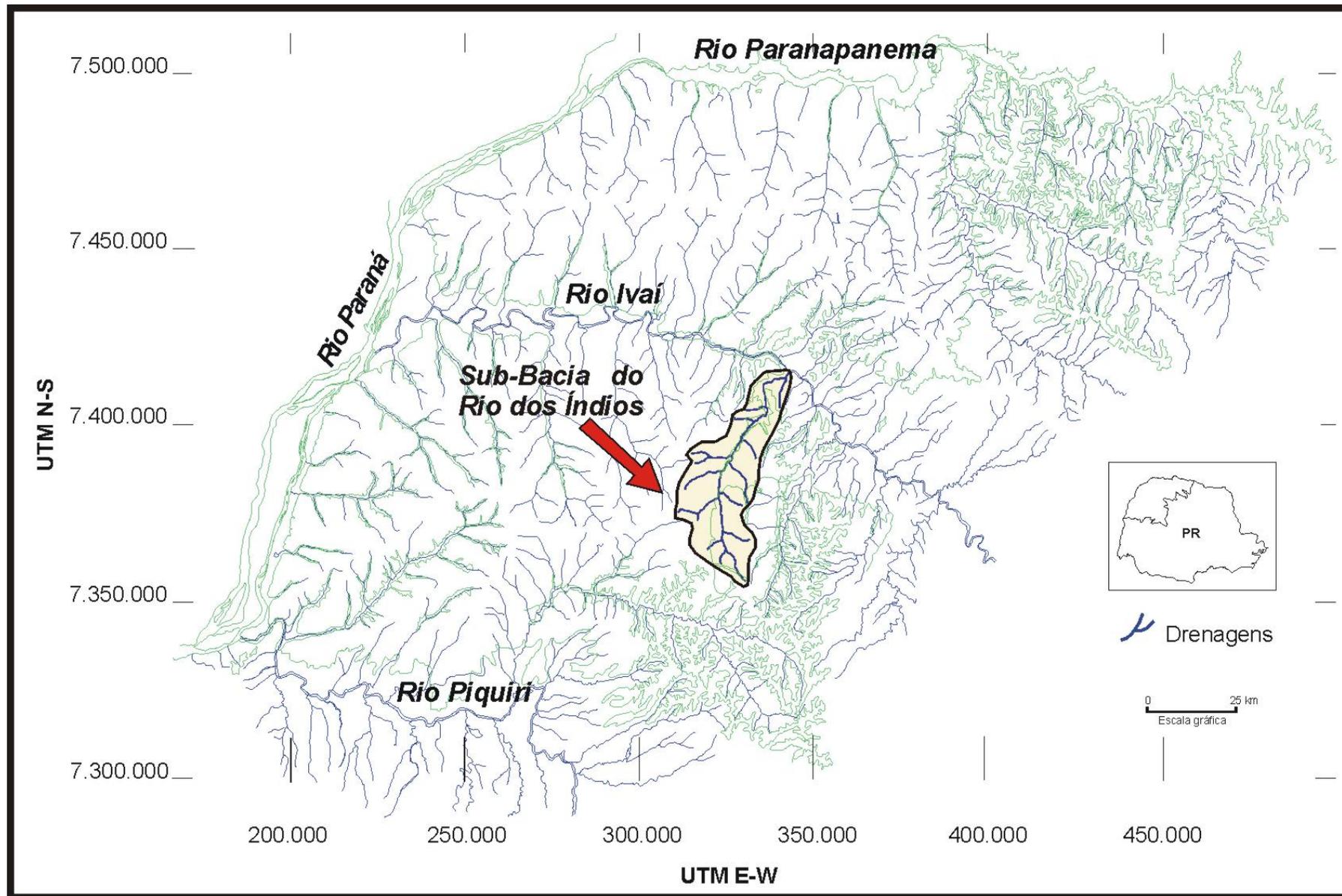


FIGURA 1: Mapa de localização da sub-bacia do Rio dos Índios (modificado de Celligoi, 2000).

POÇOS CADASTRADOS

Foram cadastrados 19 poços tubulares perfurados na região da sub-bacia do rio dos Índios - PR. O cadastramento dos poços tubulares teve por finalidade o relacionamento dos dados técnico-construtivos de cada obra, principalmente os de localização geográfica, profundidade, vazão, uso, entre outros. Tais poços são utilizados para suprir parcial ou totalmente o abastecimento público das áreas urbanas e rurais dos municípios de Cianorte, Japurá, São Tomé, Tapejara, Indianópolis (FIGURA 2).

O cadastro dos poços na área de estudo foi possível a partir da obtenção do cadastro geral de poços da SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), órgão que pertence à Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Paraná e, a partir do cadastramento de 168 poços perfurados no Aquífero Caiuá, utilizados por Celligoi (2000). Este trabalho cadastral permitiu uma visão inicial relacionada à exploração do Aquífero Caiuá visando o abastecimento público municipal da região em estudo, bem como à distribuição e localização geográfica (FIGURA 2 e QUADRO 1).

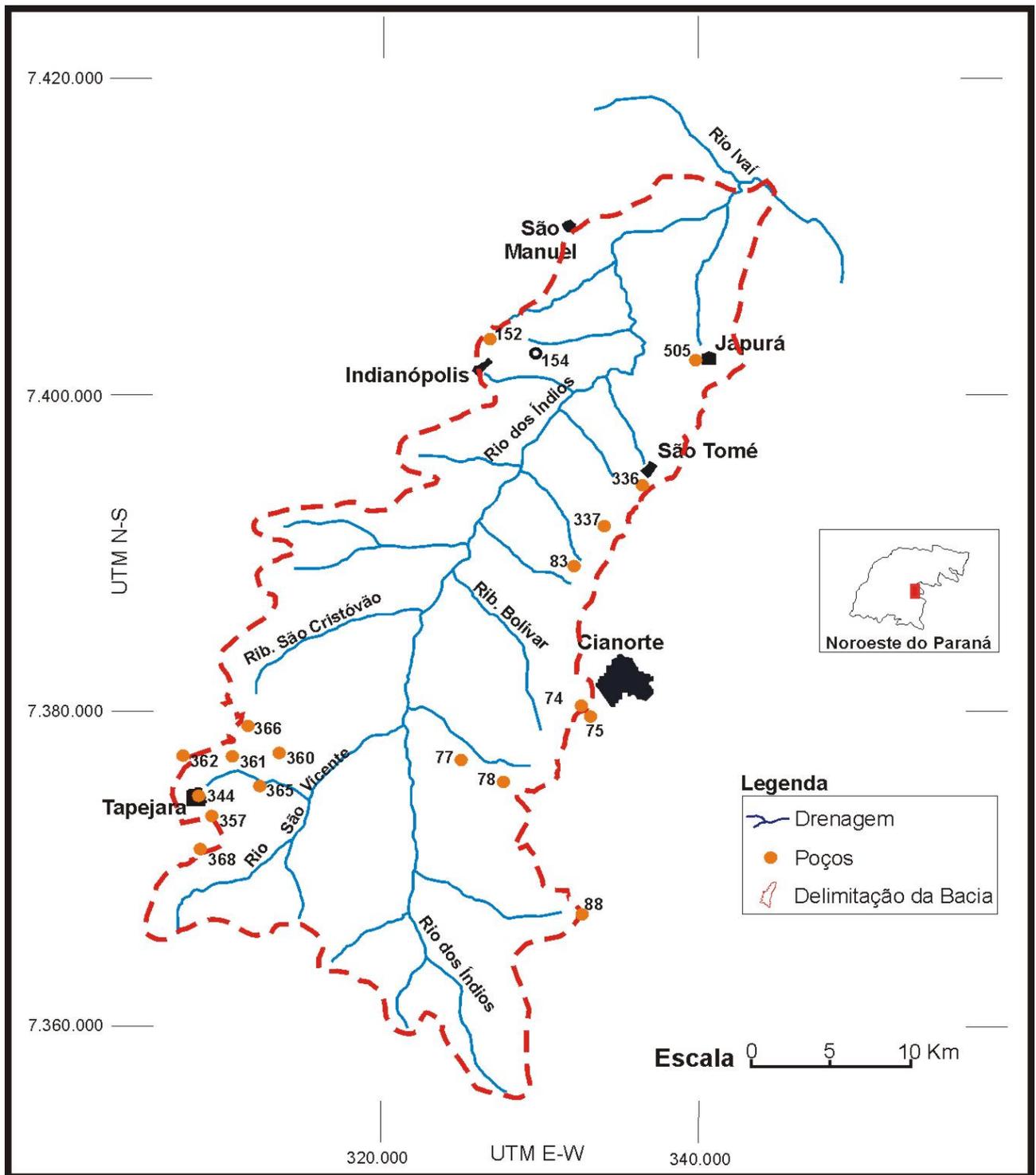


FIGURA 2 – Mapa de localização e distribuição dos poços e municípios na sub-bacia do rio dos Índios. Fonte: SUDERHSA – Cadastro de poços profundos.

Poço	Município	Proprietário	Profundidade	Q. m ³ /h
74	Cianorte	Sanepar	101	21
75	Cianorte	Sanepar	107	10
77	Cianorte	P. Municipal	89.5	4.0
78	Cianorte	P. Municipal	100	5.0
83	Cianorte	P. Municipal	120	5.0
88	Cianorte	Sanepar	119.5	6
152	Indianópolis	P. Municipal	93	2.0
154	Indianópolis	P. Municipal	96	2.8
336	São Tomé	P. Municipal	60	4
337	São Tomé	P. Municipal	84	5.3
344	Tapejara	P. Municipal	81	2.0
357	Tapejara	P. Municipal	75	7
360	Tapejara	P. Municipal	105	5
361	Tapejara	P. Municipal	81	2
362	Tapejara	P. Municipal	110	8.8
365	Tapejara	Sanepar	73.4	7
366	Tapejara	P. Municipal	100	9.5
368	Tapejara	Sanepar	105	5
505	Japurá	P. Municipal	199	12.0

QUADRO 1 – Poços cadastrados localizados na Sub-Bacia do Rio dos Índios. Fonte: SUDERHSA– Cadastro de poços profundos.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Geologia regional

A área pesquisada está inserida em relação ao seu contexto geológico, sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral de idade Juro-Cretácea, bem como sobre os arenitos da cobertura suprabasáltica neocretácea, numa depressão de evolução geológica e de depocentro distintos dos da Bacia do Paraná, na denominada Bacia Bauru na qual os sedimentos estão relacionados aos grupos Bauru e Caiuá. Além do noroeste do estado do Paraná, a cobertura suprabasáltica estende-se pelo Planalto Ocidental de São Paulo, parte oriental do Mato Grosso do Sul, parte do Triângulo Mineiro (MG) e sul do estado de Goiás (Stevaux & Fernandez, 1995).

A Formação Serra Geral é composta por basaltos pretos a cinza escuros, de estrutura maciça ou vesicular, fraturados e com o manto de intemperismo muito pouco presente em algumas localidades, até cerca de 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente (Rebouças, 1976).

Sobrepondo-se a esta unidade, ocorrem os grupos Bauru e Caiuá. A primeira unidade citada é composta pelas formações Adamantina, Marília e Uberaba, verificando-se essas de pouca (localmente, o caso da Formação Adamantina), ou nenhuma ocorrência no noroeste do estado do Paraná. Dessa forma, não será tratado no presente trabalho do estudo pormenor destas formações que constituem o Grupo Bauru, a ênfase será dada às rochas sedimentares constituintes do Grupo Caiuá, de maior ocorrência e extensão na área de estudo e constituinte do pacote sedimentar poroso do Aquífero Caiuá no Paraná.

O arenito Caiuá, anteriormente classificado como uma unidade pertencente ao Grupo Bauru é elevado à categoria de Grupo, graças aos estudos de Fernandes (1992), que o separou em três formações distintas: Formação Goio Êre, Formação Rio Paraná e Formação Santo Anastácio, todas acumuladas em ambiente desértico, geneticamente ligadas, mas correspondentes a sub-ambientes distintas: zona central de *sand sea*, (Fm. Rio Paraná), zona de depósitos eólicos periféricos, (Fm. Goio Êre) e planícies de lençóis de areia (Fm. Santo Anastácio).

A Formação do Rio Paraná, apresenta no noroeste do estado do Paraná as maiores espessuras, na ordem de 250 metros. Segundo Celligoi (2000), sua litologia apresenta-se constituída de arenitos marrom-arroxeados, finos a médios, quartzosos, secundariamente subarcoseanos. Geralmente bem selecionados, com pouca ou nenhuma matriz silto argilosa, com estratificação cruzada de médio a grande porte. Os arenitos desta unidade são bem selecionados por lâminas ou estratos com grãos bem arredondados nas frações mais grossas, sendo que a maioria apresenta superfície fosca, encoberta por película ferruginosa (Fernandes & Coimbra, 1994).

A Formação Goio Êre ocorre na parte sudeste de afloramento dos Arenitos do Grupo Caiuá no estado do Paraná, é constituída de arenitos quartzosos freqüentemente subarcoseanos, marrom-avermelhados a cinza arroxeados, de granulação fina a muito fina, ocasionalmente média. Dispõem-se em estratos tubulares de poucos metros de espessura com estratificação cruzada, intercalados com bancos de espessura métrica a decimétrica, de aspecto maciço ou estratificação subhorizontal mal definida (Ibidem).

A Formação Santo Anastácio, foi definida por Landim *et al* (Apud Fernandes & Coimbra, 1994) como fácies independentes, de transição entre as unidades Bauru e Caiuá. Tal formação ocorre mais freqüentemente no estado de São Paulo, sendo mais restrito seu afloramento no estado do Paraná e com espessuras na ordem de no máximo de 70 metros. Segundo Fernandes & Coimbra. (1994), a formação é constituída por arenitos finos a muitos finos, com fração siltica subordinada, essencialmente quartzosos, caracteristicamente maciços.

Geologia local

A sub-bacia hidrográfica do Rio dos Índios está localizada na área de afloramento do Grupo Caiuá, mais extensivamente sobre a Formação Goio Êre, contato transicional com a formação Rio Paraná a noroeste, contatos erosivos com a formação Serra Geral a leste e com depósitos arenosos cenozóico, aluviais e coluviais no topo (FIGURA 3).

Na parte de menor espessuras dos arenitos que constituem o Grupo Caiuá na área em estudo, ocorre o contato litológico com os basaltos da formação Serra Geral, os quais afloram somente nas porções inferiores dos vales profundos por onde corre a drenagem do rio dos Índios (FIGURA 3).

A Formação Goio Êre sobreposta, possui arenitos aflorantes a sul e sudeste da área pesquisada, apresenta espessuras máximas na ordem de 50m em superfície (Fernandes, 1992). Porém, na região da sub-bacia do rio dos Índios - PR, o cadastramento dos poços tubulares revelaram profundidades do arenito que variaram de 47 a 120 metros, constituindo-se em espessura média na ordem de 87 metros em superfície.

A Formação Rio Paraná na área estudada, através do cadastro de poços tubulares perfurados na região e seus dados de profundidade, possibilitou a verificação de espessura média na ordem de 92 metros em superfície.

Os resultados apresentados por Fernandes & Coimbra (1994), quanto à quantidade de silte e argila presente na Formação Goio Êre e Formação Rio Paraná são muito semelhantes, apresentando médias de silte + argila em torno de 25% e teores de argila com médias de 10%, apenas diferindo quanto ao pequeno incremento de silte na Formação Goio Êre.

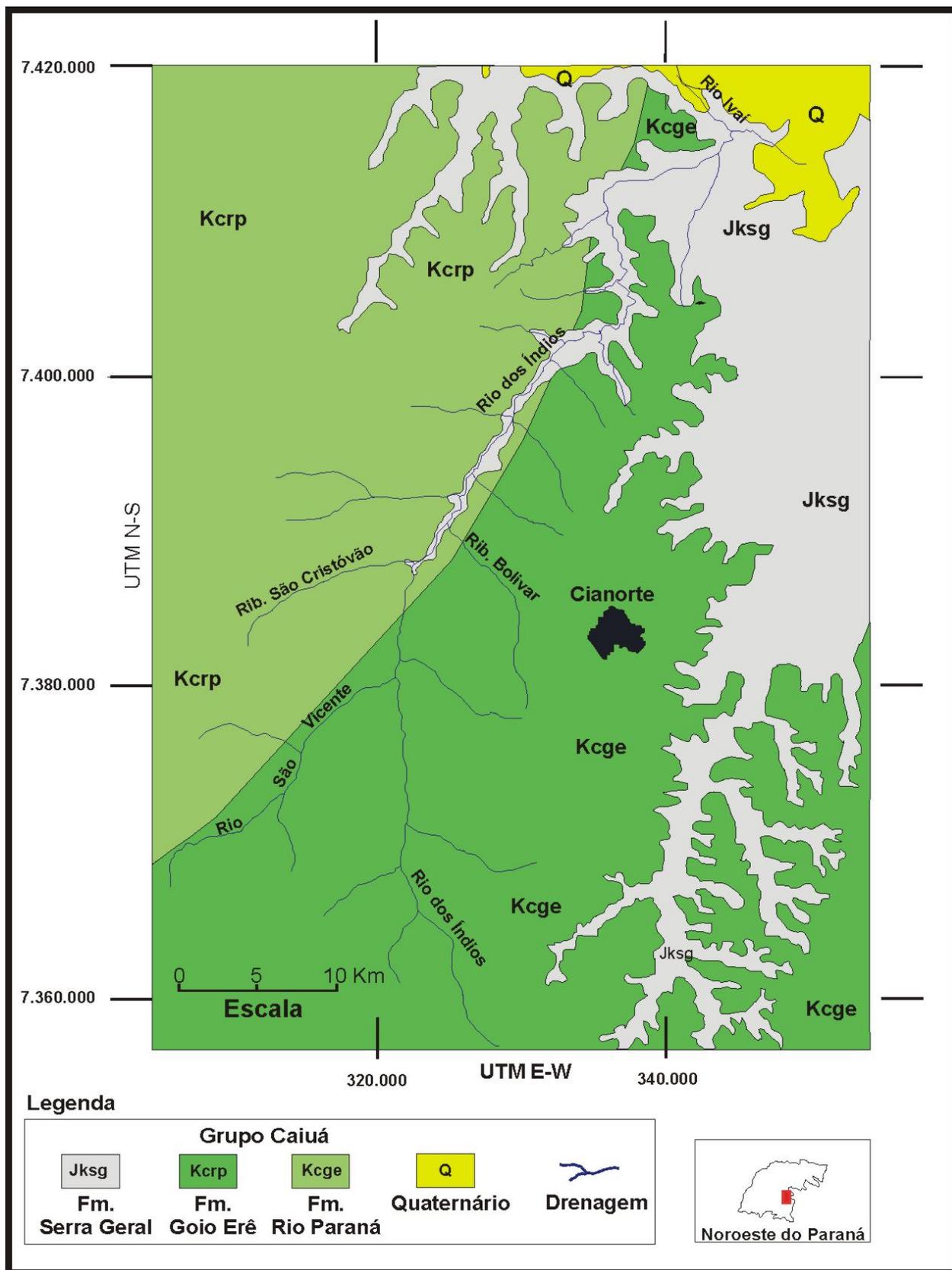


FIGURA 3 – Mapa Geológico local (modificado de Fernandes, 1992)

HIDROGEOLOGIA

A partir do quadro geológico descrito, as formações pertencentes ao Grupo Caiuá tendem a se comportar como aquíferos, pois este fenômeno está ligado à acumulação de espessas camadas de sedimentos clásticos. Além disso, segundo Rebouças (1976), a Bacia do Paraná de acordo com a evolução da sedimentação, a partir de uma seqüência rítmica, aliada à geometria da estrutura em forma de bacia subsidente, propiciou a formação de aquíferos livres e confinados, a partir das bordas em direção ao centro.

O Aquífero Caiuá está inserido geologicamente ao pacote sedimentar das rochas suprabasáltica neocretácea pós-basálticas da Bacia Bauru. No estado do Paraná, o referido aquífero, está inserido ao pacote arenoso do Grupo Caiuá, na qual, a área aflorante da deposição sedimentar apresenta características litológicas homogêneas, sem grandes quantidades de argila compactas. Portanto, Campos (1987) considera o mesmo, um sistema aquífero poroso e livre por toda sua extensão. Contudo, Rebouças (1976) coloca que localmente podem ocorrer pressões de confinamento, proporcionada pelas intercalações argilosas ou ocorrência de bancos calcífero.

A recarga do Aquífero Caiuá é extremamente facilitada, principalmente pelas formas tabulares ou suavemente onduladas do relevo e pela capacidade de infiltração relativamente grande do solo, aliadas a uma pluviometria regular (Rebouças, 1976).

Os arenitos do Grupo Caiuá, quanto às suas capacidades da zona saturada, atingem espessuras na ordem de 50 a 100 metros, alcançando em média 80 metros de espessura. Os sedimentos desse Grupo no estado do Paraná estão assentados em discordância sobre o terreno mais antigo, mais especificamente, sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral.

A água acumulada no Aquífero Caiuá na sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios - PR, flui, em sua maior parte, para os rios e afluentes desta sub-bacia, alimentando o seu escoamento de base, enquanto que apenas uma pequena parcela infiltra-se no substrato rochoso, formado pelos basaltos.

Neste sentido, a partir da estação pluviométrica de Cianorte, foi possível tomar os dados dos totais de precipitação e de temperatura diários dos anos entre 1976 e 1998 na região da sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios, cedidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) dos quais foram calculadas os totais de precipitação e médias de temperaturas anuais para os mesmos anos na região estudada.

Por sua vez, a bacia hidrográfica do Baixo Ivaí, que possui extensão de 29.452 Km² drena a totalidade da sub-bacia do rio dos Índios. O Baixo Ivaí é responsável, por cerca de 44% da área drenada do Grupo Caiuá no estado do Paraná e se desloca no sentido predominante de L para W, orientando a drenagem do rio dos Índios de sudoeste para nordeste.

CALCULO DAS RESERVAS PERMANENTES E REGULADORAS

Precipitação e Temperatura

Analisando-se os totais pluviométricos no período de 1976 a 1998, foi verificada uma média de precipitação para a região da sub-bacia do rio dos Índios de 1642,47 mm anuais. Além disso, através dos dados obtidos referentes à precipitação e temperatura na estação pluviométrica de Cianorte, foi possível elaborar um gráfico com a finalidade da análise das linhas de oscilações das variáveis mencionadas no decorrer dos doze anos de medições, contribuindo para a avaliação das reservas subterrâneas na área pesquisada, pois a maior parte da infiltração originadas das precipitações pluviométricas que, chegam ao aquífero como recarga, volta a sair do subsolo como escoamento de base dos rios, através de um ciclo anual (FIGURA 4).

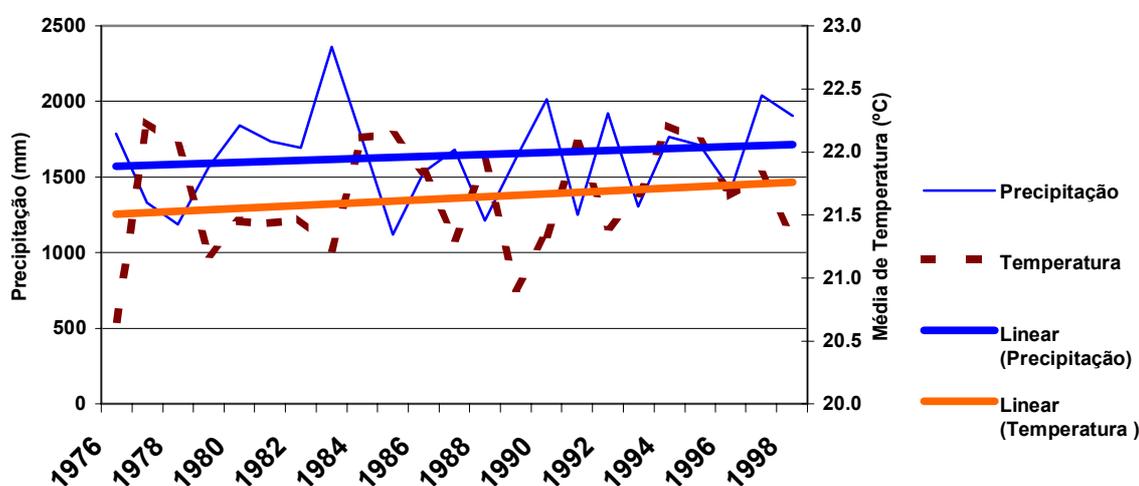


FIGURA 4 – Gráfico evidenciando a precipitação total anual, média de temperatura anual e linhas de tendências no período de 1976 a 1998, na estação pluviométrica de Cianorte. Fonte: IAPAR, Inventário da Estação Pluviométrica de Cianorte 1976 a 1998.

Reserva Permanente

Segundo Costa (1998), a reserva permanente constitui-se no volume hídrico acumulado em meio aquífero, em função da porosidade efetiva e do coeficiente de armazenamento, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica. Na área pesquisada esta teoria corresponde ao volume de água subterrânea localizado abaixo do nível mínimo de variação sazonal da superfície potenciométrica do Aquífero Caiuá localizado na sub-bacia do rio dos Índios.

Baseada em Celligoi (2000), a metodologia empregada para a estimativa da reserva permanente na área estudada, envolveu a área de ocorrência do aquífero na sub-bacia do rio dos Índios - PR, a espessura saturada e a porosidade efetiva.

Para o cálculo da reserva permanente (R_p), usou-se a expressão:

$$Rp = A \times b \times m_e$$

A = área de ocorrência do aquífero Caiuá na sub-bacia hidrográfica do Rio dos Índios (761,5 Km²).

b = espessura saturada média da área pesquisada (79,5 m).

m_e = porosidade efetiva, calculada em laboratório (19,7%).

Então:

$$Rp = 11,4 \times 10^9 m^3$$

Reserva Reguladora

A reserva reguladora definida por Costa (1998), é o volume hídrico acumulado em meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos suportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo. Para esse estudo a teoria irá corresponder, ao volume de água da zona de flutuação sazonal, ou anual, do nível de saturação, acumulado em meio aquífero, contribuindo em sua descarga para a rede drenagem da sub-bacia do rio dos Índios - PR.

Existem vários métodos para a obtenção das estimativas das reservas reguladoras de aquíferos, para esse trabalho foi utilizada a metodologia de análise das curvas de recessão dos rios.

Domenico & Schwartz (Apud Celligoi, 2000) definiram o termo recessão, referindo-se ao declínio da descarga natural de uma drenagem na ausência de entrada por precipitação e é assumida por leis de decaimento exponencial. O fluxo de base dos rios representa a retirada de água subterrânea do armazenamento, sendo conhecido como recessão de água subterrânea.

A recessão da sub-bacia do rio dos Índios - PR em diferentes anos, foi determinada através de uma série de segmentos de hidrógrafas inseridas na drenagem principal desta sub-bacia hidrográfica, na qual foi considerado o fluxo de base, tomando-se as medidas de vazão logo após os picos de precipitação. Deste ponto em diante, até as próximas precipitações, o fluxo total é o componente do fluxo de base derivado da descarga de água subterrânea na drenagem. A curva gerada em escala logarítmica representa a curva de recessão da água subterrânea e pode ser descrita pela equação a seguir, utilizada por Celligoi (2000) e Rosa Filho (1993).

$$Q = Q_0 e^{-kt}$$

Onde:

Q_0 = representa a descarga do rio dos Índios no início da recessão (m³/s);

Q = a descarga (m³/s) do rio dos Índios após um período t (dias);

k = constante de recessão.

Para a realização do cálculo da reserva reguladora na área pesquisada, foram utilizados os dados de vazão fluvial obtidos na Estação Fluviométrica Japurá, pertencente à SUDERHSA, localizado no rio dos Índios nas coordenadas geográfica de latitude 23°26'00' S e longitude de 52°37'00' W (FIGURA 5).

Inicialmente, na catalogação dos dados fluviométricos, foram utilizadas estações localizadas geograficamente em outras micro bacias hidrográficas, porém devido à dificuldade de coerência de dados, descartou-se a utilização dos mesmos. Por efeito dessa problemática, foi selecionada a Estação Fluviométrica de Japurá para a continuidade da pesquisa, pois a análise dos dados de vazão diários desta estação fluviométrica revelou ser de boa confiabilidade. Além disso, o rio dos Índios está localizado estrategicamente nos domínios aflorantes dos arenitos pertencentes ao Grupo Caiuá no Paraná.

Segundo os índices pluviométricos analisados entre os anos de 1976 a 1998, e a partir das medições das vazões do rio dos Índios, foram selecionados os anos 1985 e 1996 para o cálculo da curva de recessão. Esses dois anos indicados correspondem a índices de médias anuais pluviométricas inferiores a média geral medidas na estação pluviométrica de Cianorte.

Como critério de seleção, não foram utilizados apenas os anos de maior ou menor precipitação. Também foram consideradas as melhores curvas de recessão geradas a partir de diferentes gráficos evidenciando a vazão no rio dos Índios, bem como a coerência dos dados coletados para a estação fluviométrica de Japurá.

Para o cálculo da reserva reguladora do Aquífero Caiuá na sub-bacia do rio dos Índios - PR, tomou-se primeiramente o ano de 1985, que é um ano seco (FIGURA 6).

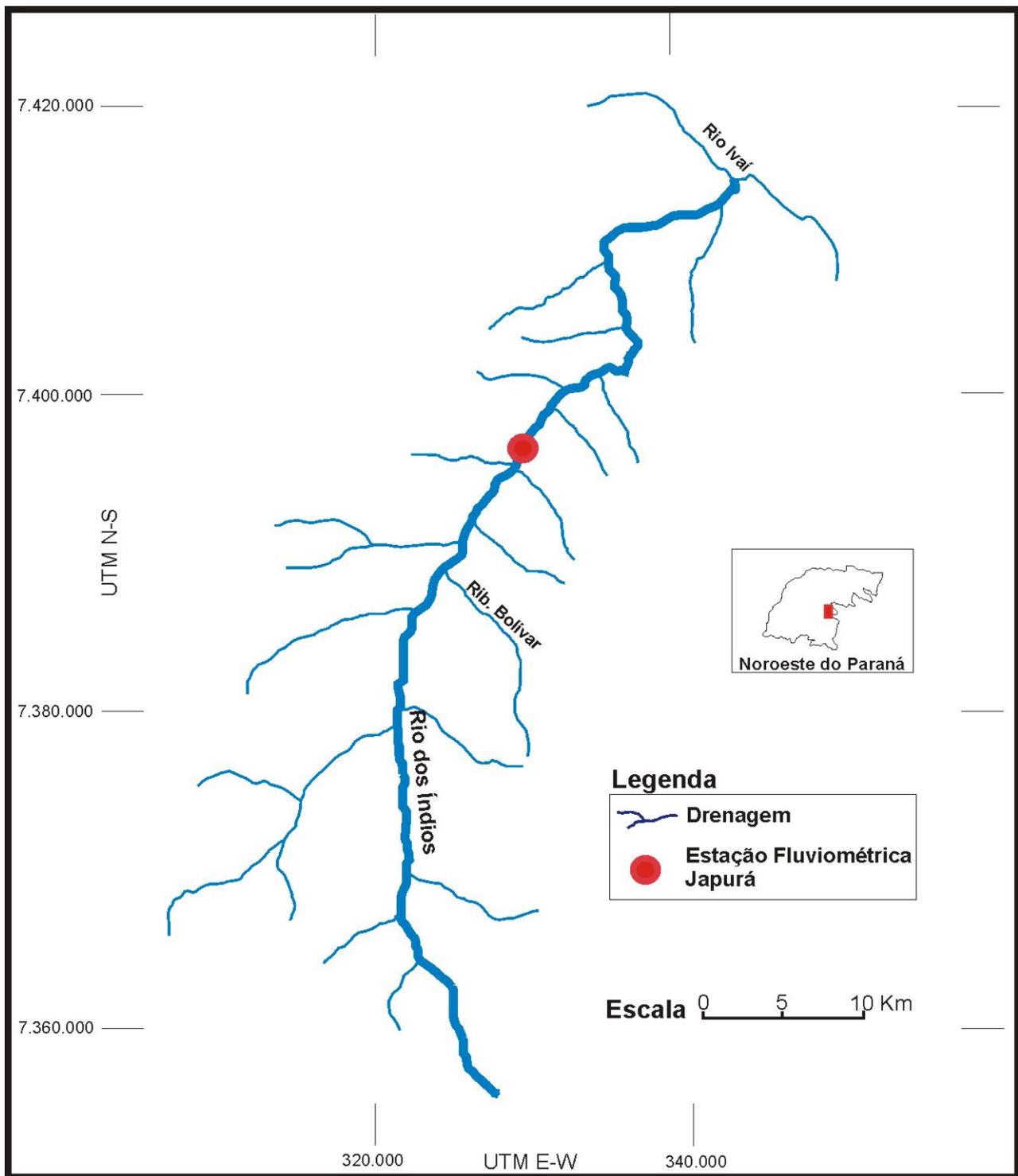


FIGURA 5 - Mapa de localização da Estação Fluviométrica Japurá (modificado de Fernandes, 1992).

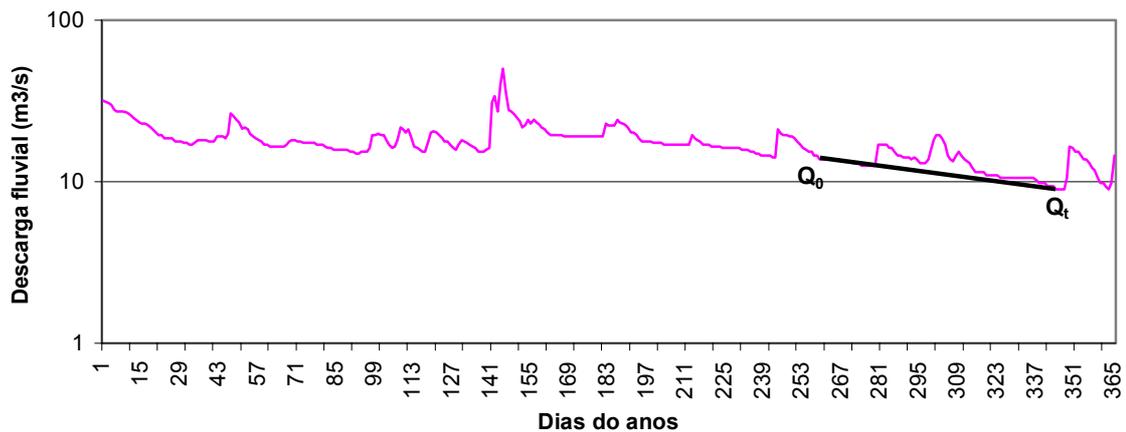


FIGURA 6 - Vazão diária do rio dos Índios em 1985, evidenciando o período de recessão.

A descarga no início da recessão (Q_0) é de $17,8 \text{ m}^3/\text{s}$, passados 151 dias a vazão final (Q_t) é de $9,0 \text{ m}^3/\text{s}$, teremos que:

$$k = 0,0045$$

O volume da bacia contribuinte é dado por:

$$V_0 = \frac{Q_0 \times 86.400}{k}$$

Então:

$$V_0 = 3,41 \times 10^3$$

Sendo a área da sub-bacia do rio dos Índios - PR igual a (A) $7,6 \cdot 10^8 \text{ m}^2$, a restituição média para o ano de 1985 pode ser calculada por:

$$h = \frac{V_0}{A}$$

$$V_0 = 448 \text{ mm / ano}$$

Para o ano de 1996 foram utilizados os mesmos parâmetros para a obtenção da recessão e da restituição média anual (FIGURA 7).

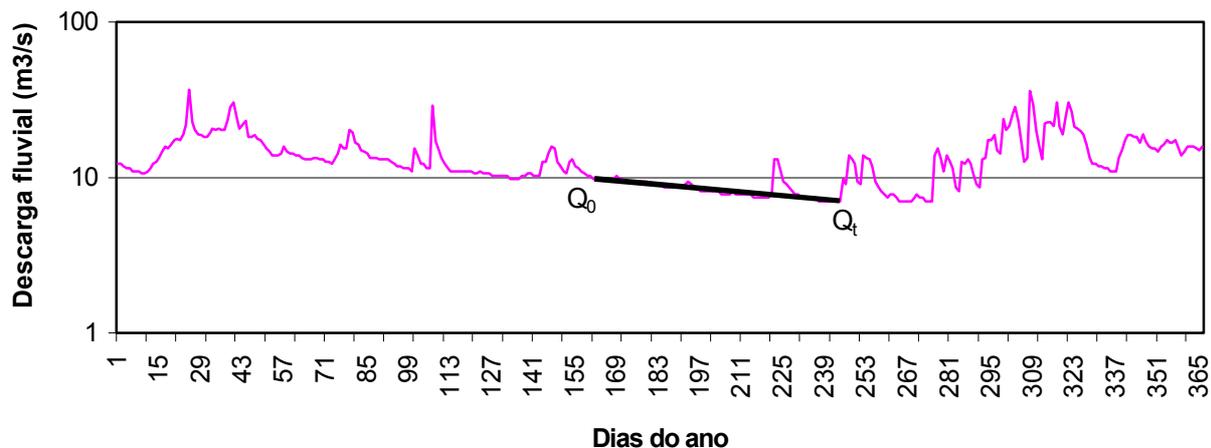


FIGURA 7 - Vazão diária do rio dos Índios em 1996, evidenciando o período de recessão.

O início da recessão (Q_0) a descarga é de $10,2\text{m}^3/\text{s}$ e ao final de 84 dias a vazão final (Q_t) é de $7,0\text{ m}^3/\text{s}$, então teremos que: $h = 256\text{ mm/ano}$.

Dessa forma, foram obtidos os valores de restituição de cada um dos anos (h_1 e h_2), assim possibilitando o cálculo da restituição média para a região da sub-bacia do rio dos Índios - PR ($h_m = 352\text{ mm/ano}$), sabendo que esta região recebeu a média pluviométrica de 1268 mm para o período amostrado, a restituição média perfaz cerca de $27,7\%$ da pluviometria anual.

O resultado obtido quanto à restituição média para o sistema aquífero na sub-bacia do rio dos Índios - PR, difere dos valores alcançados por Celligoi (2000) para o Aquífero Caiuá no Paraná e Rebouças (1976) para o sistema aquífero Bauru, com valores de aproximadamente 18% de restituição média anual da pluviometria.

Entretanto, segundo Rebouças (1976), estudos do DAEE revelam nos domínios de afloramento dos membros médio a inferior do pacote sedimentar do Grupo Bauru, uma restituição média de até 30% da pluviometria, resultado esse, relativamente próximo ao valor indicado nesta pesquisa, (restituição média = $27,7\%$). Esses valores refletem, em parte, a melhor aptidão do aquífero localizado na sub-bacia do rio dos Índios - PR em liberar grandes quantidades de água para a drenagem em relação aos outros sistemas aquíferos, mais ricos em cimento calcífero e/ou componentes argilosos, os quais dificultam uma maior percolação das águas subterrâneas.

Para o cálculo da reserva reguladora do Aquífero Caiuá, na sub-bacia do rio dos Índios - PR, utilizou-se o valor médio anual de restituição da pluviometria para os dois anos selecionados ($h_m = 352\text{ mm/ano}$), a área de ocorrência do aquífero nesta Sub-Bacia ($A_b = 7,6 \times 10^8\text{ m}^2$). Sendo assim a reserva reguladora (R_r) pode ser calculada por:

$$R_r = A_c \times h_m$$

$$R_r = 0,27 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

ESTIMATIVAS DE EXPLORAÇÃO HÍDRICA

Com base nos parâmetros de vazão analisados dos poços tubulares cadastrados na sub-bacia do rio dos Índios – PR e a partir do cálculo da reserva reguladora, torna-se possível estimar a exploração hídrica atual do Aquífero Caiuá na região pesquisada, objetivando um estudo gestor dos recursos hídricos subterrâneos, sem causar impactos ambientais e evitando que o planejamento sócio-econômico dos municípios, quanto ao abastecimento público de água não seja prejudicado futuramente.

A vazão somada para os 19 poços cadastrados foi de 123,4 m³/h. Após o período de um ano e estimando-se um bombeamento contínuo de 20 horas diárias, a demanda de água perfaz um total de 900,8 x 10³ m³. Sendo a reserva reguladora calculada em 0,27 x 10⁹ m³/ano, os poços utilizam apenas 0,33 % do seu potencial.

Inserida nos limites da sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios, Cianorte é o principal município na região estudada. Segundo o censo 2000 (IBGE), o município possui uma população de 57.401 mil habitantes tendo o maior consumo de água per capita se comparado aos municípios de Tapejara, São Tomé, Indianópolis e Japurá. O município quanto ao seu abastecimento público consome em média aproximadamente 248.000 m³/mês de água captadas superficialmente e por poços que exploram o aquífero. Entretanto, deste montante apenas 30.732 m³/mês são captadas por poços tubulares que exploram o Aquífero Caiuá evidenciando que este importante manancial subterrâneo ainda é pouco explorado.

CONCLUSÕES

A sub-bacia do rio dos Índios está inserida na região noroeste do estado do Paraná, sobre a qual afloram as rochas sedimentares suprabasálticas referentes ao Aquífero Caiuá. Em seu contexto geológico a área de estudo localiza-se sobre as formações que constituem o Grupo Caiuá, mais extensivamente a Formação Goio Êre em contato transicional com a Formação Rio Paraná e contato erosivo com a Formação Serra Geral.

O Aquífero Caiuá consiste em seu pacote sedimentar um meio poroso, com características relativamente homogêneas, sem grandes quantidades de argila compactas, por isso, considerado como um sistema aquífero livre em toda sua extensão.

A sub-bacia hidrográfica do rio dos Índios - PR abrange um área de 760 Km², inseridos em seus limites 19 poços tubulares e cinco municípios que utilizam de suas reservas subterrâneas como

forma de suprir a demanda de água, tanto urbana como rural. Os poços tubulares cadastrados possuem juntos vazão de 123,4 m³/h, com média de 6,5 m³/h de vazão do aquífero.

A reserva permanente calculada na região estudada a partir de uma porosidade efetiva de 19,7% foi de 11,4 x 10⁹ m³, enquanto que as reservas reguladoras, calculadas a partir da curva de recessão do rio dos Índios nos anos de 1985 e 1986 foram de 0,27 x 10⁹ m³/ano.

A avaliação das reservas subterrâneas do Aquífero Caiuá na sub-bacia do rio dos Índios - PR, evidenciou que a exploração atual da água subterrânea está abaixo de seu potencial em armazenar água. Atualmente grande parte do abastecimento de água tanto para a zona urbana como rural dos municípios da região em estudo, é feita através da captação da água superficial. Tendo em vista a rápida degradação desse manancial, devido principalmente às ações antrópicas, os aquíferos poderão deixar de ser verdadeiras reservas de água para a gestão e planejamento dos municípios, no que diz respeito ao abastecimento público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, H.C.N.S. **Contribuição ao estudo hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 1987. Dissertação (Mestrado) - IG/USP, São Paulo.
- CELLIGOI, A. **Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná**. 2000. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - IG/USP, São Paulo.
- COSTA, W. D. Avaliação de reserva, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8; 1994. Recife. **Anais...** Recife, ABAS, 1998.
- FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema: os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. Dissertação (Mestrado) - IG/USP, São Paulo.
- FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. C. O Grupo Caiuá: revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**. SBG 1994. v. 24 n. 3 p. 164-176, São Paulo.
- PARANÁ (Estado). INSTITUTO AGRONÔMICO. **Inventário da Estação Pluviométrica de Cianorte**.
- PARANÁ (Estado). SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Paraná. **Cadastro geral de poços profundos**.
- PARANÁ (Estado). SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Paraná. **Dados da estação fluviométrica Japurá**.

- REBOUÇAS, A.C. **Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná - análise de pré-viabilidade**. 1976. 143 p. (Tese – Livre Docência) - IG/USP, São Paulo.
- ROSA FILHO, E. F. Caracterização da depleção de um aquífero através do coeficiente de descarga, α , de Maillet. **Boletim Paranaense de Geociências**. UFPR 1993. v. 41, p. 125-144, Curitiba.
- STEVAUX, J.C. & FERNANDEZ, O. V. Q. - Avaliação preliminar do potencial mineral da região noroeste do Estado do Paraná, **Boletim Paranaense de Geociências**, UFPR, 1995. v. 43, p. 119-133, Curitiba.