

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DA REGIÃO NORDESTE DE MINAS GERAIS

Carlos Alberto de Mélo Peixoto
Fernando Gomes Jardim
Pedro Carlos Garcia Costa

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais — CETEC

RÉSUMÉ

Dans le cadre, des études hydrogéologiques des bassins des fleuves Jequitinhonha et Pardo on a utilisé des pluviogrammes distribués dans 18 stations sélectionnées dans le but de la détermination de coefficient de reservation, d'écoulement direct et souterrain, a la capacité de réservoir et de coefficient d'infiltration. Pour la plus grande partie des stations les pluviogrammes sont représentatifs d'une hydrologique moyenne; dans quelques unes nous avons aussi utilisé des données des époques très sèches et très humides.

Cela a permis vérifier les variations des paramètres calculés sous l'influence de conditions pluviométriques extrêmes. Les résultats ainsi obtenus ont permis une comparaison entre le potentiel hydrogéologique de ces bassins et de ses compositions lithiques.

1. GENERALIDADES

Os estudos hidrogeológicos realizados nas bacias dos rios Jequitinhonha e Pardo, no nordeste de Minas Gerais, fazem parte de um amplo diagnóstico dos recursos naturais da região através do Projeto "Estudos Integrados de Recursos Naturais do Vale do Jequitinhonha".

O mapa da figura 1 situa geograficamente a área estudada e mostra a distribuição espacial dos diferentes aquíferos. As principais informações sobre a litologia e condições hidrogeológicas das diferentes unidades mapeadas, acham-se sintetizadas no quadro 1.

Face à natural dificuldade de um estudo hidrogeológico sistemático e convencional em rochas fissuradas, especial atenção foi dada à relação entre águas superficiais e subterrâneas, através da qual se derivou parâmetros que permitiram a determinação, em primeira aproximação, do potencial hidrogeológico da região.

PERÍODO	UNIDADES	ESPESSURA (m)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
QUATERNÁRIO	ALUVIÕES	0-25	DEPÓSITOS DE AREIAS, SILTES, ARGILAS E CASCALHOS	MEIO DE PERMEABILIDADE MUITO VARIÁVEL. PODE FORNECER VAZÕES DE ATÉ 141/s ATRAVÉS DE POÇOS RASOS, NÍVEIS D'ÁGUA PRÓXIMOS À SUPERFÍCIE.
	COLUVIÕES E COBERTURAS DETRÍTICAS	0-40	DEPÓSITOS COLUVIAIS DE AREIAS, AREIAS ARGILOSAS E ARGILAS, LOCALMENTE COM CONCREÇÕES LATERÍTICAS	PERMEABILIDADE MUITO VARIÁVEL E POSSIBILIDADES DE PRODUÇÃO LIMITADA, SALVO ONDE APRESENTAM MAIORES ESPESURAS. LOCALMENTE FORNECEM GRANDES QUANTIDADES DE ÁGUA ATRAVÉS DE FONTES.
PROTEROZOÍCO SUPERIOR	GRUPO BAMBUÍ	0-200	CALCÁRIOS, MARGAS, SILTITOS CALCÍFEROS, ARDÓSIAS E ARCÓSIOS	PERMEABILIDADE SECUNDÁRIA EM FRATURAS OU CONDUTOS CARSTICOS. EM ÁREAS BEM CARSTIFICADAS, PODEM APRESENTAR BOA PRODUTIVIDADE.
	GRUPO MACAÚBAS	-	XISTOS, DIAMICTITOS E QUARTZITOS, SUBORDINADAMENTE, FILITOS, CALCÁRIOS E ARCÓSIOS	
PROTEROZOÍCO MÉDIO	SUPERGRUPO FRANCISCO	-	QUARTZITOS E FILITOS COM ARCOÓSIOS, GRAUVAÇAS, CONGLOMERADOS E METAVULCÂNICAS ÁCIDAS E BÁSICAS	OCORRÊNCIA DE ÁGUA RESTRITA AS ZONAS FRATURADAS OU MANTO DE ALTERAÇÃO. GERALMENTE FORNECEM PEQUENAS QUANTIDADES D'ÁGUA ATRAVÉS DE POÇOS PROFUNDOS, ENTRETANTO, RESTITUEM IMPORTANTES QUANTIDADES D'ÁGUA ATRAVÉS DE FONTES, ONDE AS CONDIÇÕES TECTÔNICAS E MORFOLÓGICAS SÃO FAVORÁVEIS.
	SUPERGRUPO ESPINHAÇO	-	MIGMATITOS COM INTERCALAÇÕES LÓCIAS DE QUARTZITOS	
PROTEROZOÍCO INFERIOR - ARQUEANO	ASSOCIAÇÃO METAMÓRFICA-MIGMATÍTICA	-	GRANITOS GNÁISSIFICADOS E GRANODIORITOS SUBORDINADOS	
	COMPLEXO GRANITO-GNÁISSICO	-	CHARNOKITOS ESVERDEADOS HOMOGÊNEOS E CHARNOKITOS COM ESTRUTURA GNÁISSICA	
	COMPLEXO CHARNOKÍTICO	-	MIGMATITOS COM PLUTONITOS ENCAIXADOS, (GRANITOS, GRANODIORITOS E TONALITOS)	
ARQUEANO	COMPLEXO DÔMICO	-		

QUADRO 1

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DAS UNIDADES GEOLÓGICAS DA REGIÃO DO JEQUITINHONHA

Com exceção dos aquíferos aluviais, conectados hidraulicamente com os cursos d'água e que com estes mantêm ativa troca, nos demais aquíferos predomina a situação em que os pontos de descargas localizam-se em cotas superiores aos rios, havendo uma contribuição efetiva dos aquíferos para os rios durante todo o ano.

2. MÉTODO UTILIZADO

A quantificação das componentes superficiais e subterrâneas do escoamento foi realizada pelo método gráfico, a partir da análise de hidrogramas representativos do escoamento total que passa por uma determinada estação fluviométrica.

Foram utilizadas dez estações no eixo do rio Jequitinhonha, quatro no eixo do rio Araçuaí e uma no eixo do rio Pardo; utilizaram-se ainda duas estações localizadas em sub-bacias secundárias do Jequitinhonha e uma em sub-bacia secundária do Araçuaí. A relação e distribuição destas estações constam no quadro 2. A delimitação das bacias estudadas, acha-se representada no mapa da figura 2.

Escolheu-se, na série de dados disponíveis, os anos de 51/52 que têm registros na maioria das estações e apresentam deflúvios característicos de um ano hidrológico médio. As descargas médias diárias utilizadas para confecção dos hidrogramas foram obtidas, para a maioria das estações, no Boletim Fluviométrico do DNAEE, com dados atualizados até 1975 (edição de 1979); para algumas estações como: Porto Santa Cruz, no rio Pardo (46/47), Itinga e São Pedro do Jequitinhonha, no rio Jequitinhonha (46/47), Mendanha, também no rio Jequitinhonha (51/52) e, Ponte Vacaria no rio Vacaria (76/77), as descargas utilizadas foram obtidas no relatório dos "Estudos Hidrológicos Preliminares" realizados pela equipe de hidrologia do CETEC.

O períodos 53/54 e 56/57, por serem, respectivamente, muito seco e muito úmido, foram utilizados para verificação da variação dos parâmetros calculados sob influência de condições fluviométricas extremas.

Para as bacias dos rios Pardo, Gravatá e Araçuaí utilizou-se o período 46/47, escolhido na série existente, por ser o que mais se aproxima dos valores medidos em 51/52 na bacia do Jequitinhonha.

QUADRO 2

RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

BACIA	RIO	ESTAÇÃO
	Jequitinhonha	Porto Itapoã
	Jequitinhonha	Jacinto
	Jequitinhonha	Almenara
	Jequitinhonha	Jequitinhonha
	Jequitinhonha	São Pedro do Jequitinhonha
	Jequitinhonha	Itaobim
	Jequitinhonha	Itinga
	Jequitinhonha	Porto Mandacaru
	Jequitinhonha	Vila Terra Branca
	Jequitinhonha	Mendanha
	Itacambiruçu	Grão Mogol
	Vacaria	Ponte Vacaria
	Araçuaí	Araçuaí
	Araçuaí	Pega
	Araçuaí	Berilo
	Araçuaí	Porto Santana
	Gravatá	Alfredo Graça
	Pardo	Porto Santa Cruz

Nas estações de Grão Mogol, no rio Itacambiruçu e Ponte Vacaria, no rio Vacaria, utilizaram-se os períodos 73/74 e 76/77, respectivamente, por não haver registros em períodos comuns às demais estações da bacia.

Os fluviogramas foram construídos plotando-se, em ordenada, o logaritmo das descargas diárias em m^3/s e, em abscissa, o tempo em dias; todos os fluviogramas incluíram o período entre 01 de setembro e 30 de novembro do ano subsequente.

3. COEFICIENTE DE ESGOTAMENTO

Do total de vinte e sete hidrogramas construídos, são apresentados a seguir (figuras 3 e 4), apenas os da estação de Porto Itapoã, para ilustrar o método. Um simples exame destes gráficos mostra, para os rios da região, um regime fluvial bem caracterizado onde se destacam um período de cheias que vai de outubro a abril e um período de esgotamento que se inicia em abril e se estende até fins de setembro.

O período de esgotamento é definido por uma curva (curva de esgotamento), que representa a diminuição da água armazenada nos aquíferos da bacia, caracterizando seu regime em período de déficit pluviométrico.

A curva de esgotamento é a expressão de uma função exponencial decrescente cuja equação geral é:

$$y = a.e^{-mx}$$

onde:

$e = 2,71828$, base dos logaritmos neperianos;

a e m , são constantes;

x e y , são variáveis

A resolução da curva de esgotamento estabelecida por Maillet

(Castany, 1971, p. 531), foi utilizada neste trabalho por ser a que melhor se adapta às condições geológicas da área estudada, caracterizada por rochas pouco permeáveis. A fórmula de Maillet é do mesmo tipo da equação geral, e se escreve

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

onde:

Q_t = vazão no instante t , em m^3/s ;

Q_0 = vazão no instante t_0 , início do esgotamento, em m^3/s ;

α = coeficiente de esgotamento;

t = período desde o início do esgotamento, em dias;

e = base dos logaritmos neperianos (2,71828).

tomando-se os logaritmos dos dois membros da equação resulta:

$$\log Q_t = \log Q_0 - (\alpha \cdot \log e) t$$

ou substituindo $\log e$ por seu valor (0,4343), a expressão do coeficiente de esgotamento fica reduzida à equação:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0,4343 t}$$

Por esta expressão foram calculados os coeficientes de esgotamento nas bacias dos rios da área, a montante de cada estação fluviométrica considerada. Os resultados obtidos acham-se representados no quadro 3 e no mapa da figura 2.

Na análise destes resultados, deve-se levar em conta que, para bacias hidrológicas bem individualizadas, isto é, cujos aquíferos são alimentados pelas precipitações, sem perdas de água subterrânea para outras bacias e sem outros aportes externos, o coeficiente de esgotamento é função inversa, particularmente, dos seguintes fatores:

- a. dimensão dos aquíferos;
- b. porosidade eficaz ou coeficiente de armazenamento;
- c. coeficiente de permeabilidade de Darcy.

Deduz-se assim que o coeficiente de esgotamento é grandemente influenciado pelas características hidrogeológicas da bacia de um curso d'água e que seu valor é tanto menor quanto maiores forem os parâmetros relacionados às características dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos desta bacia.

Os valores do coeficiente de esgotamento encontrados para os

BACIA	RIO	ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	PERÍODO DE MEDIÇÃO	ÁREA DE DRENAGEM (Km ²)	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS AQUÍFEROS A MONTANTE DAS ESTAÇÕES					COEFICIENTE DE ESGOTAMENTO
					ALQ + CDTQ	QZ	MX	RG		
JEQUITINHONHA	JEQUITINHONHA	PORTO ITAPOÁ	51/52	66.534	11	13	29	47	0,0068	
	"	JACINTO	53/54 56/57	66.534					0,0050	
	"	ALMENARA	51/52	63.090	11	14	31	44	0,0076	
	"	JEQUITINHONHA	51/52	55.455	13	16	35	36	0,0065	
	"	ITAUBIM	51/52	50.624	14	18	39	29	0,0060	
	"		51/52	45.640	16	20	43	21	0,0066	
	"	ITINGA	51/52	42.717	17	22	46	15	0,0063	
	"	PORTO MANDACARU	53/54 56/57	42.717					0,0053	
	"	VILA TERRA BRANCA	51/52	16.196	15	53	20	12	0,0069	
	"	PONTE VACARIA	51/52	7.782	12	78	10	-	0,0074	
ARAÇUAÍ	ITACAMBIRUCU	GRÃO MOGOL	76/77	2.286	38	12	34	16	0,0053	
			73/74	4.081	32	21	-	48	0,0094	
		ARAÇUAÍ	51/52 46/47	15.842	20	3	58	19	0,0052	
		PEGA	51/52 46/47	10.917	26	2	52	20	0,0040	
PARDO		BERILO	51/52 46/47	10.218	26	3	50	21	0,0050	
		PORTO SANTANA	51/52 46/47	7.313	23	3	50	24	0,0056	
		ALFREDO GRAÇA	46/47	1.051	13	-	35	52	0,0035	
	P ARDO	PORTO SANTA CRUZ	46/47	12.807	27	3	61	19	0,0029	

QUADRO 3
COEFICIENTE DE ESGOTAMENTO DAS
BACIAS DOS RIOS JEQUITINHONHA E PARDO

rios da área do Projeto (quadro 3), sugerem, a primeira vista, que as bacias hidrográficas desses rios se desenvolveram em terrenos predominantemente sedimentares com grande capacidade de infiltração e de armazenamento. Sabe-se, entretanto, que tanto na bacia do rio Jequitinhonha e de seu afluente, o Araçuaí, como na bacia do rio Pardo, a geologia mostra uma ampla predominância de rochas cristalinas, como ilustra o quadro 3.

Estudos realizados na bacia hidrológica do vale do Jaguaribe (SUDENE, 1979), situada em plena Zona Semi-Árida do Nordeste, permitem definir alguns valores para o coeficiente de esgotamento e relacioná-los com as condições geológicas da bacia. Constatou-se que, para as bacias contribuintes esculpidas em terrenos cristalinos, o coeficiente é da ordem de 0,064; já para bacias em condições geológicas mistas, isto é, com terrenos cristalinos e sedimentares o α médio é de 0,011. Mesmo em regiões úmidas da faixa costeira do Estado da Paraíba, cuja precipitação média ultrapassa 1000mm, estudos realizados pela OESA (1975) definiram coeficientes de esgotamento de 0,0085 para as bacias dos rios Mamuaba e Mumbaba e de 0,0069 para a bacia do rio Gramame; vale ressaltar que todas são bacias desenvolvidas, na sua totalidade, sobre sedimentos cretácicos e terciários.

Os exemplos acima servem para mostrar o quanto os coeficientes encontrados na área de estudo são baixos, levando-se em conta as condições geológicas nela predominantes.

Na bacia do rio Araçuaí, os valores do coeficiente de esgotamento são baixos mesmo quando comparados com os encontrados para alguns dos afluentes do rio São Francisco, como o Paracatu ($\alpha=0,0061$), cujas bacias drenam importantes áreas esculpidas em arenitos cretácicos. Num dos afluentes do Araçuaí, o rio Gravatã, encontrou-se um valor de 0,0029, ordem de grandeza que se aproxima da do rio Cochá (0,0022), afluente do Carinhanha, que tem praticamente 100% de sua bacia em arenitos cretácicos da Formação Urucuia.

Quando se considera a bacia do Jequitinhonha como um todo, as seguintes observações podem ser feitas:

- a. os coeficientes encontrados para as estações mais a jusante, como as do trecho entre Itinga e Salto da Divisa têm valores muito próximos e que se identificam com os encontrados para os rios Paracatu e Urucuia, afluentes do rio São Francisco. Estes valores já são indicativos de uma capacidade de armazenamento bastante

elevada.

- b. a montante de Itinga, há uma tendência de redução nos valores do coeficiente para as bacias do Araçuaí e do Jequitinhonha. Isto vem demonstrar que as áreas do alto curso têm melhores características hidrogeológicas. Uma exceção a esta regra se verifica na estação do Porto Mandacaru onde o valor encontrado, de 0,0074, representa o máximo da bacia, no período de 51/52, provavelmente por influência da sub-bacia VII.
- c. as pequenas bacias contribuintes como Itacambiruçu e Vacaria mostram valores coerentes com aqueles encontrados para os trechos maiores. No caso da estação de Grão Mogol, no rio Itacambiruçu, o valor 0,0094, aparentemente anômalo, é representativo de um ano de precipitação excepcionalmente alta para a região.

Para a bacia do rio Pardo, na única estação aproveitável, Porto Santa Cruz, encontrou-se um valor de α também muito baixo, mas muito próximo daqueles da bacia do Jequitinhonha.

4. SEPARAÇÃO DAS COMPONENTES DO ESCOAMENTO TOTAL

Os hidrogramas do escoamento total representam a soma dos escoamentos superficial direto, hipodérmico, e subterrâneo. A partir da decomposição destes hidrogramas logrou-se efetuar a separação dessas componentes, utilizando-se o método gráfico proposto por Barnes (Custódio, 1975, p. 395), por ser o que melhor se aproxima da realidade. Nos trechos onde há várias enchentes sucessivas, traçou-se uma linha sinuosa unindo os pontos onde é evidente que existia somente descarga-base. Em todos os hidrogramas foram traçados os limites entre o escoamento superficial e subterrâneo levando-se em conta as relações hidráulicas rio-aquífero, conforme ilustrado nas figuras 3 e 4. Assim, considerou-se que o escoamento subterrâneo se processa durante todo o ano, mesmo nos períodos de cheia, de vez que as descargas dos aquíferos fraturados e terciário-quartenários, que representam a grande maioria das águas restituídas aos rios, ocorrem em cotas superiores a estes. Apenas nas aluviões o escoamento subterrâneo cessa no período de cheia. Considerou-se também que as contribuições subterrâneas de circulação profunda, oriundas de aquíferos confinados, são desprezíveis. O grande número de estações consideradas, permitiu uma boa caracterização das bacias e sub-bacias dos rios Jequitinhonha, Araçuaí e Pardo.

Os resultados obtidos acham-se ilustrados nos quadros 4 e 5 e nos mapas das figuras 2 e 5; no primeiro, quadro 4, os dados são referentes a toda área da bacia a montante de cada estação fluviométrica e no segundo, eles correspondem às sub-bacias contribuintes aos trechos entre estações sucessivas.

Nestes quadros quando se considera um único período de observação, como 51/52 por exemplo, utilizado para a maioria das estações, evidenciam-se diferenças marcantes nos valores encontrados, que refletem, principalmente, as diferenciações no caráter físico e geológico das bacias ou trechos de bacia, tais como: relevo, distribuição dos aquíferos e características litológicas e estruturais das próprias unidades hidrogeológicas. Quando, porém, se analisa os resultados de dois ou mais períodos de observações, para uma mesma estação, as diferenças encontradas estão relacionadas, muito mais às variações na distribuição e quantidade de precipitação no período considerado e nas condições do estado inicial da superfície piezométrica.

Ao lado de dados físicos das bacias e sub-bacias, como área de drenagem e distribuição percentual dos aquíferos, os quadros 4 e 5 apresentam os dados referentes aos deflúvios total, direto e subterrâneo) e às precipitações médias em cada período, e em cada trecho de suas áreas de drenagem. Entre outros parâmetros calculados, foram incluídos a "capacidade de armazenamento" e o "coeficiente de infiltração" que são úteis para estimar as reservas e a infiltração, assuntos abordados nos itens seguintes.

Conforme foi enfatizado anteriormente, os valores dos parâmetros calculados para cada estação (quadro 4), representam as características médias do total de sua área de drenagem. Os valores de terminados para as sub-bacias (quadro 5), permitem comparações entre suas características e as dos trechos a montante, representados no quadro 4. Os resultados sumarizados nestes quadros permitem algumas conclusões:

- a. o percentual do deflúvio subterrâneo com relação ao deflúvio total, no conjunto da bacia, mostra valores bastante elevados, superiores a 40% para a maioria das estações, independentemente do período. Considerando os trechos principais, no período 51/52, observa-se que:
 - na bacia do Araçuaí estes valores são decrescentes para montante, com um mínimo de 54% em Porto Santana;

BACIA	RIO	ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	ÁREA DE DRENAGEM (Km ²)	PERÍODO DO	DEFLÚVIOS NO PERÍODO (m ³ x 10 ⁶)		% DO DEFLÚ- VIO SUBTERRÂNEO EM RELAÇÃO AO TOTAL DA ESTACÃO	% DO DEFLÚ- VIO SUBTERRÂNEO COM RELAÇÃO AO DEFLÚVIO/PORTO ITAIOÁ	DESCARGA SUBTERRÂNEA ESPECÍFICA (l/s/Km ²)	DESCARGA SUBTERRÂNEA MÉDIA DO PERÍODO (m ³ /s)	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO (m ³ x 10 ⁶)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO %	
					TOTAL DIRETO	SUBTERRÂNEO								
JEQUITINHONHA	" "	PORTO ITAIOÁ	66.534	51/52	11.607	6.322	45	45	2,5	167	2732	606	13	
					53/54	9.453	6.121	35	35	1,6	106	2073	-	-
					56/57	21.133	11.541	45	45	4,6	304	5684	-	-
					51/52	11.096	6.140	45	43	2,5	157	2.658	599	13
					51/52	10.402	5.562	46	42	2,7	153	2.593	598	14
					51/52	10.074	5.424	46	40	2,9	147	2.592	595	15
					46/47	8.289	3.360	59	-	3,2	156	-	813	12
					51/52	9.344	4.952	47	38	3,0	139	2.556	573	17
					51/52	8.908	4.658	48	37	3,2	135	2.400	564	17
					53/54	6.716	4.216	2.500	37	1,8	79	1.320	-	-
" "	" "	ITINGA	42.717	56/57	15.698	8.299	47	-	5,5	234	4.384	-	-	
				46/47	7.395	3.156	57	-	3,1	134	-	828	12	
" "	" "	PORTO MANDUÇARU	16.196	51/52	4.613	2.840	38	15	3,4	56	864	953	11	
				51/52	3.029	1.944	36	9	4,4	34	745	1.194	12	
" "	" "	TERRABRANCA	1.311	51/52	1.278	914	28	3	8,4	11	-	1.577	17	
				76/77	171	127	44	25	0,4	1	36	813	2	
" "	" "	MENDANHA	2.286	51/52	1.278	914	28	-	0,4	1	36	813	2	
				76/77	171	127	44	24	1,5	6	83	1.000	5	
" "	" "	PONTE VACARIA	4.081	73/74	827	631	196	-	1,5	6	83	1.000	5	
				GRAO MOGOL	3.102	1.338	57	15	3,5	56	1.395	1.030	11	
" "	" "	ARAÇUAÍ	15.842	46/47	2.794	954	1.840	66	3,7	58	1.274	731	16	
				51/52	2.737	1.235	55	13	4,4	48	1.175	1.071	13	
" "	" "	PEGA	10.917	46/47	2.356	836	1.500	55	4,4	48	960	753	19	
				51/52	2.555	1.141	55	12	4,4	45	986	090	13	
" "	" "	BERILLO	10.218	46/47	2.226	805	1.421	64	4,4	45	882	776	18	
				51/52	2.117	979	54	10	4,9	36	771	1.144	14	
" "	" "	PORTO SANTANA	7.313	46/47	1.788	564	1.224	68	5,3	39	-	805	21	
				51/52	1.788	564	68	-	1,9	2	71	675	10	
" "	" "	ALFREDO GRAÇA	1.051	46/47	106	34	72	67	1,9	2	71	675	10	
				51/52	106	34	72	67	1,9	2	71	675	10	
" "	" "	PORTO SANTA CRUZ	12.807	46/47	493	242	251	51	0,6	8	149	484	4	
				51/52	493	242	251	51	0,6	8	149	484	4	

QUADRO 4
 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
 DAS BACIAS DOS RIOS JEQUITINHONHA E PARDO

- na bacia do Jequitinhonha, a montante de Porto Mandacaru, os valores também decrescem na mesma forma, variando de 38 a 24%. A jusante de Itinga, os valores se mantêm em torno de 45%;
- nas sub-bacias, há grandes variações nos percentuais do deflúvio, mesmo quando se comparam trechos constituídos por aquíferos similares, como nas sub-bacias I e II.

Quando se comparam valores de períodos distintos para a mesma estação, cujos escoamentos totais sejam muito diferentes, como por exemplo, Itinga em 46/47 e 56/57, os resultados são aparentemente incoerentes (um deflúvio total muito maior com percentual de deflúvio subterrâneo menor). Isto se explica pela influência das condições de armazenamento da bacia nos períodos anteriores, que afetam também outros parâmetros tais como capacidade de armazenamento e coeficiente de infiltração.

- b. a descarga subterrânea média na bacia do Jequitinhonha, examinada no período de 51/52, mostra valores sempre crescentes desde as cabeceiras até Porto Itapoã; isto significa que o rio recebe continuamente novos aportes de água. No quadro 5 pode-se visualizar as descargas subterrâneas médias de cada sub-bacia;
- c. a descarga subterrânea específica representa um índice de produtividade das bacias, caracterizando muito bem os aquíferos que as compõem.

Na bacia do Jequitinhonha, em 51/52, as contribuições unitárias decrescem significativamente de montante para jusante. A propósito disto, convém destacar as diferenças nas descargas específicas das sub-bacias que drenam exclusivamente rochas gnáissicas (sub-bacias I e V), diferenças essas que refletem variações nas características hidrogeológicas destas áreas. Diferenças muito grandes são notadas também entre a sub-bacia IX, composta quase exclusivamente por quartzitos, e as demais sub-bacias do vale, traduzindo as excepcionais qualidades dos quartzitos do Supergrupo Espinhaço como aquíferos. Deve-se mencionar também os valores excepcionalmente altos encontrados para as sub-bacias do Araçuaí, constituídas predominantemente por rochas xistosas, cujas potencialidades como aquíferos são, normalmente fracas;

- d. a contribuição subterrânea da bacia, quando relacionada ao deflúvio total em Porto Itapoã atinge 45%; destes, 15% são produzidos pela bacia do Araçuaí; igual contribuição provém da bacia do Jequitinhonha, a montante de Porto Mandacaru e, os 15% restante é

contribuição do trecho entre Araçuaí, Porto Mandacaru e Itapoã.

5. ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO

A infiltração referida neste capítulo corresponde a água infiltrada na bacia, ou em trechos dela, no período de um ano. Utilizou-se para seu cálculo o estudo dos fluviogramas efetuados nos itens 3 e 4 e os dados de precipitação média nos períodos correspondentes aos dos referidos fluviogramas.

A precipitação média em cada trecho na bacia foi calculada a partir dos mapas de isoietas médias, elaborados a partir de dados obtidos nos "Estudos Climáticos" do Projeto Jequitinhonha, para os períodos de 46/47, 51/52, 73/74 e 76/77.

Os valores de infiltração foram calculados pela expressão:

$$I = \frac{h}{P} \times 100,$$

onde:

I = coeficiente de infiltração, em %;

h = altura de água infiltrada, em mm;

P = precipitação média, em mm.

A altura da água infiltrada (h) foi obtida através de igualdade:

$$h = \frac{V}{A}, \text{ na qual;}$$

V = volume anual de entrada (que se iguala ao de saída e corresponde ao deflúvio subterrâneo anual), e

A = área de recarga da bacia à montante da estação fluviométrica considerada.

O coeficiente de infiltração médio para as áreas consideradas está representado nos quadros 4 e 5 e na figura 5. Considerando o período 51/52 pode-se observar que:

- a. na área drenada pelo rio Jequitinhonha, os valores encontrados para os vários trechos pouco se desviam dos 13% representativos da média da bacia à montante de porto Itapoã; a menor infiltração (11%) foi verificada nos trechos drenados pelas estações de Araçuaí e Porto Mandacaru;
- b. na região de predominância de rochas gnáissicas destacam-se as sub-bacias III e V com infiltração baixa (entre 6 e 7%); o trecho I que se identifica com a média da bacia (13%), e o trecho

- II, com valor de apenas 2%, o mais baixo da região;
- c. na sub-bacia IX, constituída quase que exclusivamente por quartzitos, o valor de 17% reflete bem as boas condições de infiltração destas rochas quando comparadas com as rochas gnáissicas;
 - d. os resultados das sub-bacias do rio Araçuaí são melhores onde há participação de rochas xistosas; isto parece indicar condições muito boas para estas rochas, todavia, a existência de grandes áreas com coberturas detríticas nestas sub-bacias, pode sugerir alguma influência destes sedimentos nos valores encontrados.

Com base dos dados do período 46/47, foram calculadas a infiltração para a bacia do rio Pardo e para algumas sub-bacias do Jequi-tinhonha. Os resultados obtidos permitem as seguintes observações:

- a. a bacia do rio Pardo mostra um valor baixíssimo (4%) para a infiltração; isto, em parte, é devido às condições climáticas mais severas que predominam naquela área, propiciando altos valores para evapotranspiração. A infiltração nas áreas das cabeceiras, onde predominam quartzitos e coberturas detríticas, deve ser bem mais elevada. Se os cálculos forem realizados desprezando-se as áreas onde praticamente não há infiltração, que corresponde a 40% do total da bacia, em região sobretudo xistosa, chega-se a um valor de 6%, ainda baixo, mas, bem mais próximo da infiltração real para as faixas de quartzitos e coberturas do alto curso do Pardo.
- b. Para a bacia do Araçuaí, os valores calculados para as estações de Araçuaí, Pega, Berilo e Alfredo Graça, no período 46/47, são superiores aos obtidos em 51/52, variando de 5 a 7%, apesar de neste último período as precipitações médias serem mais altas. Este fato, conforme foi explicado no capítulo anterior, item 4-a, está relacionado com as condições do estado inicial da bacia no período, além de outros fatores ligados às variações nas condições meteorológicas dos períodos, como distribuição de chuvas, evapotranspiração, etc.

6. ESTIMATIVA DAS RESERVAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A quantificação das reservas de água subterrânea de uma região, pressupõe um conhecimento das características dimensionais e da porosidade eficaz ou coeficiente de armazenamento das diversas unidades aquíferas. O conhecimento atual dos parâmetros dos aquíferos que

ocorrem na área não é suficiente para que se definam quantitativa-
mente os vários tipos de reserva para cada unidade hidrogeológica;
todavia, com base no estudo dos hidrogramas (itens 3 e 4), pode-se,
em primeira aproximação, fazer uma estimativa da "reserva regulado-
ra", isto é, "do volume de água livre armazenado em uma seção dos
aquíferos limitada por dois níveis piezométricos extremos, mínimo
e máximo da superfície piezométrica, ao longo de um período consi-
derado" (Castany, 1975). Estas reservas são as que alimentam e re-
gulam a vazão de fluxo das águas subterrâneas nas surgências natu-
rais (Castany, op.cit.); elas são, por conseguinte, correspondentes
à variação da reserva

A determinação da capacidade de armazenamento foi realizada a
partir do estudo das curvas de esgotamento, considerando a equação
de Maillet:

$$q = q_0 e^{-\alpha(t - t_0)}$$

como os valores de q_0 e α são conhecidos (item 3), o volume de água
subterrânea armazenado no instante t_0 , acima do nível de base será:

$$V = \int_0^{\infty} Q dt = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt = \frac{Q_0}{\alpha}$$

como α na fórmula de esgotamento, se calcula em dias, a equação fi-
nal resulta:

$$V = \frac{86.400 Q_0}{\alpha}$$

Os valores da capacidade de armazenamento, expressos no quadro
4, representam o volume global para os aquíferos situados na área
de influência da estação considerada. No quadro 5 acham-se os re-
sultados encontrados para as sub-bacias. Na análise desses resulta-
dos deve-se destacar os seguintes pontos:

- a. no período 51/52, tem-se um total de $2732 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água acu-
mulada no trecho a montante do Porto Itapoã. Para estes mesmo tre-
cho, considerando-se um período muito seco (53/54), e muito chu-
voso (56/57), observam-se variações acentuadas, para menos e pa-
ra mais, respectivamente, nos valores de V; isto indica uma de-
pendência direta entre a variação de reserva e os fatores climá-
ticos;

BACIA	RIO	SUB-BACIA	ESTAÇÕES UTILIZADAS	PERÍODO	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS AQUIFEROS (%)			DEFLUÍO NO PERÍODO (m ³ x 10 ⁶)		% DO DEFLUÍO SUB-TERRÂNEO EM RELACÃO AO TOTAL DO TRECHO	DESCARGA SUB-TERRÂNEA MÉDIA (m ³ /s)	DESCARGA SUPERFICIAL (l/s/km ²)	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DA SUB-BACIA (m ³ x 10 ⁶)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO (%)		
						ALQ+CDTO	Qz	Nz	Rg	TOTAL							DIRETO	SUB-TERRÂNEO
	Jequitinhonha	-	SÃO PEDRO DO JEQUITINHONHA - ITINGA	46/47	5.836	-	-	-	100	894	204	690	77	22	3,8	-	61,4	19
V	"	I	PORTO ITAPOÁ - JACINTO	51/52	3.444	-	-	-	100	511	172	329	64	10	2,9	7,4	70,9	13
X	"	II	JACINTO - ALMENARA	51/52	7.635	-	-	-	100	694	578	116	17	4	0,5	265	607	2
Z	"	III	ALMENARA - JEQUITINHONHA	51/52	4.831	-	-	-	100	328	138	190	58	6	1,2	1,99	642	6
O	"	IV	JEQUITINHONHA - ITAUBIM	51/52	4.984	-	-	-	100	73,0	472	258	35	8	1,6	236	793	6
H	"	V	ITAUBIM - ITINGA	51/52	2.923	-	-	-	100	438	294	144	33	4	1,4	4,4	698	7
Z	"	VI*	ITINGA - ARAÇUAÍ - PORTO MANDACARU	51/52	10.679	16	3	67	14	1.191	480	711	60	22	2,1	1.005	660	10
I	"	VII**	PORTO MANDACARU - VILA TERRA BRANCA	51/52	8.414	24	25	27	24	1.594	896	688	43	22	2,6	119	73,0	11
O	"	VIII	VILA TERRA BRANCA - MENDANHA	51/52	6.471	14	74	12	-	1.751	1.050	721	41	23	3,5	-	1.116	10
O	"	IX	MENDANHA	51/52	1.311	6	94	-	-	1.278	94	364	28	12	8,4	-	1.577	17
E	VACARIA	1	PONTE VACARIA	76/77	2.286	37	12	34	16	171	127	44	26	1	0,4	-	813	2
E	ITACAMBIRUÇU	2	GRÃO MOGOL	73/74	4.081	32	21	-	48	827	631	196	24	6	1,5	83	1.000	5
E	ARAÇUAÍ	X***	ARAÇUAÍ - PEGA	51/52	4.925	7	4	71	18	365	103	262	72	8	1,7	22,0	938	5
A	"	XI	PEGA - BERILO	51/52	699	19	-	81	-	182	94	88	48	3	4,0	179	794	16
A	"	XII	BERILO - PORTO SANTANA	51/52	2.905	29	-	62	9	438	162	276	63	9	3,1	225	906	10
A	"	XIII	PORTO SANTANA	51/52	7.313	23	3	50	24	2.117	979	1.138	54	36	4,9	771	1.144	14
A	GRAVATA	3	ALFREDO GRAÇA	46/47	1.051	13	-	35	52	106	34	72	67	2	1,9	71	675	10
PARDO	PARDO	XIV	PORTO SANTA CRUZ	46/47	12.807	27	3	51	19	493	242	251	51	8	0,6	149	484	4

* INCLUI SUB-BACIA 1

** INCLUI SUB-BACIA 2

*** INCLUI SUB-BACIA 3

QUADRO 5
CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DAS
SUB-BACIAS DOS RIOS JEQUITINHONHA, ARAÇUAÍ E PARDO

- b. quando se comparam os valores obtidos nos trechos drenados pelas estações de Araçuaí e Porto Mandacaru, em 51/52, nota-se que, para esta última, há um volume armazenado menor para uma área de drenagem maior, indicando melhores condições estruturais para a bacia do Araçuaí. Este mesmo fato é muito claro, também para as sub-bacias I e II, em terrenos gnáissicos.

BIBLIOGRAFIA

- CASTANY, G. - Prospección y Explotación de las Águas Subterráneas. Barcelona, Omega, 1975.
- _____ - Tratado Prático de las Águas Subterráneas. Barcelona, Omega, 1971.
- CETEC. - 2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro: Recursos Naturais. Belo Horizonte, 1981.
- _____ - Projeto: Levantamento Integrado de Recursos Naturais do Vale do Jequitinhonha. Belo Horizonte, 1980. Inédito.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. - Hidrologia Subterránea. Barcelona, Omega, 1976.
- DNAEE. - Boletim Fluviométrico - Bacia do Jequitinhonha; dados atualizados até 1975. DNAEE - Divisão de Controle de Recursos Hídricos, 5º Distrito - Belo Horizonte, Brasília - 1979.
- OESA/SUDENE/CONESP. Estudo de Reconhecimento e Hidrogeológico para Aproveitamento Integrado - Região Centro-Leste da Bacia Potiguar e Bacias Costeiras da Paraíba e Pernambuco. Recife, 1976.

FIGURA 3
 HIDROGRAMA DO RIO JEQUITINHONHA

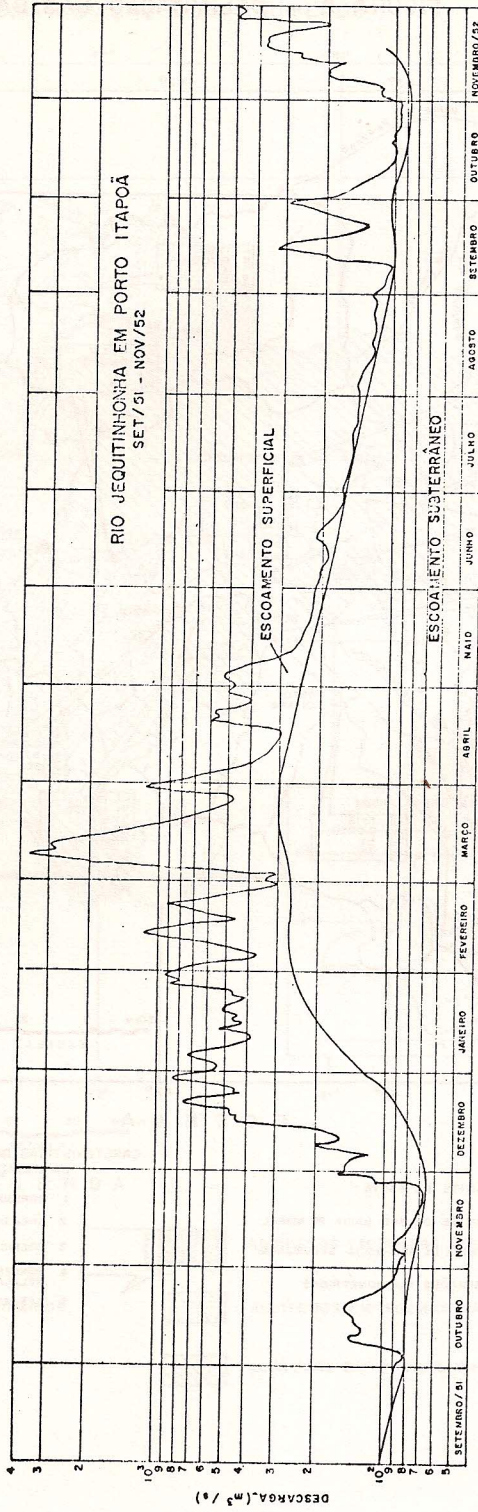


FIGURA 4
 HIDROGRAMAS DO RIO JEQUITINHONHA

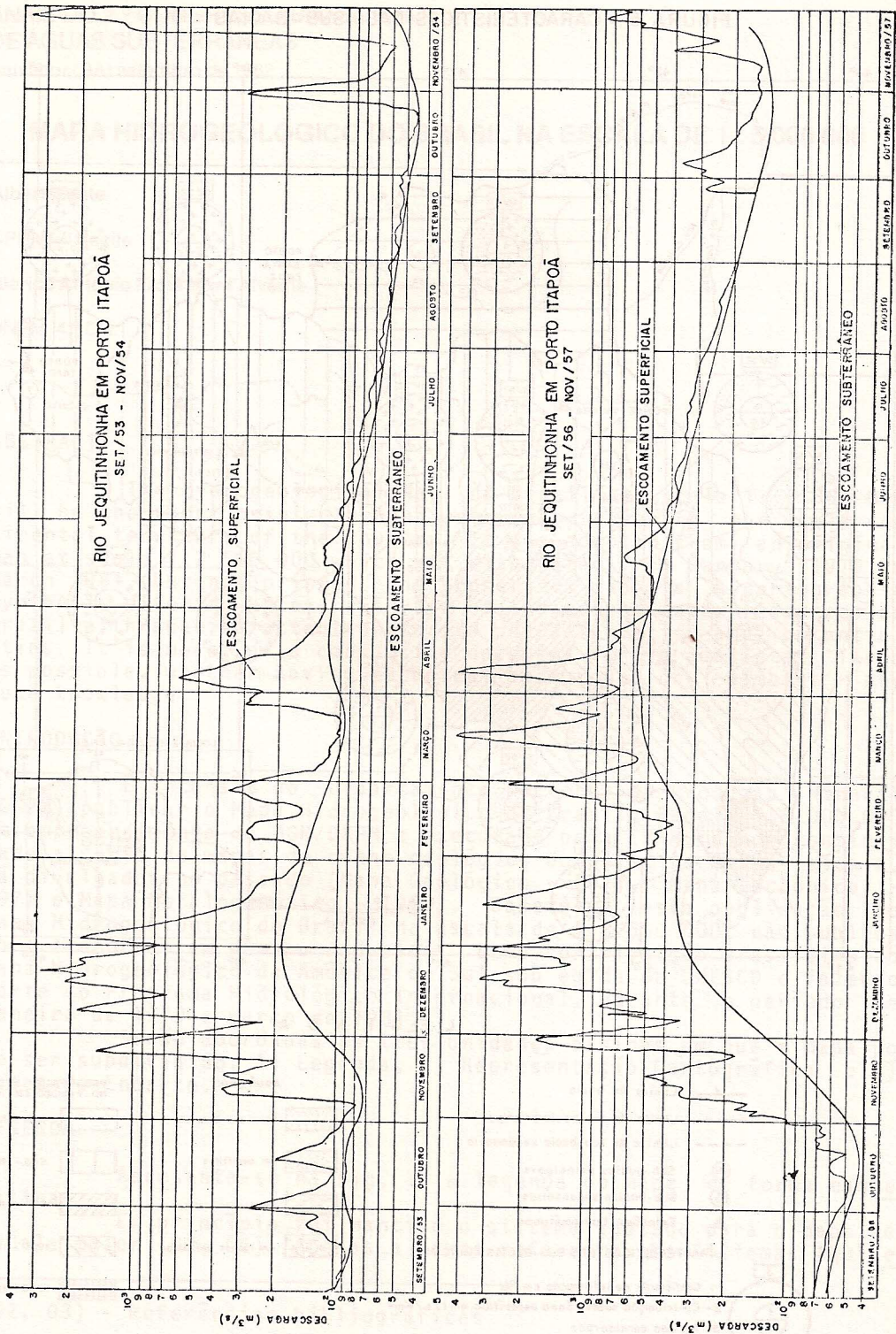
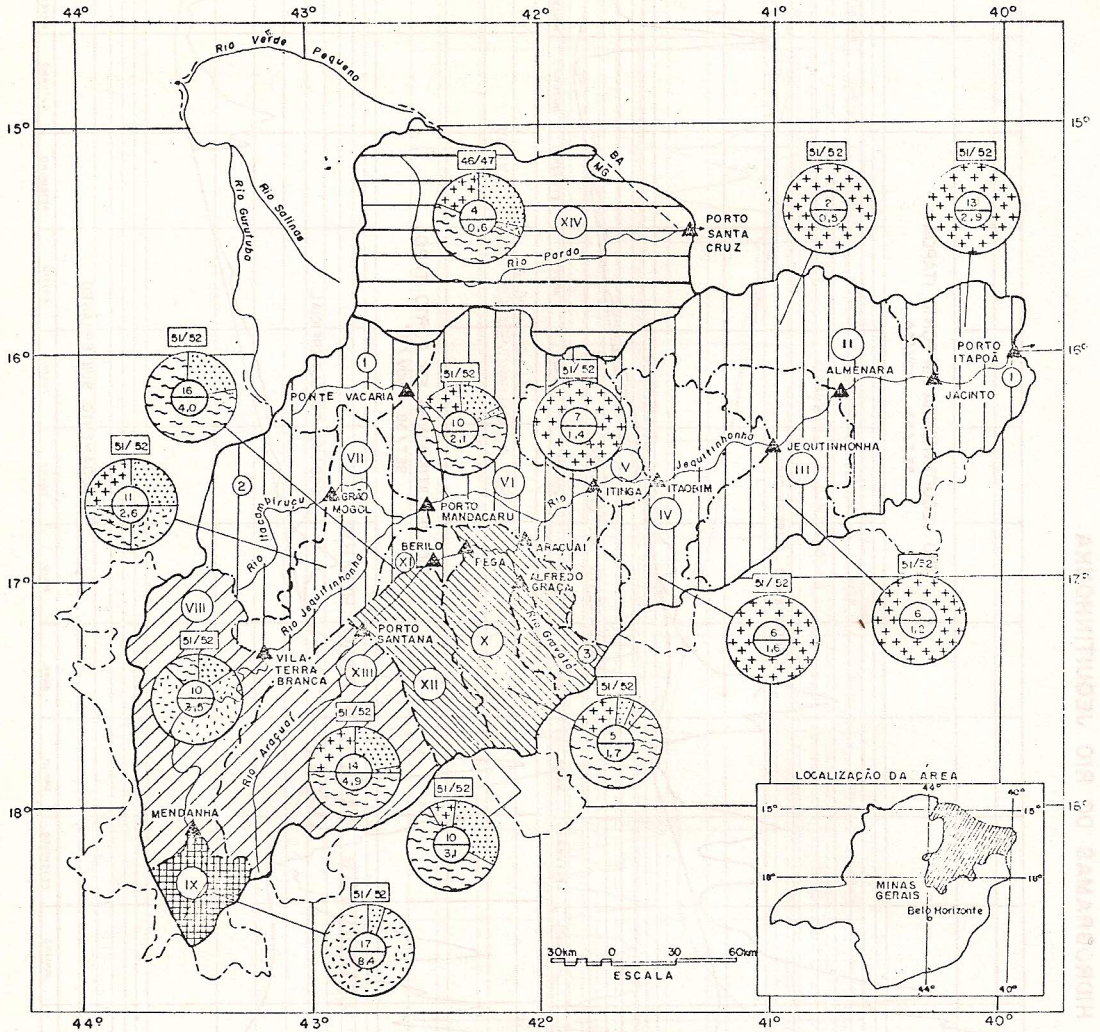


FIGURA 5 - CARACTERÍSTICAS DAS SUB-BACIAS

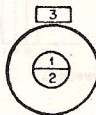


LEGENDA

- Limite de bacia
- Limite de sub-bacia principal
- - - Limite de sub-bacia secundária
- (III) Sub-bacias principais
- (3) Sub-bacias secundárias
- ▲ Estações fluviométricas

CARACTERÍSTICAS DAS SUB-BACIAS PRINCIPAIS

- 1 - Coeficiente de infiltração em %
- 2 - Contribuição subterrânea específica, em l/s / Km²
- 3 - Período considerado



AQUÍFEROS		PRECIPITAÇÃO MÉDIA NO PERÍODO, EM mm	
	Aluviais e colúviais		400 - 600
	Em quartzitos		600 - 800
	Em rochas xistosas		800 - 1000
	Em rochas gnáissicas		1000 - 1200
			1200 - 1600