

HIDROGEOLOGIA DO MÉDIO VALE DO JEQUITINHONHA, MINAS GERAIS-BRASIL E A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE LINEAMENTOS NA LOCAÇÃO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS.

Fernando Roberto de Oliveira- Universidade de São Paulo-USP - fro@usp.br
 Leila Nunes Menegasse –Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG - menegasse@dedalus.lcc@ufmg.br
 Uriel Duarte –Universidade de São Paulo-USP - urduarte@usp.br

Resumo. Este trabalho descreve a hidrogeologia regional do médio Jequitinhonha, localizado no nordeste do Estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil e estuda a relação entre lineamentos e produtividade dos poços. A área estudada engloba quatro unidades hidrogeológicas maiores representadas por metassedimentos do Grupo Macaúbas, granitóides intrusivos, coberturas sedimentares terci-quaternárias e aluviões. Foi gerado um produto digital base, na escala 1:80.000, a partir de uma imagem do satélite Landsat TM-5, para a locação dos poços e demarcação de lineamentos. Esse produto é constituído pela sobreposição de uma composição colorida RGB (541) com a PC1 no canal de intensidade, resultando em uma imagem rica em informações textural e tonal. Os poços com lineamentos associados apresentam vazões superiores, em torno de 50%, quando comparados àqueles sem tal associação. Nos metassedimentos, o menor índice de poços secos estão associados à lineamentos com atitudes N01°-20°, N121°-140° e N141°-160°. Enquanto que nos granitóides essas atitudes são N01-20°, N61-80° e N121-140°. Por outro lado, os maiores índices de poços secos estão associados com lineamentos nas direções N21°-40° e N61-80° nos metassedimentos, e N81°-100°, N141°-160° e N161°-180° para os granitóides.

Keys word: hidrogeologia, fraturado, sensoriamento, neotectônica, Jequitinhonha, lineamento.

INTRODUÇÃO

O vale do Jequitinhonha está situado na porção nordeste do Estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil (Figura 1). Essa área é marcada por condições climáticas adversas denotadas por clima semi-árido, com precipitação anual média de 800 mm e evapotranspiração média de 1250 mm, portanto com elevado déficit hídrico. Os solos da região são, em sua maioria, de baixa fertilidade. A maioria dos cursos de d'água são temporários. Essas condições naturais pouco favoráveis ao desenvolvimento humano, aliadas a fatores políticos-econômicos, fomentaram o desenvolvimento de uma sociedade local caracterizada por baixíssimos indicadores sociais, estando entre os mais baixos do Brasil (mortalidade infantil, desnutrição, analfabetismo e desemprego).

A disponibilidade de água superficial na região é insuficiente para atender a demanda na zona rural, notadamente no período de estiagem, sendo necessário o aporte via caminhões pipa para abastecê-las.

O abastecimento de água na zona rural dessa região, através da água subterrânea, é dificultado devido ao elevado índice de insucesso na perfuração

de poços tubulares profundos, pois a maioria das litologias que ocorrem na região é de natureza cristalina. Apresentam majoritariamente porosidade secundária, dada por juntas e falhas, acarretando alto percentual de poços secos ou com vazões insuficientes e, localmente, altos valores de salinidade.

O entendimento do cenário hidrogeológico regional passa necessariamente pelo estudo estrutural, especialmente da trama rúptil, a qual é o principal meio de circulação e armazenamento de água subterrânea nos litotipos que ocorrem na área. A inovação na pesquisa que esta sendo realizada na região consiste em uma abordagem metodológica direcionada para o cenário neotectônico, o qual poderá levar a resultados qualitativamente importantes, no que diz respeito à demarcação de áreas favoráveis à perfuração de poços tubulares profundos. Os dados iniciais configuram um quadro neotectônico marcado por deformações essencialmente rúpteis, com o reaproveitamento de descontinuidades prévias herdadas de fases deformacionais pretéritas, ou pela nucleação de novas estruturas.

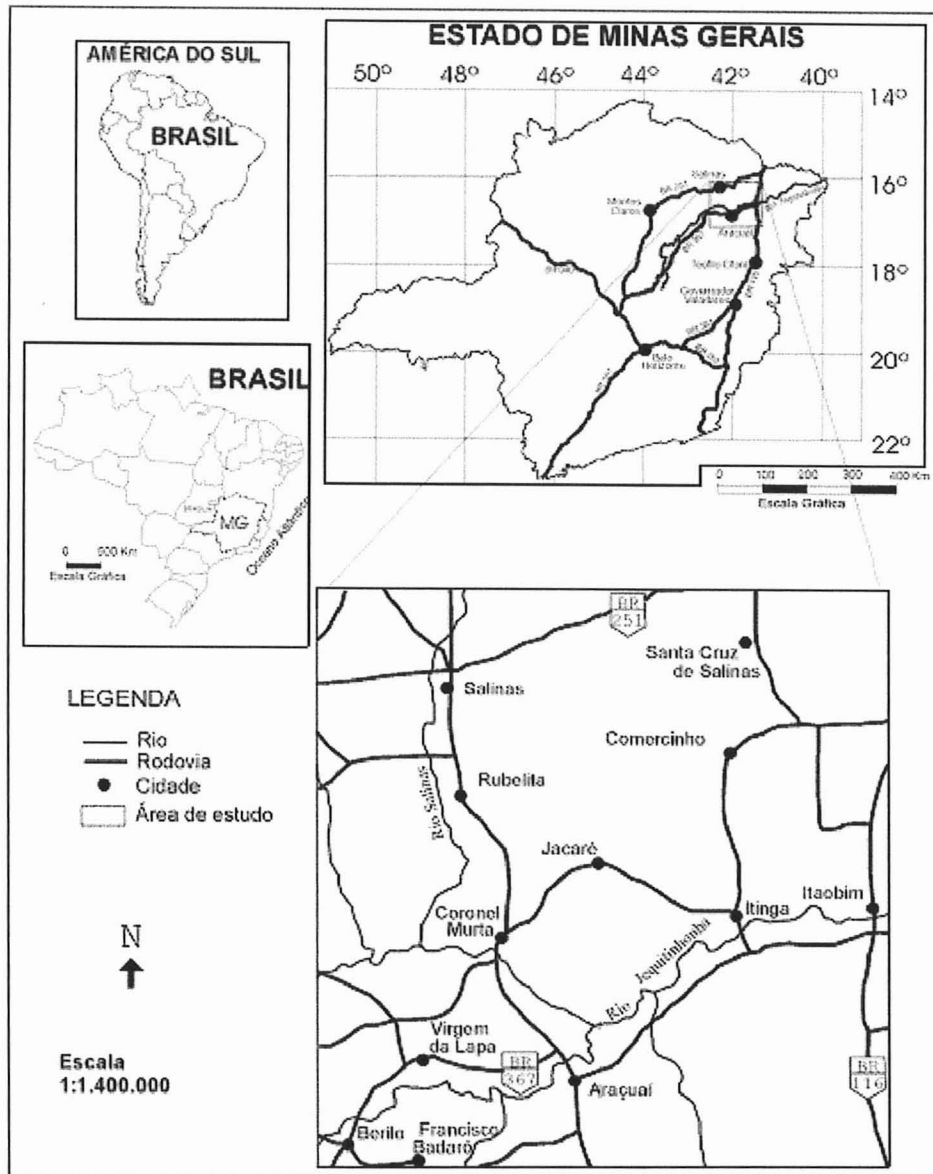


Figura 1- Mapa de localização da área estudada.

METODOLOGIA

O estudo de lineamentos foi realizado a partir de uma imagem do satélite Landsat 5-TM, com as bandas 1,2,3,4,5 e 7. Identificada por WRS 217-071, obtida em 22-08-1997, correspondente ao período de pico da estiagem na região. É necessário uma imagem com baixa cobertura de nuvens para o estudo de feições morfológicas e estruturais, como no presente caso. A imagem passou inicialmente por um pré-processamento, envolvendo corte e correções geométrica e atmosférica. Em seguida foi realizada a Análise por Principal Componente (APC) onde foi escolhido a PC1 contendo a informação espectral comum a todas as bandas, dada pelo albedo e sombreamento topográfico,

fundamentais no estudo de morfoestruturas e lineamentos. Em seguida, foi confeccionada uma composição colorida RGB, respectivamente, com as bandas tm 5, tm 4 e tm 1. Após ajustes de contraste, a PC1 foi superposta àquele tripleto, como uma camada de intensidade, resultando em uma imagem rica em informações texturais e tonais. O processamento digital de imagens foi realizado através do software Er Mapper 5.5 (Earth Resource Mapping).

A imagem resultante foi carregada e georreferenciada no software Idrisi 2.0 (Clark Labs), com posterior plotagem dos poços tubulares profundos.

A partir da localização dos poços tubulares na imagem composta (RGB e PC1) foram traçados os lineamentos associados aos mesmos, em uma escala

de 1:80.000, através do software Cartalinx (Clark Labs).

Em uma análise inicial os poços foram separados em dois conjuntos: i) sem lineamento associado, ii) com lineamento (s) associado (s). Os lineamentos ora em questão estão em acordo com a definição de O'Leary *et al.* (1976), e, naturalmente, foram traçados de acordo com a escala da imagem, no caso 1:80.000. Os dois conjuntos foram comparados entre si, através de tratamentos estatísticos.

Em um segundo momento, os poços com lineamentos associados foram compartimentados segundo as atitudes dos mesmos, em faixas de 20° e, então analisados alguns de seus principais parâmetros produtivos e qualitativos, bem como a natureza do(s) lineamento (s) associado(s).

Por último, os lineamentos associados aos poços foram confrontados com aqueles encontrados regionalmente na área abrangida pela pesquisa, já demarcados em outros produtos digitais, em escalas menores (1:100.000 e 1:250.000), bem como com trabalhos de campo.

CENÁRIO GEOLÓGICO

A área estudada se situa na extremidade Nordeste da Província da Mantiqueira, fazendo limites a oeste e a norte com o Craton do São Francisco e a leste com a Província Costeira (Almeida, 1977).

A geologia da região é marcada por um extenso pacote de metassedimentos de natureza glacio-marinha, representado pelo Grupo Macaúbas, localizado majoritariamente na metade ocidental da área, de idade neoproterozóica, englobando principalmente, biotita-xistos, quartzitos, metadiamictitos, xistos carbonáticos, entre outros litotipos (Pedrosa-Soares, 1997). Na metade oriental predominam rochas granitóides intrusivas, relacionados às faixas móveis neoproterozóicas (Pedrosa-Soares *et al.* 1994), configurando amplos corpos intrusivos, tardi- a sin-tectônicos e sin-a pós-tectônicos, com formas diapíricas, eventualmente de dimensões batolíticas, possuindo um acervo geocronológico que indicam idades situadas no intervalo entre 500 e 700 Ma.

Ambos os conjuntos litoestratigráficos se encontram parcialmente capeados por sedimentos recentes materializados pela Formação São Domingos e por Coberturas quaternárias.

A Formação São Domingos ocorre como extensas chapadas, localizadas especialmente nas porções sudoeste e nordeste da área. Essas constituem superfícies planas a levemente

onduladas, apresentam bordas com quebras abruptas resultando em um talude quase vertical e assentam-se em discordância erosiva ou angular sobre os metassedimentos do Grupo Macaúbas e rochas granitóides. A Formação São Domingos é constituída por arenitos, siltitos e argilitos grosseiramente estratificados em camadas métricas a decamétricas, com grande continuidade lateral, apresenta espessuras variáveis, podendo atingir até a 100 m, como nas proximidades da cidade de Virgem da Lapa. Sua sedimentação é considerada como Pliocênica (Saadi & Pedrosa-Soares, 1990).

As coberturas detríticas são de origem eluvio-coluvionares e sua composição reflete a rocha fonte, de modo que quando desenvolvidas em rochas mais quartzosas como granitóides e quartzitos têm composição mais arenosa. Por outro lado, quando são produtos de rochas de natureza metapelítica, como os xistos, tem uma contribuição silto-argilosa maior. A morfologia das coberturas é semelhante àquelas da Formação São Domingos, constituindo chapadas suavemente onduladas, com baixa densidade de drenagem. A idade dessas coberturas é incerta, situando-se entre o final Terciário e o Quaternário (Saadi & Pedrosa-Soares, *op. cit.*).

QUADRO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

O cenário hidrogeológico regional é constituído por quatro unidades aquíferas (Figura 2) (Duarte *et al.* 2001, Oliveira *et al.* 2001), representadas por: aquíferos aluviais, aquíferos de cobertura, aquíferos fraturados em rochas granitóides e aquíferos fraturados nos metassedimentos do Grupo Macaúbas.

Aquíferos aluviais

Os aquíferos aluviais são de natureza granular, com boa porosidade e permeabilidade, com espessuras que não ultrapassam a uma dezena de metros. Compreendem os aluviões que ocorrem predominantemente em algumas porções dos rios Jequitinhonha e Araçuaí. Em geral apresentam uma composição variável, com predomínio de cascalhos em sua base. É sobreposto por areias de granulação fina a grossa, de diferentes espessuras e por um nível de sedimento pelítico.

Aquíferos de cobertura

Os aquíferos de cobertura são representados pelos sedimentos pelito-arenosos, grosseiramente estratificados, da Formação São Domingos e pelas coberturas de natureza elúvio-coluvionares

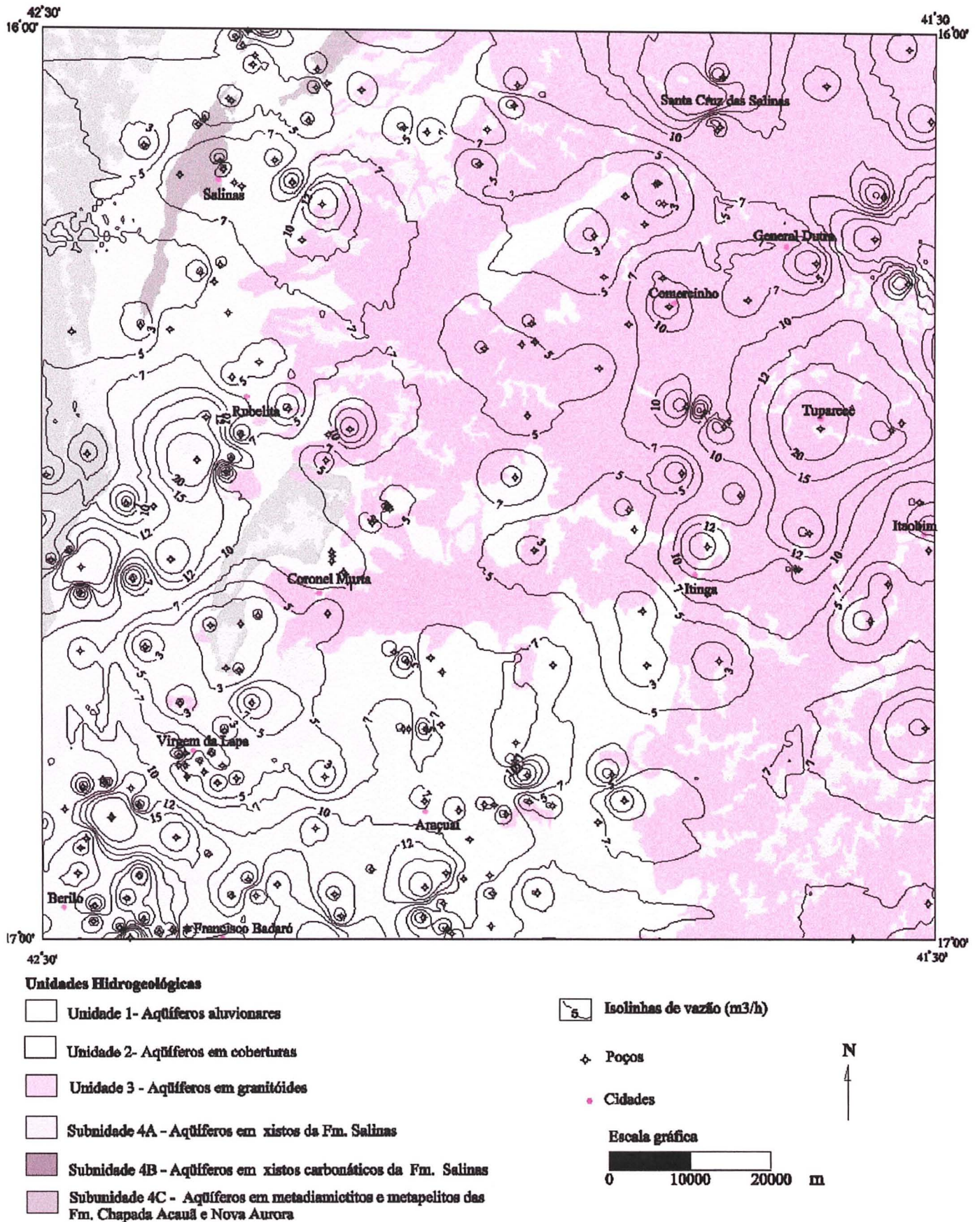


Figura 2: Mapa hidrogeológico preliminar da área, com a distribuição de isolinhas de vazão (Duarte *et al.* 2001).

superfícies de aplainamento terciárias. Mostram espessuras variadas, localmente podem alcançar 100 m. A morfologia de chapadas, a posição topográfica elevada e a natureza granular desses aquíferos os tornam a principal área de recarga na região. Esses aquíferos cobrem cerca de 1.291 km², correspondente a 11% do total da área estudada.

Aquíferos fraturados em rochas granitóides

Esta unidade engloba as rochas granitóides intrusivas no Grupo Macaúbas, de idade brasileira. São aquíferos de natureza majoritariamente fissural, com alguma contribuição dada pelo manto intempérico e compreendem cerca de 5.490 km², equivalente a 46,6% do total da área, ocupando a sua metade oriental.

Aquíferos fraturados do Grupo Macaúbas

Compreendem as litologias do Grupo Macaúbas, sendo subdividido em três subunidades (Figura 2). É constituído predominantemente por biotita xistos, sendo que localmente ocorrem corpos de composição carbonáticas e metadiamicititos com lentes quartzíticas. As características hidrogeológicas são praticamente de aquíferos fraturados com uma pequena contribuição, em sua porção alterada, quando de espessura considerável, de meio granular. Tal unidade ocupa 4.950 km²,

equivalente a 42% do total. Distribui-se na metade ocidental da área.

ESTUDO COMPARATIVO DE POÇOS COM E SEM LINEAMENTOS ASSOCIADOS

De um total de 447 poços tubulares profundos catalogados na área, neste estudo foram utilizados 249 poços, em decorrência da ausência de coordenadas, erros de transcrição, entre outros problemas encontrados com a localização dos mesmos. Desses, 182 apresentam pelo menos uma direção de lineamento associado, enquanto 67 poços não mostram lineamentos associados, evidentemente na escala trabalhada (1:80.000).

Neste estudo foram abordados os seguintes parâmetros: vazão (Q), capacidade específica (Q/s), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD). As variáveis estatísticas calculadas compreendem a média, mediana, desvio padrão, além dos valores máximo e mínimo.

A Tabela 1 ilustra a distribuição de Q, Q/s, CE e STD para os poços sem e com lineamento(s), além de poços associados com um e dois lineamentos. A Tabela 2 traz as distribuições de Q, Q/s, CE e STD por poço segundo intervalos de valores desses parâmetros, com vistas a uma compreensão mais ampla da variação dos mesmos, pois somente as variáveis estatísticas apresentadas não são suficientes para tal.

POÇOS	SEM lineamento	Parâmetros	N	Média	Moda	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
		Q	67	4,3	2,63	4,65	0	20
POÇOS	SEM lineamento	Q/s	44	0,374	0,132	0,756	0,004	4,00
		CE	28	607,2	469	546,3	120	2910
		STD	19	450	333	497	50	2334
		Q	182	8,19	5,2	11	0	79,2
	COM lineamentos	Q/s	108	1,105	0,213	4,4	0,002	45
		CE	92	634,2	466	493,3	1,94	2300
		STD	74	478,4	363,3	359,8	9	1479
		Q	117	6,3	4,9	7,7	0	60
	COM um lineamento	Q/s	72	0,521	0,182	0,894	0,006	5,325
		CE	57	642	464	448,4	10,1	1986
		STD	46	442,6	319,2	346,4	9	1479
		Q	65	11,5	6,98	14,7	0	79,2
POÇOS	COM dois lineamentos	Q/s	36	2,27	0,287	7,5	0,002	45
		CE	35	621,6	468	565,7	1,9	2300
		STD	28	537,1	406,8	379,7	35	1400
		Q	28	537,1	406,8	379,7	35	1400

Unidades: Q em (m³/h), Q/s em (m³/h/m), CE(mmho/cm) e STD em (mg/L)

Tabela 1: Distribuição dos parâmetros estatísticos para vazão (Q), capacidade específica (Q/s), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD), segundo a associação ou não de poços com lineamento(s).

			Poços segundo os intervalos de Q, Q/s, CE e STD					
Q	Lineamentos	N	Q=0	0<Q<0,5	0,5≤Q<2,0	2,0≤Q<5,0	5,0≤Q<10,0	Q≥10,0
	L=0	67	13 (19,4%)	4 (6%)	10 (14,9%)	16 (23,9%)	16 (23,9%)	8 (11,9%)
	L>0	182	15 (8,2%)	7 (3,8%)	29 (15,9%)	35 (19,2%)	50 (27,5%)	51 (28%)
	L=1	117	11 (9,4%)	4 (3,4%)	22 (18,8%)	23 (19,6%)	34 (29,1%)	23 (19,6%)
	L≥ 2	65	4 (3,4%)	3 (4,6%)	7 (10,8%)	12(18,5%)	16 (24,6%)	23 (35,4%)
Q/s	Lineamentos	N	Q/s<0,05	0,05≤Q/s<0,1	0,1≤Q/s<0,5	0,5≤Q/s<1	Q/s≥ 1,0	
	L=0	44	16 (36,4%)	5 (11,4%)	14 (31,8%)	6 (13,6%)	3 (6,8%)	
	L>0	108	27 (25%)	12 (11,1%)	37 (34,2%)	11 (10,2%)	21	
	L=1	72	20 (27,8%)	7 (9,7%)	26 (36,1%)	7 (9,7%)	12 (16,7%)	
	L≥ 2	36	7 (19,4%)	5 (13,9%)	11 (30,5%)	4 (11,1%)	9 (25%)	
CE	Lineamentos	N	CE<500	500≤CE<1000	1000≤CE<1500	CE≥1500		
	L=0	28	15 (53,6%)	10 (35,7%)	2 (7,1%)	1 (3,6%)		
	L>0	92	48 (52,2%)	30 (32,6%)	7 (7,6%)	7 (7,6%)		
	L=1	57	29 (50,9%)	20 (35,1%)	4 (7,0%)	-		
	L≥ 2	35	19 (54,3%)	10 (28,6%)	3 (8,6%)	3 (8,6%)		
STD	Lineamentos	N	STD<500	500≤STD<1000	1000≤STD<1500	STD≥1500		
	L=0	19	15 (79%)	3 (15,8%)	-	1 (5,3%)		
	L>0	74	48 (64,9%)	16 (21,6%)	10 (13,5%)	-		
	L=1	46	31 (67,4%)	9 (19,6%)	6 (13%)	-		
	L≥ 2	28	17 (60,7%)	7 (25%)	4 (14,3%)	-		

L=0- poços sem lineamento associado, L>0- poços com lineamento(s) associado(s)

L=1- poços com um lineamento associado, L ≥2- poços com dois ou mais lineamentos associados

Tabela 2 : Distribuições dos poços por intervalos de valores da vazão(Q), capacidade específica (Q/s), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD), segundo a associação ou não dos mesmos com lineamento(s).

A análise da Tabela 1 mostra que há um aumento significativo da vazão média dos poços com lineamentos associados em relação àqueles que não apresentam essa feição, há um acréscimo de quase 50% na produtividade. Quando a comparação ocorre com poços que exibem 2 ou mais lineamentos associados o valor da vazão é quase triplicado. Comportamento semelhante se dá com a Q/s. Por outro lado, os valores médios da CE e STD não mostram oscilações significativas com relação à associação ou não dos poços com lineamentos.

Os parâmetros produtivos em aquíferos do cristalino são dependentes, entre outras variáveis, da precipitação, evapotranspiração, cobertura vegetal, da presença de uma porosidade secundária, neste caso, dada principalmente por descontinuidades estruturais de natureza rúptil (juntas, falhas, entre outras). Assim, é esperado um decréscimo nos valores desses parâmetros (Q e Q/s) quando ocorre uma redução ou ausência dessa porosidade, configurada pela presença de lineamentos, mesmo com a manutenção das demais condições.

Cabe salientar que a presença ou não de lineamentos tem um certo grau de correspondência com a escala da imagem no qual os mesmos são traçados. Mas, em geral, é esperado que estruturas demarcáveis em uma escala menor, como a utilizada neste trabalho (1:80.000) sejam mais persistentes e penetrativas com relação àquelas que são

observadas somente em escalas maiores. Por outro lado, lineamentos observáveis em escalas maiores podem não ser nítidos ou ausentes em escalas regionais.

A demarcação de lineamentos em produtos de sensores remotos, como o utilizado no presente trabalho, demanda a observância e cuidados relativos ao azimute de iluminação solar, pois as estruturas com orientações ortogonais e diagonais a esse são destacadas, enquanto aquelas próximas ao paralelismo são atenuadas.

A CE e os STD, são fortemente correlacionados (Duarte *et al.* 2001), e como observado nas Tabelas 1 e 2, não mostram variações marcantes com a presença ou não de lineamentos, possivelmente reflitam mais variações climáticas e litológicas, e talvez algum tipo ou direção específica de descontinuidades.

A Tabela 2 corrobora com as observações verificadas com os dados da Tabela 1, sendo importante a diminuição no número de dos poços secos quando ocorrem lineamentos associados aos poços. Há uma redução em torno de 60% no número de poços secos quando os mesmos estão associados a lineamentos. Quando dois ou mais lineamentos estão associados a um poço, o percentual de secos diminui de 19,4% para 3,4%, além de um acréscimo nos intervalos com vazões maiores.

ESTUDO COMPARATIVO DE POÇOS SEGUNDO AS DIREÇÕES E NATUREZA DOS LINEAMENTOS ASSOCIADOS

Nesta etapa foram discriminados os lineamentos associados aos poços e agrupados em intervalos de 20°, de acordo com as unidades aquíferas em que ocorrem, objetivando estudar o comportamento da vazão e dos STD com a variação nas direções dos lineamentos e com a natureza dessas descontinuidades.

Como não foram atribuídos pesos às direções dos lineamentos, poços que apresentam 2 ou mais lineamentos associados, foram considerados separadamente para cada direção.

As Tabelas 3 e 4 mostram, respectivamente, as distribuições das vazões e dos STD com as

variações nas direções dos lineamentos associados, natureza dos mesmos e unidade aquífera.

A análise da Tabela 3, para a área toda, mostra que os poços associados com lineamentos de direções N01°-20°, N121°-N140° e N141°-N160°, apresentam baixos índices de secos (5,4%) ou nulos e produtividades médias boas. Por outro lado, as direções N61°-80°, N21°-N40° e N161°-N180° exibem os percentuais mais elevados de poços secos da área. Com relação aos STD, embora o universo amostral seja significativamente menos representativo, os lineamentos com as direções N41°-60° e N61°-N80°, mostram concentrações salinas um pouco mais elevadas.

		Lineamentos			Q média (m³/h)	Q=0	Intervalos de Q por lineamentos			
		Direção (°)	N	Tipo			0<Q<2,0	2,0≤Q<5,0	5,0≤Q<10,0	Q≥10,0
Vazão	Geral	N01°-20°	20	Fr/Zcr	7,0	0	4	9	3	4
		N21°-40°	23	Fr	11,0	3 (13,0%)	6	2	4	8
		N41°-60°	33	Fr/Sn/Fl	6,6	2 (6,0%)	10	2	13	6
		N61°-80°	15	Sn	8,5	3 (20,0%)	3	4	3	2
		N81°-100°	21	Sn/Fr/Fl	9,0	2 (9,5%)	4	4	5	6
		N101°-120°	34	Fr	8,8	2 (5,9%)	6	8	10	8
		N121°-140°	27	Fr/Fl	10,7	0	5	6	5	11
		N141°-160°	37	Fr	8,0	2 (5,4%)	5	5	14	11
		N161°-180°	40	Fr	11,6	5 (12,5%)	3	7	11	14
	Grupo Macaúbas	N01°-20°	11	Fr/Zcr	8,2	0	2	5	2	2
		N21°-40°	11	Fr	7,0	2 (18,2%)	3	1	2	3
		N41°-60°	22	Fr/Sn/Fl	7,7	1 (4,5%)	5	1	10	5
		N61°-80°	9	Sn	11,0	3 (33,3%)	1	2	2	1
		N81°-100°	15	Sn/Fr/Fl	9,4	0	4	4	3	4
		N101°-120°	24	Fr	9,8	1 (4,2%)	3	6	9	5
		N121°-140°	17	Fr/Fl	13,2	0	2	3	4	8
		N141°-160°	27	Fr	8,7	0	5	2	11	9
		N161°-180°	26	Fr	12,1	2 (7,7%)	1	6	10	7
	Granitóides	N01°-20°	6	Fr/Zcr	6,4	0	-	4	1	1
		N21°-40°	12	Fr	14,7	1 (8,3%)	3	1	2	5
		N41°-60°	12	Fr	4,7	1 (8,3%)	5	1	4	1
		N61°-80°	4	Fr	4,74	0	1	2	-	1
		N81°-100°	5	Fr	7,4	2 (40,0%)	-	-	2	1
		N101°-120°	8	Fr	6,6	1 (12,5%)	2	2	1	2
		N121°-140°	10	Fr	6,6	0	3	3	1	3
		N141°-160°	10	Fr	6,0	2 (20,0%)	-	3	3	2
		N161°-180°	14	Fr/Zcr	10,7	3 (21,4%)	2	1	1	7
	Coberturas	N01°-20°	3	Fr	4,0	0	2	-	-	-
		N61°-80°	1	Fr	1,1	0	-	-	-	-
		N81°-100°	1	Fr	10,8	0	1	-	-	1
		N101°-120°	2	Fr	6,5	0	1	-	-	1

Fr= juntas, Sn= xistosidade, Zcr= zona de cisalhamento rúptil associada à falhas direcionais, Fl= falhas de empurrão

Tabela 3 : Distribuição dos valores de vazão de acordo com as variações nas direções dos lineamentos associados aos poços, natureza do lineamento e unidade aquífera.

		Lineamentos		STD médio (mg/L)	Intervalos de STD por lineamentos			
		Direção (°)	N		Tipo	STD<500	500≤STD<1000	1000≤STD<1500
Sólidos totais dissolvidos	Geral	N01 ⁰ -20 ⁰	9	Fr/Zcr	335,9	8	1	-
		N21 ⁰ -40 ⁰	9	Fr	449,0	5	3	2
		N41 ⁰ -60 ⁰	15	Fr/Sn/Fl	631,3	7	4	4
		N61 ⁰ -80 ⁰	9	Sn	629,1	5	1	3
		N81 ⁰ -100 ⁰	8	Sn/Fr/Fl	584,0	3	4	1
		N101 ⁰ -120 ⁰	15	Fr	392,4	11	3	1
		N121 ⁰ -140 ⁰	9	Fr/Fl	443,1	6	2	1
		N141 ⁰ -160 ⁰	15	Fr	422,7	12	2	1
		N161 ⁰ -180 ⁰	14	Fr	574,5	8	4	2
	Grupo Macaúbas	N01 ⁰ -20 ⁰	5	Fr/Zcr	377,1	4	1	-
		N21 ⁰ -40 ⁰	4	Fr	695,6	1	2	1
		N41 ⁰ -60 ⁰	8	Fr/Sn/Fl	625,9	4	2	2
		N61 ⁰ -80 ⁰	4	Sn	661,3	2	-	2
		N81 ⁰ -100 ⁰	7	Sn/Fr/Fl	657,9	2	4	1
		N101 ⁰ -120 ⁰	9	Fr	436,9	6	2	1
		N121 ⁰ -140 ⁰	4	Fr/Fl	537,5	2	2	-
		N141 ⁰ -160 ⁰	10	Fr	438,4	8	1	1
		N161 ⁰ -180 ⁰	8	Fr	646,6	5	1	2
	Granitóides	N01 ⁰ -20 ⁰	3	Fr/Zcr	357	3	-	-
		N21 ⁰ -40 ⁰	5	Fr	251,7	4	1	-
		N41 ⁰ -60 ⁰	8	Fr	581,8	4	2	2
		N61 ⁰ -80 ⁰	4	Fr	706,0	2	1	1
		N81 ⁰ -100 ⁰	-	Fr	-	-	-	-
		N101 ⁰ -120 ⁰	5	Fr	386,4	4	1	-
		N121 ⁰ -140 ⁰	5	Fr	367,5	4	-	1
		N141 ⁰ -160 ⁰	5	Fr	391,2	4	1	-
		N161 ⁰ -180 ⁰	6	Fr/Zcr	478,5	3	3	-
Cobertura	N01 ⁰ -20 ⁰	1	Fr	67,000	-	-	-	
	N81 ⁰ -100 ⁰	1	Fr	67,000	-	-	-	
	N101 ⁰ -120 ⁰	1	Fr	22,000	-	-	-	

Fr= juntas, Sn= xistossidade, Zcr= zona de cisalhamento rúptil associada à falhas direcionais, Fl= falhas de empurrão

Tabela 4 : Distribuição dos valores de STD de acordo com as variações nas direções dos lineamentos associados aos poços, natureza do lineamento e unidade aquífera.

Os metassedimentos do Grupo Macaúbas mostram uma distribuição entre as direções de lineamentos e vazões associadas, semelhantes àquelas encontrada para toda a área. Tal sobreposição já era esperada, pois esses litotipos concentram a maior parte dos dados. A distribuição dos valores de STD nessa unidade é ampla, exibindo concentrações mais elevadas nos poços associados com lineamentos nas direções N21⁰-N40⁰ e N161⁰-N180⁰, além das duas direções mais gerais para a área toda.

Nos granitóides, os lineamentos com direções entre N01⁰-20⁰, N61⁰-N80⁰ e N121⁰-N140⁰ apresentam índices de poços secos nulos, embora as vazões médias associadas sejam modestas. Não obstante, a reduzida massa de dados para o cálculo dos STD, as direções N41⁰-N60⁰ e N61⁰-N80⁰ mostram concentrações de sais mais elevadas.

Os dados relativos aos poços das coberturas são poucos e representam exclusivamente a

Formação São Domingos. Sinalizam uma importante superposição nas direções de lineamentos, com os metassedimentos, nas atitudes em torno de NS (N01⁰-20⁰) e SE (N101⁰-120⁰) e nos granitóides para a primeira direção. Esses aquíferos fraturados mostram boa produtividade e baixos índices de poços secos segundo essas direções, possivelmente apontam para estruturas que foram reativadas em tempos neotectônicos, pois interceptam a referida formação. Em princípio se configuram como direções favoráveis para a locação de poços tubulares, mas necessitam de uma massa de dados maior para a sua confirmação. Estudos anteriores (Oliveira *et al.* 2000, Duarte *et al.* 2001, Oliveira *et al.* 2001 e Menegasse *et al.* 2002) mostram que as águas subterrâneas armazenadas nas coberturas, apresentam baixas concentrações de sais, embora com produtividades inferiores a média da região, que é de 8,0 m³/h.

O significado das descontinuidades materializadas pelos lineamentos

As análises apoiadas em trabalhos de campo e interpretação regional de lineamentos em imagens de satélite Landsat -5 TM e de RADAR, mostram que os lineamentos com direções N121°-N140° e N141°-N160° representam um conjunto de juntas de caráter cisalhante, penetrativas em todas as escalas, principalmente nos metassedimentos Macaúbas. Tais juntas são estruturas rúpteis manifestadas nas fases mais tardias do evento deformacional responsável pela deformação do Grupo Macaúbas, e colocação intrusiva dos granitóides que ocorrem na área, considerada como Brasiliano (Litwinski, 1985). Essas estruturas, muito provavelmente, foram reativadas localmente como falhas normais/direcionais ou mesmo como juntas trativas, dependendo da orientação local da paleoestrutura, com relação à ação dos esforços. São estruturas favoráveis à circulação e armazenamento de água subterrânea. É comum a presença de falhas de empurrão nessas direções.

Os lineamentos com direções entre N41°-N60° e N61°-N80°, correspondem a oscilações locais da xistosidade do Grupo Macaúbas, a qual apresenta concentração máxima na região, em torno de N50E. Deve-se salientar que na porção norte da área ocorre uma deflexão dessa trama, assumindo atitudes em torno de NNE. Na metade ocidental da área, falhas de empurrão, com direções próximas à da xistosidade são relativamente comuns. Muitos poços estão localizados próximos a extensos lineamentos representados por essa trama. Geralmente, quando a mesma está associada a um outro lineamento, especialmente NW e NS, (poços associados a 2 ou mais lineamentos - Tabelas 1 e 2) apresenta vazões, com valores médios elevados, para os padrões regionais e baixos índices de poços secos. Os poços que estão associados somente com essa trama (xistosidade), podem apresentar produtividades boas, mas os índices de poços secos são elevados.

É particularmente importante o condicionamento da xistosidade e das juntas NW na configuração das drenagens entalhadas nos metassedimentos Macaúbas. A grande maioria dessas segue estritamente essas direções, localmente, configuraram meandros em ângulos retos. Muitas das drenagens recentemente entalhadas na Formação São Domingos reaproveitam essas descontinuidades.

Os lineamentos com atitudes oscilando em torno de NS (N01°-20° e N161°-N180°) representam juntas e falhas direcionais nucleadas em zonas de cisalhamento, predominantemente rúpteis, comum no

extremo oeste da área, em rochas granitóides, conformando cursos d'água nessas direções, como por exemplo o ribeirão São João. Localmente, são desenvolvidas densas redes de juntas, configurando alvos interessantes para a locação de poços tubulares.

COMENTÁRIOS FINAIS

A utilização de imagens digitais de satélite, como a do Landsat 5-TM, pode trazer contribuições significativas no estudo de aquíferos fraturados, especialmente no semi-árido. Neste caso a baixa densidade de cobertura vegetal na estação seca, possibilita a obtenção de imagens ricas em informações morfológicas, especialmente quando se faz a combinação da PC1 (primeira componente da Análise por Principais Componentes) carregada no canal de intensidade junto a uma composição colorida RGB. O emprego desse método traz uma redução significativa de custos, especialmente em abordagens mais regionais, pois é possível trabalhar com boas resoluções em escala de 1:80.000, ou até maiores. A entrada em operação do Landsat 7-ETM⁺, trouxe uma sensível melhora na resolução espacial das imagens, com a introdução de uma nova banda (banda 8 - pan) com resolução espacial de 15 x 15 m, ampliando a possibilidade do uso dessas imagens em estudos hidrogeológicos em aquíferos fraturados, em escala regional, ou mesmo local.

Os lineamentos com atitudes entre N01°-20°, N121°-N140° e N141°-N160° constituem direções que devem ser consideradas na locação de poços tubulares na região, pois apresentam um baixo índice de poços secos e produtividades satisfatórias. Mas a hipótese mais promissora é aquela onde se tem pelos dois desses lineamentos se interceptando, nesses casos as produtividades são boas e o índice de poços secos é reduzido.

É marcante o acréscimo na vazão média dos poços com lineamentos associados, quando comparados com aqueles sem lineamentos associados. As informações obtidas a partir da produtividade de poços e das direções de lineamentos associados aos mesmos, poderão ser utilizadas futuramente como uma ferramenta importante nos estudos para a locação de poços tubulares na região. Particularmente, se conjugada com informações provenientes de outras técnicas, como a geofísica, pois a locação de poços tubulares em meio fissural é essencialmente uma tarefa multidisciplinar.

BIBLIOGRAFIA

Almeida, F.F.M. de. 1977. O Craton do São Francisco. *Rev. Bras geoc* 7:349-364.

Duarte, U.; Oliveira, F.R. & Menegasse, L.N. 2001. Hidrogeologia da região central da bacia do rio Jequitinhonha, MG. Relatório FAPESP (inédito).

Litwinski, N. 1985. Evolução Tectono-termal da Região Nordeste de Minas Gerais e Sul da Bahia.. 207p. Tese de Doutorado. IG/USP São Paulo.Brasil.

Oliveira, F.R.; Menegasse, L.N & Duarte, U. 2000 . Hidrogeologia da região de Araçuaí, no médio vale do rio Jequitinhonha – MG. **In:** I Cong. Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 2000 Fortaleza-CE.

Oliveira, F.R.; Menegasse, L.N & Duarte, U. 2001. Estudo das principais características físicas e produtivas dos poços tubulares no médio vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **In:** XII Enc. Nac. de Perf. de Poços & IV Simp. Hidrog. do Nordeste. Olinda –PE., 315-326.

Menegasse, L.N.; Oliveira, F.R.; Duarte, U.; Mourão, M.A.A.; Pereira, P.B. & Diniz, H.N. 2002. Hidroquímica das águas subterrâneas do médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. **In:** XXXII IAH & VI ALHSUD Cong., Mar Del Plata. Argentina.

O'Leary, D.W.; Friedman, J.D. ; Pohn H.A. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standard for old terms. *Geol. Soc. Am. Bull.* vol. 87 p.1463-1469.

Pedrosa-Soares, A.C. *et al.* 1994. Nota explicativa dos mapas geológicos, metalogenéticos e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais. Edição SEME-COMIG. 97p. Belo Horizonte.
Pedrosa-Soares, A.C. 1997. Geologia das folhas de Araçuaí e Salinas. **In:** Projeto Espinhaço. SERMHE/COMIG. p. 429-541 e 725-853.

Saadi, a. & Pedrosa-Soares, A.C. 1990. Um graben cenozóico no médio Jequitinhonha, Minas Gerais. **In:** Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro,1, B. Horizonte. Anais... B.Horizonte: SBG-MG. Bol. 11, p.101-124.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – pelo financiamento do projeto através dos processos N^o 98/15.888-5 e 99/05469-8. Também são gratos à CPRM-Sureg BH- pelos dados brutos dos poços.