

POR

Ari Medeiros Guerra\*  
José de Castro Mello\*\*

RESUMO -- O presente trabalho visa as influências estruturais, associadas as feições cársticas superficiais nas locações e desempenho de produção dos poços tubulares, nos cársticos Bambuí da Chapada de Irecê-BA. Fundamentado em exemplos de campo conclui-se que os poços localizados com base em feições cársticas de origem, ou associados, a estruturas transversais têm maior capacidade de produção, evidenciando-se assim a importância estrutural no comportamento das águas subterrâneas nesse tipo de aquífero.

### INTRODUÇÃO

A população dos chapadões calcários do Grupo Bambuí na região de Irecê/Iraquara vive diretamente ou indiretamente em função da agricultura, graças a grande fertilidade dos solos calcários. O fator água é a grande limitação para as lavouras da região, que fica assim na dependência da ocorrência regular das chuvas. Uma das características de uma região cárstica é a ausência de mananciais superficiais em abundância. Desta forma, as águas subterrâneas assumem importância especial, pois passam a ser a única fonte de abastecimento nas épocas de estiagem.

Este trabalho visa mostrar a influência das estruturas de fraturamentos, associados às feições cársticas superficiais nas locações de poços tubulares, com vistas a um maior desempenho de produção.

Os aquíferos cársticos se distinguem dos demais sistemas aquíferos, devido suas formas particulares de recarga, circulação e armazenamento, sendo provavelmente o mais complexo de todos. Os calcários, por serem rochas solúveis, a formação e evolução da carstificação resulta da ação integrada dos fatores água, composição química da rocha e elementos estruturais. Do volume e agressividade da água, depende em parte, a velocidade da evolução da carstificação. As características químicas da rocha diz respeito a maior ou menor solubilidade, assim, quanto mais puro for o calcário maior será sua solubilidade. Dos elementos estruturais, as falhas e fissuras, desempenham o papel mais importante, por facilitar a penetração da água no corpo rochoso, aumentando a superfície de contato água/rocha com a consequente formação de estruturas cársticas mais favoráveis ao armazenamento subterrâneo.

\* Geólogo da CERB e Prof. da UFBA.

\*\* Geólogo da CERB - Companhia de Engenharia Rural da Bahia

Além do mais, em determinadas áreas o calcário pode se apresentar pouco carstificado, esta situação é comum na Chapada de Irecê, especialmente na porção norte da área. Nestes casos, os elementos estruturais, em especial as rupturas, que representam as falhas e diaclases em geral podem se constituir em próprias formas de recarga e armazenamento, com a formação se apresentando como um aquífero tipicamente fissural, ou misto, fissural/cárstico.

### LOCALIZAÇÃO

A área objeto desse estudo, 9.510 km<sup>2</sup>, localiza-se na região Central da Bahia, e está inserida no polígono compreendido pelas seguintes coordenadas geográficas:

Lat.	Sul	Long.	W.GW
11°00'	00"	41°20'	00"
12°20'	00"	42°15'	00"

### ELEMENTOS FÍSIO - CLIMÁTICOS

As precipitações na área são sempre mal distribuídas, com o período chuvoso concentrando-se de novembro a abril. A ocorrência de estiagens mais prolongadas são frequentes. As precipitações decrescem de sul para o centro norte da área com a média na chapada calcária em torno de 600mm/ano. Nos domínios dos calcários a rede de drenagem é extremamente rarefeita, restringindo-se basicamente, ao rio Jacaré, afluente do São Francisco. O "plateau" calcário de Irecê é uma unidade geomorfológica bem caracterizada por seu relevo tubular, suavemente ondulado, oscilando em torno da cota de 700m. Em decorrência da dissolução cárstica, são comuns feições típicas como a ausência da rede de drenagem superficial, estruturas de desabamento e acomodação como os vales cegos, dolinas, etc. Essas feições são tão mais pronunciadas e exibem formas mais maduras à medida que se avança em direção sul, bem como, nas faixas de contato. Contrastando com esta unidade, aparecem os chapadões quartzitos do Grupo Chapada Diamantina formando escarpas íngremes ao longo dos contatos leste, sul e oeste, em cotas que podem se elevar à casa dos 1.100 metros.

### CONTEXTO GEOLÓGICO

O Grupo Bambuí na Chapada de Irecê é representado por duas formações distintas, de idade Precambriana Superior, denominadas da base para o topo de Bebedouro e Salitre, repousando discordantemente sobre metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina, (Fig.01).

#### Formação Bebedouro

É caracterizada por metassedimentos siltico-argilosos as-

## LEGENDA

### QUATERNÁRIO-TERCIÁRIO

TQd Depósitos detriticos

### PROTEROZÓICO SUPERIOR

#### Grupo Bambuí

Bs Conjunto Carbonático  
Pelítico não dividido

Bbe Formação Bebedouro

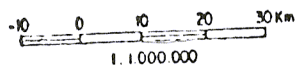
### PROTEROZÓICO MÉDIO

#### Grupo Chapada Diamantina

Em Formação Morro do Chapéu

Ecb Formação Caboclo

Ei Formação Tombador



Fonte: Modificado do Mapa Geológico do Estado do Bahia  
SME/CPM-778

### Localização da Área

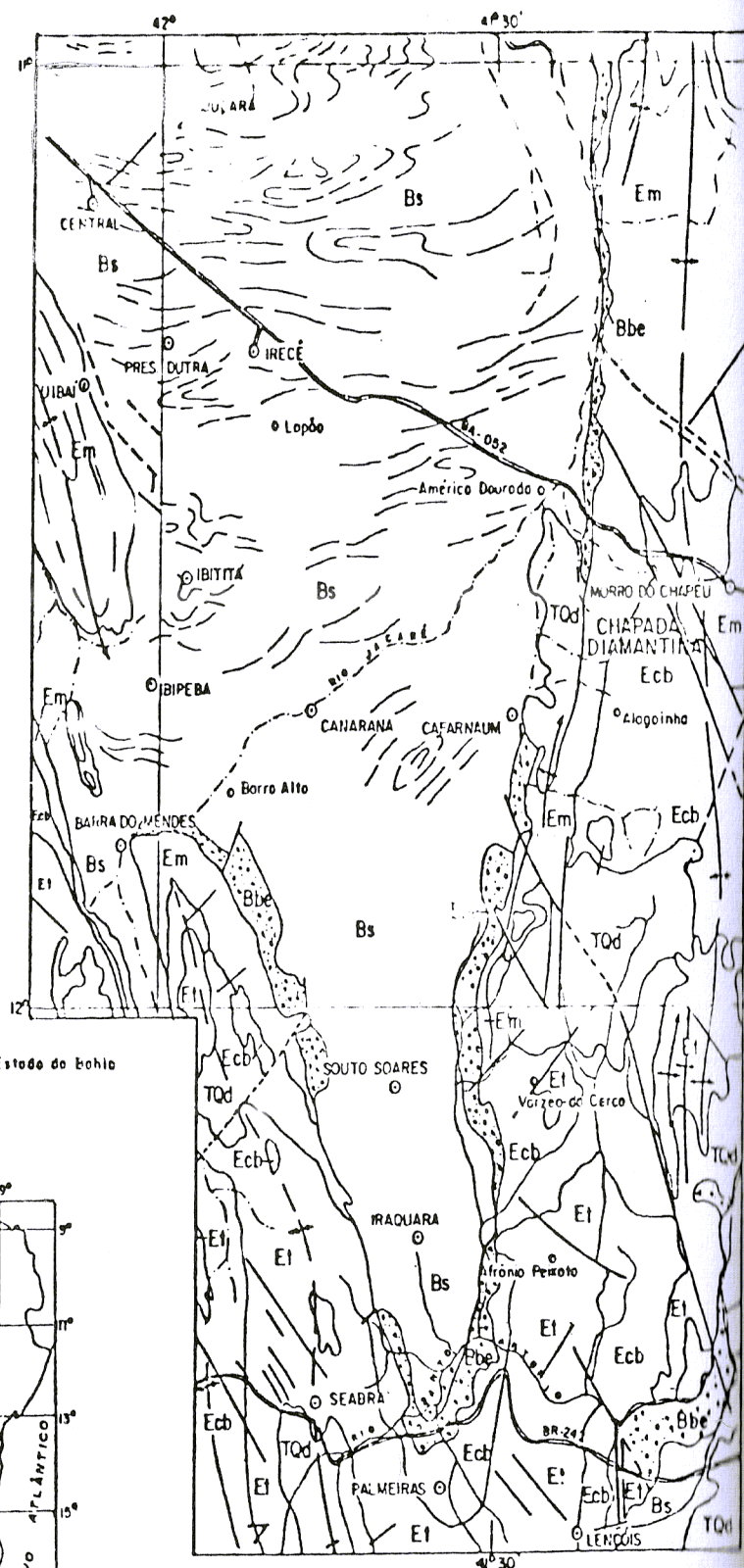
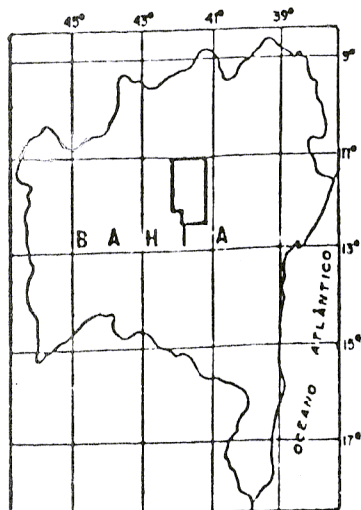


Fig.01 LOCALIZAÇÃO E ESBOÇO GEOLÓGICO DA CHAPADA DE IRECÊ

sociados a lentes contínuas de metagrauvas conglomeráticas, com seixos angulares de diversos tipos e tamanhos variáveis. Espessura variável, até um máximo de 70m. Tem como principal característica a presença de um nível conglomerático, conglomerado Lajes (Kegel, 1959). Trata-se de um conglomerado poligênico, de matriz, coloração e granulometria variáveis (Brito Neves 1967). É considerado de origem glacial, Montes et alii (1981), e correlacionável às formações Jequitaí, Macaúbas e Carancas, base do Grupo Bambuí nos Estados de Goiás e Minas Gerais.

### Formação Salitre

Trata-se de uma sequência essencialmente carbonática, constituída de calcário cinza, microcristalino, bem estratificado, com níveis dolomíticos e intercalações argilosas. É superposta concordantemente à Formação Bebedouro. Sua espessura ainda não foi bem definida, devendo ser bastante variável.

### OS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

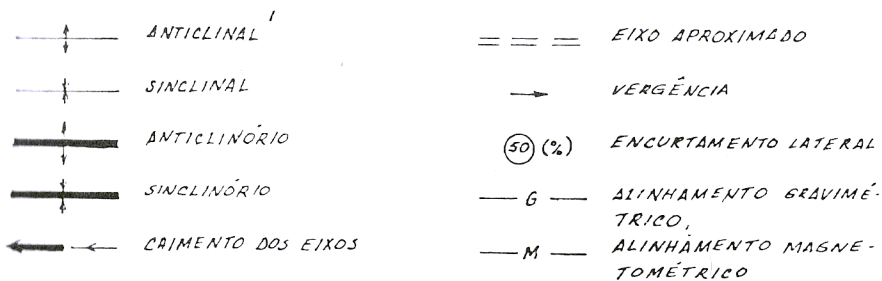
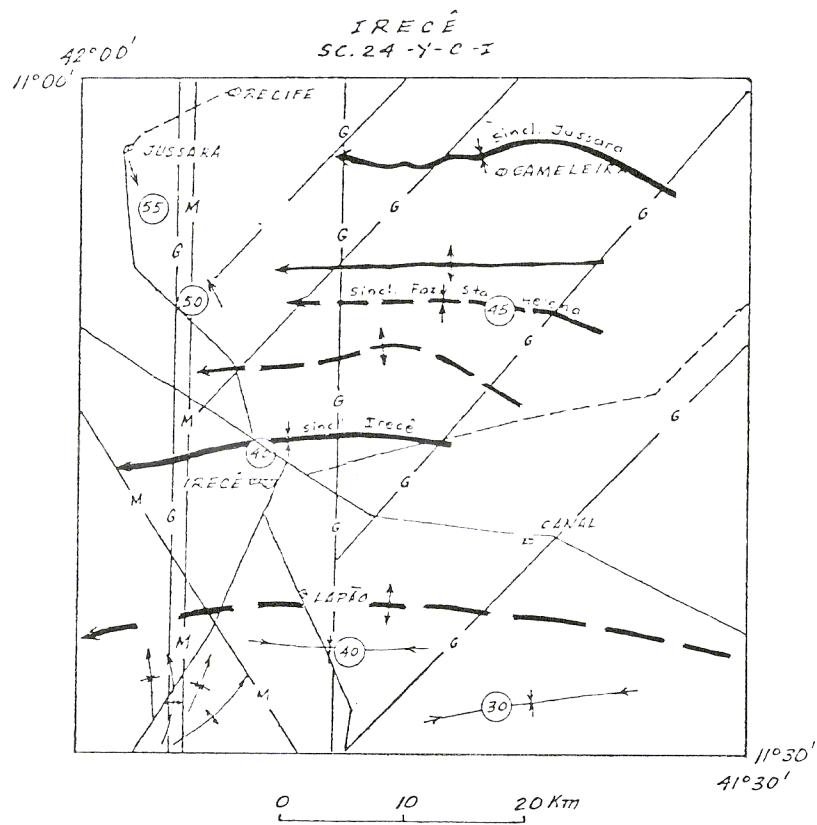
#### Estrutura Regional

Regionalmente, temos nos domínios da Chapada de Irecê, como feição estrutural mais evidenciada, dois estilos de dobramentos bastante distintos: ao sul, o grande sinclinal de Palmeiras, de eixo norte-sul, concordante com a estrutura regional da Chapada Diamantina; e ao norte, sinclínios e anticlínios com eixos de direção leste-oeste, (Fig.02). Três grandes falhamentos limitam a bacia carbonática a leste, oeste e norte, respectivamente falhas normais de São Rafael e João Correia e a terceira, ao norte de Jussara, falha inversa de alto ângulo com bloco baixo ao sul, mergulho de 80° para norte, (falha de Morro da Fome, prolongamento da falha de Upamirim). Segundo Pedreira (1975), o intenso dobramento verificado em toda porção norte da área resultou da combinação dos esforços de compressão lateral pela falha de Morro da Fome e por deslizamento gravitacional, sendo a causa primária a compressão e a secundária o deslizamento. Como resultado temos nesta área um intenso dobramento do tipo flexural paralelo, com planos axiais verticais ou com fortes mergulhos para norte, ou para sul. Em alguns afloramentos verifica-se o desenvolvimento de clivagem de plano axial, do tipo clivagem de fratura.

#### Falhas e Fraturas

Não foram observadas grandes falhamentos dentro dos limites da área em estudo, exceto aqueles limitrofes do chamado bloco de Irecê, já referidos. Na fig.03 é mostrado o diagrama de frequência das principais direções de fraturas em três diferentes situações da área:

Ao sul predominam as fraturas de direção N-S; N10-20W



Fonte: Pedreira et al. (1965)

Figura 02 — Estrutura Regional dos Grandes Dobramentos

— Grupo Bambuí — Irecê - Ba —

N70-80W fraturamentos estes semelhantes aos dos metassedimentos do grupo Chapada Diamantina, mostrando uma grande influência deste substrato nas rochas carbonáticas sobrepostas. Estão as fraturas N-S relacionadas ao grande sinclinal de Palmeiras.

Na área central ocorre a grande predominância das fraturas N40-50E; N-S e N30-40W, sendo a primeira paralela à falha de Upamirim e tendo como evidência o encaixamento do rio Jacaré nesta mesma direção.

A orientação das fraturas em várias direções, na parte norte da área, é dada principalmente pela fase mais intensa de dobramentos e interseção dos dois tipos de dobras existentes.

Os levantamentos geofísicos realizados na área detectaram alinhamentos norte-sul, nordeste-sudoeste associados a estruturas de falhamentos em blocos tipo "Horst e Graben", que provavelmente tiveram influência nos dobramentos de eixos N-S (Pedreira, 1985).

#### COMPORTAMENTO HIDROGEOLÓGICO

O quadro hidrogeológico de uma região cárstica pode ser avaliada em função do estágio evolutivo do sistema cárstico, que por sua vez, depende dos tres elementos fundamentais que são: a água, a rocha (composição mineralógica) e os elementos estruturais.

#### A Água

É o chamado elemento ativo do processo de carstificação. Do seu volume e de sua maior ou menor agressividade, depende, em parte, a velocidade de evolução do processo.

#### A Rocha

Da composição do calcário depende o seu grau de solubilidade. Quanto mais puro for o calcário maior será sua solubilidade.

#### Fatores Estruturais

Os fatores estruturais são de maior importância já que estes influenciam nos processos de carstificação e consequentemente nas formas de recarga, armazenamento e circulação das águas subterrâneas. A depender do comportamento estrutural tem-se diferentes respostas no comportamento hidrogeológico, em especial em zonas onde o carste é pouco desenvolvido.

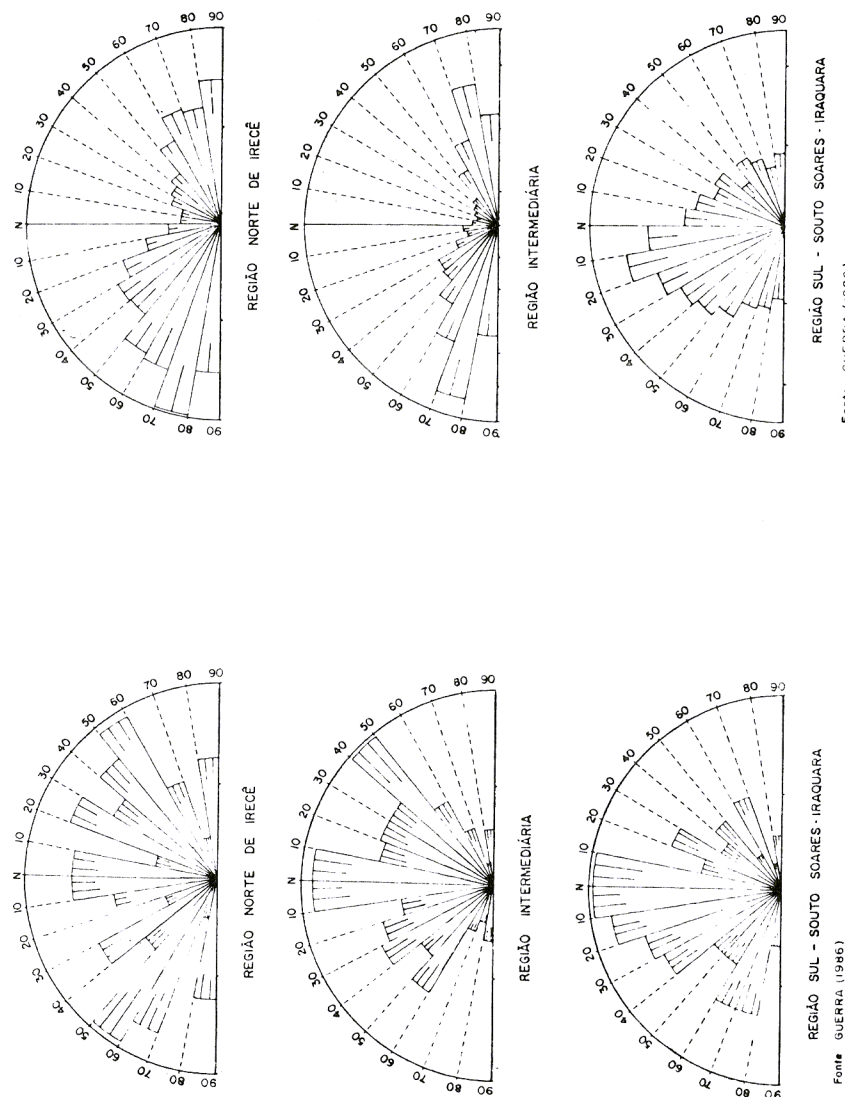
IMPORTÂNCIA DOS FATORES ESTRUTURAIS NAS LOCAÇÕES  
DE POÇOS TUBULARES NA REGIÃO DE IRECÊ

A depender do comportamento estrutural, tem-se diferentes respostas no comportamento hidrogeológico, assim os vários tipos de dobramentos, de fissuras ou falhas, contribuem de forma positiva ou negativa para o seu desenvolvimento.

A sequência carbonática Bambuí na Chapada de Irecê apresenta-se regionalmente dobrada, conforme tratado anteriormente, em dois estilos distintos. O efeito desses dobramentos se faz sentir mais intensamente sobre a carstificação exatamente na porção norte da área onde esses se intensificam, com dobras de forte mergulho e eixos orientados no sentido leste-oeste, em uma sequência de anticlinais e sinclinais. Os dobramentos em anticlinais de mergulhos acentuados favorecem a penetração da água através dos planos de estratificação e de fraturamentos longitudinais. O diagrama da Fig.04 mostra a adaptação preferencial das feições cársticas de superfície a esse tipo de estrutura longitudinal.

Com referência aos dobramentos, seus efeitos em relação ao potencial hidrogeológico ainda são bastante discutíveis e dependentes da presença dos demais fatores intervenientes no processo cárstico. Os dobramentos em anticlinais, por exemplo, são relacionados pela maioria dos autores como zonas de concentração de fraturas e carstificação ao longo das cristas destes, Freeze e Cherry (1979), Sidiqi e Parizek (1971). Esta situação pode ser verdadeira para dobras de mergulhos mais suaves ou grandes anticlinais. No caso de se verificar anticlinais com mergulhos acentuados, embora haja uma concentração de fraturas ao longo das cristas, estas tendem a se fechar rapidamente em profundidade, e a depender do posicionamento topográfico elas se constituem em uma área de recarga muito restrita (Fig.5). Nestes casos, desenvolvem-se zonas mais favoráveis para locação ao longo dos flancos, pela dissolução através dos planos de estratificação, o que foi observado em nossa experiência prática nos cársticos da região de Irecê-BA. Com relação aos sinclinais, comparativamente com os anticlinais, as opiniões dos autores se divergem quanto às reais possibilidades hidrogeológicas destes ou daqueles, o que estaria mais na dependência da intervenção dos demais fatores atuantes no processo. De qualquer sorte, tem-se observado em campo, que os poços perfurados próximos aos eixos dos sinclinais, locados com base em critérios insipientes, tem revelado resultados positivos, com entradas d'água a profundidades superiores às médias regionais. Recomenda-se sempre nestes casos o aprofundamento dos poços além da média regional que é de 80m (Silva, 1980).

As rupturas, que representam as falhas e diácleses em geral, desempenham o papel mais importante dos fatores geológicos no desenvolvimento do carste e no seu comportamento hidrogeológico. Pode-se dizer, que quanto maior a densidade de fis-



Fonte GUERRA (1986)

Fig 3 - DIAGRAMAS DAS DIREÇÕES DE FRATURAS

Fig 4 - DIAGRAMA DE ORIENTAÇÃO DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS SUPERFICIAIS ASSOCIADAS A FATORES ESTRUTURAIS

suras, maior será a ação de água sobre a rocha. As grandes fissuras ou falhas se transformam preferencialmente, nos grandes canais de dissolução, por onde circulam as águas subterrâneas, levando, inclusive, a carstificação a maiores profundidades. Em superfície, a rede fissural representa as próprias formas embrionárias de recarga. Por elas se iniciam preferencialmente os processos de carstificação. Além do mais, nos carstes pouco desenvolvidos, a formação pode se comportar como um aquífero tipicamente fissural ou misto, fissural/cárstico.

Na parte norte da Chapada de Irecê, esse comportamento encontra-se presente. As formas alongadas, e/ou alinhadas das feições cársticas superficiais, denotam o controle estrutural imposto às mesmas. Nas zonas onde a carste se apresenta pouco desenvolvido, como ocorre em toda porção norte da área, o sistema aquífero se apresenta como um misto, fissural cárstico, tanto em superfície como em subsuperfície. Neste caso, os elementos fissurais se constituem nas próprias formas de recarga e armazenamento. E o aquífero terá um comportamento acentuadamente fissural. A influência dos elementos fissurais pode ser avaliada pela sua distribuição superficial medindo-se diretamente no campo as fraturas ou através das próprias feições cársticas superficiais.

Os diagramas das Figs.3 e 4 mostram as principais direções de fraturas associadas às feições cársticas nas regiões norte de Irecê, intermediária e sul, respectivamente. Através da análise destes elementos, pode-se avaliar a evolução dos processos de carstificação na área, em função da influência relativa dos elementos estruturais. É sempre oportuno se frisar que se trata de uma influência relativa, ou seja, estes elementos não interferem isoladamente no processo, e sim em conjugação com os demais fatores, a água e composição química da rocha. Sendo exatamente a água o elemento ativo, sem a qual não existirá carstificação.

Observando-se ainda os diagramas da Fig.4, verifica-se a forte adaptação da carstificação ao estilo longitudinal de direção aproximada E-W nas regiões norte e intermediária e N-S na região sul. Este fato é mais marcante nas regiões norte e intermediária, pelo efeito da maior intensidade dos dobramentos, que coloca em proeminência os planos de estratificação, que por sua vez se transformam nas estruturas francamente preferenciais de instalação da carstificação mais superficial, conforme ficou demonstrado. As direções no estilo diagonal e mesmo transversal aparecem com destaque em ambas as áreas. A maior diferença entre elas reside na densidade das feições cársticas adaptadas às estruturas E-W que é bem maior na região intermediária. Ainda nessa região verifica-se o controle estrutural do rio Jacaré, correspondendo à direção N40-50E, mostrada em destaque no diagrama da Fig.3.

Na região sul, persiste a forte adaptação da carstifica-

ção às estruturas longitudinais N-S, aparecendo também a competição de outras direções, tendo como particularidade uma maior concentração destas direções no quadrante NW, conforme mostrado no diagrama da Fig.4. O efeito deste comportamento se faz sentir claramente na orientação do fluxo subterrâneo, que nesta área se faz preferencialmente de NW para SE, concordante com a orientação da carstificação.

A maior presença dos grandes fissuramentos se faz sentir ao longo das zonas de contato com o Grupo Chapada Diamantina, especialmente ao lado leste e na zona intermediária ao longo do vale do rio Jacaré. São zonas preferenciais de implantação da rede de drenagem subterrânea, além da possibilidade da carstificação atingir a maiores profundidades. Sabe-se que a maior ou menor intensidade nos processos de carstificação não se deve, exclusivamente, à presença de um intenso fissuramento, entretanto, a maior profundidade destes níveis, e mesmo a implantação da rede de drenagem subterrânea (formas de circulação), estes sim, são determinados preferencialmente por fatores estruturais. Além do mais, os elementos fissurais se constituem nas próprias formas primárias de recarga, armazenamento e circulação hídrica, onde os processos de carstificação ainda não se instalaram integralmente.

As zonas de maior carstificação e/ou mais fissuradas são normalmente de forte controle estrutural e se refletem em superfície, através de feições morfológicas típicas, como as dolinas e demais superfícies de afundamento ou mesmo pela evidência do próprio fissuramento. Estas feições são adotadas como fatores guias ou critérios de locação. A utilização de fotografias aéreas, preferencialmente nas escalas 1:25.000 a 1:40.000 é de grande valia na identificação das estruturas favoráveis, assim como as características que definem estas estruturas. As locações devem ser sempre dirigidas para a borda das feições, quer sejam elas nitidamente cársticas quer fissurais. Este procedimento traz grandes vantagens operacionais e de custos, pois evitam-se as zonas de maior decomposição da rocha, de perfuração problemática e uso de maior quantidade de revestimento, (Guerra, 1968).

O alinhamento das dolinas ou superfícies de afundamento alongadas sugerem zonas preferenciais de maior carstificação e de controle estrutural. As locações devem-se dirigir para as bordas das estruturas e preferencialmente no sentido de jusante do fluxo subterrâneo. No caso de cruzamento destas estruturas alinhadas, o ponto de cruzamento é sempre uma opção segura de locação, por se traduzir em um ponto de convergência de fluxo e de maior carstificação, (Fig.5 e 6).

A partir de exemplos de poços perfurados na área, os seguintes fatos foram observados:

. Poços locados em feições cársticas de origem ou associa-

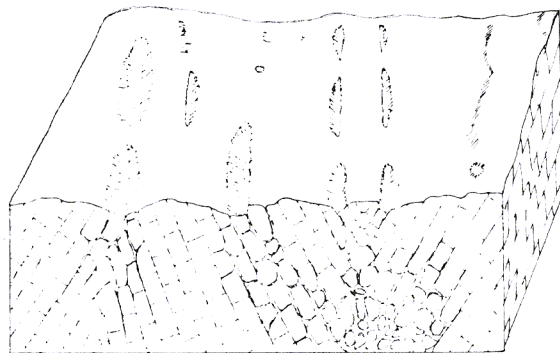


Fig. 05 — Feições cársticas e estruturas relacionadas aos dobramentos — Norte de Irecê

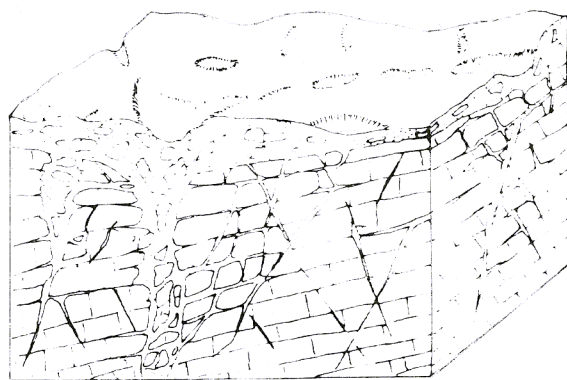


Fig. 06 — Ocorrência de intensa carstificação em zona de interseção de fraturas

dos a estruturas transversais, N-S na parte norte e E-W ao sul da área, possuem maior capacidade de produção.

. Há um aumento no volume de água produzida por poços tubulares à medida que suas locações estejam mais afastadas dos eixos dos anticlinais.

. Observou-se também que os poços perfurados nos eixos dos anticlinais, em que se obteve boas vazões, suas locações estão sempre relacionadas a estruturas transversais.

. Alguns poços perfurados em locações que aparentemente não apresentavam estruturas superficiais, obtiveram boas vazões, geralmente situam-se próximos a eixos de sinclinais e suas entradas de água encontram-se a profundidades maiores que a comum.

. Um outro fator importante no posicionamento dos poços tubulares é a sua localização em relação a própria estrutura cárstica ou fissural. A locação na borda e do lado do mergulho é a mais recomendável. Salvo em áreas de carstificação pouco desenvolvida, o mergulho da estrutura é refletido na morfologia da feição cárstica, isto é, a borda mais inclinada reflete sempre a direção do mergulho, quer seja ele gerado por fraturas ou acamamento.

#### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em decorrência do fato dos calcários Bambuí apresentarem-se intensamente dobrados e pouco carstificados, especialmente em toda porção norte da Chapada de Irecê, torna-se indispensável para uma boa locação, a observação do comportamento dos elementos estruturais localmente, estando estes associados ou não a feições cársticas superficiais.

Como a identificação destes elementos em campo apresenta-se, muitas vezes, mascarados ou de difícil identificação, na ausência de mapas estruturais em escala adequada, fotografias aéreas na escala de 1:25.000 a 1:40.000 torna-se um valioso instrumento para a hidrogeólogo.

Situações especiais como as locações nas proximidades dos eixos dos sinclinais em áreas não carstificadas em face de um resultado negativo até o limite das profundidades médias estabelecidas, (80m), devem-se aprofundar os poços.

As zonas próximas aos eixos das anticlinais, devem ser consideradas como desfavoráveis, salvo quando existirem concorrência de estruturas transversais.

Mesmo nas áreas onde a carstificação apresenta-se superficialmente ausente continuam válidas todas as observações contidas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRITO NEVES, B.B - 1967 - Geologia das Falhas de Upamirim e Morro do Chapéu, Bahia. Recife, SUDENE/CONESP ( Relatório Técnico nº 17)
- FREEZE, R.A; CHERRY, J.A. - 1979 - Groundwater. Prentice Hall Inc., New Jersey.
- GUERRA, A.M. - 1976 - Processos de Carstificação e Hidrogeologia do Grupo Bambuí na Região de Irecê-Bahia - Tese de Doutorado - USP - São Paulo.
- KEGEL, W. - 1959 - Estudos Geológicos na Zona Central da Bahia. DNPM/DGM, Bol. 198, Rio de Janeiro.
- MONTES, A.S.L.; MONTES, M,L; DARDENNE, A. - 1981 - A região da Serra de Jacobina um Paleorelevo ativo durante a sedimentação dos Grupos Chapada Diamantina e Bambuí. In: Simpósio sobre o Craton de São Francisco e suas Faixas Marginais, 1ª, Salvador, 1979. Anais SBG - Núcleo Bahia.
- PEDREIRA, A.J.; SILVA, B.C.E.; PEDROSA, C.J.; ARCANJO, J.B.A; OLIVEIRA, J.E.; GUIMARÃES, J.T. - 1975 - Geologia da Chapada Diamantina. Projeto Bahia, Relatório Final Vol.I.Salvador, DNPM/CPRM.
- PEDREIRA, A.J.; DOURADO, A.J.; TORRES, J.; MORAIS FILHO, J.; BONFIM, L.F. - 1985 - Projeto Bacia de Irecê - Relatório I Etapa - CPRM - Salvador.
- PLATA, A.; SILVA, A.B.; JARDIM, F.E.; OLIVEIRA, L.B. - 1980 - Contribuição de diversas técnicas Isotópicas no Estudo aquífero cárstico da Região Central da Bahia (Irecê - Iraquara). ABAS - Rev. Águas Subterrâneas - Vol. II, nº 1).
- SIDIQUI, S.H.; PARIZEK, R.R. - 1971 - Hydrogeologic Factors Influencing Well Yields in Folded and Faulted Carbonate Rocks in Central Pennsylvania. Water Res. Rec., 7 (5).