

# O CONHECIMENTO GEOCIENTÍFICO DAS BACIAS SEDIMENTARES DE LAVRAS DA MANGABEIRA

*Liano Silva Veríssimo, Robério Bôto de Aguiar, Jaime Quintas dos Santos Colares e Fernando Antonio Carneiro Feitosa.*

*Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Residência de Fortaleza. Av. Antonio Sales, 1418, Dionísio Torres, CEP 60.135-101, Fortaleza-Ce. liano@fo.cprm.gov.br; boto@fo.cprm.gov.br; ffeitosa@fo.cprm.gov.br; jaime@fo.cprm.gov.br.*

Este trabalho corresponde ao Relatório Síntese Preliminar da Meta A – Levantamento do Estado da Arte da Bacia Sedimentar de Lavras da Mangabeira. Esta etapa do projeto teve como objetivo a execução de um levantamento bibliográfico e de dados existentes sobre as geociências da área estudada. Foi resgatada grande parte dos trabalhos realizados anteriormente na bacia selecionada, sendo priorizados os estudos hidrogeológicos sem, no entanto, descartar as áreas correlatas (Geologia, Geofísica etc). Esses trabalhos foram organizados, analisados e as informações pertinentes devidamente registradas, de modo a se gerar, tanto a história bibliográfica como a síntese do conhecimento existente em cada bacia, o que permitirá o planejamento detalhado e facilitará a execução das etapas seguintes previstas no presente estudo. Essas bacias têm posição geográfica entre os paralelos 06º 46' 00" e 06º 51' 00" de latitude sul e meridianos 39º 10' 00" e 38º 56' 00" de longitude oeste de Greenwich. A bacia sedimentar de Lavras da Mangabeira constitui um conjunto de três pequenas bacias situadas na região sudeste do estado do Ceará, nordeste do Brasil, com uma área aproximada de 60,27 km<sup>2</sup>. A bacia de maior extensão (13,5 km de comprimento) tem área aproximada de 33,20 km<sup>2</sup> ocupando uma faixa de forma elíptica com eixo principal na direção NE-SW. A outra bacia, localizada ao sul com formato também elíptico, na direção NE-SW tem uma área aproximada de 24,81 km<sup>2</sup>. A bacia de menor tem área de 2,20 km<sup>2</sup>, forma retangular e eixo principal na direção E-W.

O contexto litoestratigráfico e estrutural das bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira foi estudado detalhadamente por PONTE, F. C.; DINO, R.; ARAI, M. & SILVA-TELLES Jr. A. C. da., em 1990 no trabalho *Geologia das bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira e do remanescente sedimentar do Rio dos Bastiões*, para PETROBRAS. A finalidade desse trabalho foi à verificação de problemas de mapeamento, de relações estratigráficas e estudo da possibilidade de geração e acumulação de petróleo. Por esta bacia ser pouco estudada e não existir muitos trabalhos na área, a evolução dos conhecimentos geológicos, abordados a seguir para descrever suas características geológicas, foram extraídos desse trabalho.

## 2.1. Trabalhos Anteriores

A grande maioria dos autores que estudaram as pequenas bacias sedimentares do nordeste, desde CRANDALL (1910), passando por MORAES (1924), MORAES *et al.* (1960/1962), BEURLIN e MABESOONE (1969), BRAUN (1969), DANTAS (1974), PRIEM *et al.* (1978), CAMPOS *et al.* (1979), GOMES *et al.* (1981), SCHOBENHAUSS *et al.* (1984), ALMEIDA *et al.* (1988), entre os principais, admitem que elas sejam relacionadas entre si e com as demais camadas basais da Bacia do Araripe, constituindo prováveis remanescentes da extremidade setentrional da paleobacia do Araripe. COSTA & MELO (1965), apud CARVALHO, (1989) consideraram as

rochas sedimentares das bacias de Lavras da Mangabeira, correlacionáveis com aquelas das bacias do Rio do Peixe.

Trabalhos geológicos específicos sobre a área de Lavras da Mangabeira, são poucos. Citam-se aqui COSTA e MELO (1965), PRIEM *et al.* (1978), PRADO *et al.* (1980) e CARVALHO (1989). Nos textos explicativos dos principais mapas geológicos regionais que registram as bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira (MORAES *et al.*, 1962; DANTAS, 1974; CAMPOS *et al.*, 1979; GOMES *et al.*, 1981; SCHOBENHAUSS *et al.*, 1984), encontram-se apenas breves menções a seu respeito. Além disso, estes mapas são em sua maioria discordantes, quanto à caracterização litoestratigráfica e posição cronoestratigráfica

das rochas que constituem o preenchimento sedimentar dessas bacias.

CAVALCANTE & FERREIRA (1983), no Mapa Geológico do Estado do Ceará, atribuíram as áreas sedimentares de Lavras da Mangabeira à Formação Carirí, de idade siluro-Devoniana. MORAES *et al.* (1962) no "Reconhecimento Fotogeológico da Região Nordeste do Brasil (Folha Iguatu - SB.24-0)" mencionam as pequenas áreas sedimentares situadas à leste e a oeste da estrada que liga Quinaú a Lavras da Mangabeira, como remanescentes da Bacia do Iguatu. DANTAS (1974), no texto explicativo da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (Folha Jaguaribe - SB.24 e Folha Fortaleza -SA.24) também inclui a região de Lavras da Mangabeira, entre as áreas de ocorrência do Grupo Iguatu. Essa opinião é endossada por SCHOBENHAUSS *et al.* (1984). CAMPOS *et al.* (1979) no Projeto Rio Jaguaribe atribuem ao Grupo Rio do Peixe "todas as áreas sedimentares, distribuídas por diversas bacias isoladas, no interior do Nordeste, incluindo a de Lavras da Mangabeira e Quinaú, além de ocorrências menores, com perfil incompleto, ao sul de Iborepí e na área do Rio dos Bastiões", que afirmam haver registrado pela primeira vez. Assinalaram também, ao sul de Lavras da Mangabeira, rochas básicas extrusivas sobre estratos cretáceos do Grupo Rio do Peixe, às quais atribuem idade Terciária Inferior, correlacionando-as ao Vulcanismo Cabugi. GOMES *et al.* (1981), no Mapa Geológico do Projeto RADAM-BRASIL (Folhas Jaguaribe/Natal - SB.24/25) adotaram a denominação de Grupo Rio do Peixe, no mesmo sentido de CAMPOS *et al.* (1979) incluindo as bacias isoladas de Iguatu, Lima Campos. Icó, Lavras da Mangabeira, Quinaú, Souza. Pombal e Brejo das Freiras e também os restos sedimentares ao sul de Iborepí e da área do Rio dos Bastiões. Nesse trabalho do Projeto RADAM-BRASIL, seus autores procuraram conciliar as informações cronoestratigráficas obtidas pela palinologia na Bacia de Souza, que indicam idade Berriasiana a Barremiana, (LIMA & COELHO, 1987) com os dados geocronológicos, obtidos por datações radiométricas de rochas ígneas interpostas nos sedimentos das bacias de Lavras da Mangabeira, que indicam idade absoluta de  $175 \pm 4$  M.a. Assim adotaram para o Grupo Rio do Peixe, um intervalo de idade compreendido entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior. O derrame basáltico intercalado na Bacia de Lavras da Mangabeira foi incluído no Vulcanismo Rio Ceará Mirim (160 - 180 M.a.) e correlacionado com as ocorrências de rochas vulcânicas existentes na borda leste da Bacia do Parnaíba. Entre Picos e Conceição do Canindé (GOMES *et al.*, 1981). PRIEM *et al.* (1978) dataram seis amostras da camada basáltica intercalada na base da coluna sedimentar da Bacia de Lavras da Mangabeira, pelo método K-Ar, achando idade de  $175 \pm 4$  M.a. (Jurássico Inferior a Médio). Em termos lito-estratigráficos, denominaram a seqüência sedimentar de Grupo Lavras, correlacionando-o, com os "membros basais" do Grupo Araripe (Formação Missão Velha) e do Grupo Iguatu (Formação Quixóá). VASCONCELOS *et al.* (1998) identifica

as coberturas sedimentares de cronologia mesozóica, adotando a denominação de Grupo Iguatu, correlacionando essa bacia com a parte inferior da bacia do Iguatu.

Como se vê, a maioria dos autores que mapearam a região, tendem a estender às bacias de Lavras da Mangabeira as terminologias estratigráficas de bacias vizinhas, em particular a das bacias do Rio do Peixe e do Iguatu. Este procedimento tem sido baseado na inferência, de uma bacia sedimentar pretérita, de dimensões vastas, englobando todas as atuais bacias do Araripe, Iguatu, Rio do Peixe, e as bacias menores intermediárias. Considerando-se que não existem evidências seguras que confirmem essa hipótese de trabalho, preferiu-se, no presente trabalho, adotar o mesmo procedimento de PRIEM *et al.* (1978), dando denominações próprias aos estratos sedimentares das bacias de Lavras da Mangabeira. Rejeita-se, porém, o termo "Grupo Lavras", adotado por PRIEM *et al.* (op. cit.), por ser uma denominação estratigráfica já comprometida e com prioridade, na literatura geológica nacional, para descrever outras unidades litoestratigráficas (ver BAPTISTA *et al.*, 1984). Por esse motivo preferiu-se denominá-lo de Grupo Lavras da Mangabeira. Na Figura 2 podemos ver a localização das bacias sedimentares do interior do Nordeste do Brasil, com relação ao arcabouço estrutural regional.

## **2.2. Litoestratigrafia**

As bacias de Lavras da Mangabeira comportam duas formações: Iborepí e Serrote do Limoeiro, interpostas pelo Basalto de Lavras da Mangabeira, de idade eo a meso-jurássica ( $175 \pm 4$  Ma). O substrato é formado por rochas metamórficas de idade pré-cambriana, aqui descrita genericamente como Complexo do Embasamento. No topo ocorre discordantemente sedimentos cenozóicos inconsolidados, sem denominação estratigráfica própria. O coluna estratigráfica é ilustrado na Figura 3.

### **Complexo do Embasamento**

O Complexo do Embasamento das bacias de Lavras da Mangabeira, como mapeado por CAMPOS *et al.* (1979), comporta duas unidades lito-estratigráficas: o Grupo Ceará e o Complexo Caicó. SANTOS *et al.* (1981, apud SANTOS e BRITO-NEVES, 1984), individualizaram, dentro dessas unidades o Complexo Lavras da Mangabeira, constituído por epimetarmorfitos preservados em pequenas bacias eo-Proterozoicas. Na área tipo este complexo é formado por três unidades litoestratigráficas: (1) uma seção inferior composta por gnaisse com intercalações de máficas; (2) uma seção intermediária formada de micaxistos, com intercalações de quartzitos e mármore dolomíticos e (3) uma seção superior, composta por filitos com níveis grafitosos.

### **Grupo Lavras da Mangabeira**

O termo Grupo Lavras da Mangabeira é aqui empregado para designar os pacotes de estratos sedimentares, intercalados por um derrame de lavras basálticas, que ocorrem nas bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira, no Estado do Ceará. A introdução de um novo termo litoestratigráfico, para nomear essa seção, se justifica em face da falta de consistência da terminologia que tem sido empregada, até agora, para designá-la, conforme já foi exposto nesse trabalho.

O Grupo Lavras da Mangabeira, como aqui definido, inclui três unidades litoestratigráficas distintas: (1) uma unidade sedimentar inferior, aqui designada de “Formação Iborepí”; (2) uma unidade sedimentar superior aqui nomeada de “Formação Serrote do Limoeiro” e (3) intercalada entre elas, uma camada de rochas efusivas basálticas, aqui denominada de “Basalto de Lavras da Mangabeira”.

O Grupo Lavras da Mangabeira engloba dois sistemas deposicionais distintos, separados por uma camada de rochas efusivas basálticas. Na parte inferior, ocorre um sistema fluvio-aluvial, composto de leques aluviais coalescente, e de depósitos fluviais anastomosados ("braided"), aqui individualizado com a designação de Formação Iborepí. A parte superior é formada por um sistema deposicional lacustre raso, com planícies de inundação fluvial, denominada de Formação Serrote do Limoeiro.

A área de ocorrência do grupo restringe-se às três pequenas bacias sedimentares que formam o conjunto de bacias de Lavras da Mangabeira: a Bacia do Riacho do Meio, a Bacia do Riacho do Rosário e a mini-bacia de Iborepí.

As seções mais completas e mais espessas do Grupo Lavras da Mangabeira acham-se expostas na Bacia do Riacho do Meio, da ordem de 400 metros. CAMPOS *et al.* (1979), calculam, para o mesmo pacote, uma espessura aproximada de 350 metros. No entanto, PRIEM *et al.* (1978), estimam a espessura máxima do preenchimento sedimentar da bacia em apenas 80 metros.

O Grupo Lavras da Mangabeira repousa, em discordância litológica, sobre um embasamento de rochas metamórficas do Complexo de Lavras da Mangabeira, de idade eo-Proterozóica. Seu topo é truncado por erosão e parcialmente capeado, em discordância angular, por aluviões quaternários sem denominação estratigráfica própria, aqui descritos como "Sedimentos Cenozóicos Indivisos".

Em trabalhos prévios (COSTA & MELO, 1965; BRAUN, 1969; DANTAS, 1974; PRIEM *et al.*, 1978; CAMPOS *et al.*, 1979; PRADO *et al.* 1980; GOMES *et al.* 1981; SCHOBHENHAUSS *et al.* 1984; CARVALHO, 1989 e VASCONCELOS *et al.* 1998) os estratos sedimentares das bacias de Lavras da Mangabeira têm sido correlacionados com os grupos Rio do Peixe e Iguatu, baseados na inferência de que todas essas bacias constituem relíquias remanescentes de uma paleobacia Mesozóica de dimensões muito vastas. CAVALCANTE & FERREIRA (1983), consideraram as bacias de Lavras da Mangabeira, preenchidas pela Formação Cariri, de data Siluro-Devoniana. Conseqüentemente, elas seriam remanescentes da extensa bacia paleozóica que teria ocupado vastas áreas, incluindo as atuais bacias do Parnaíba, do Araripe e os remanescentes sedimentares de São José do Belmonte, de Mirandiba, de Afogados da Ingazeira e até as distantes bacias do Jatobá e Tucano.

Há que se reconhecer que com o atual nível de conhecimentos geológicos, não existem evidências que possam oferecer suporte seguro a nenhuma das duas hipóteses mencionadas. No entanto, a análise dos poucos dados disponíveis, permite algumas conclusões preliminares: (1) parecem confiáveis as determinações geocronométricas de  $175 \pm 4$  Ma. e de  $219 \pm 8$  M.a., para o Basalto de Lavras da Mangabeira. Vulcanismo de mesma idade é conhecido na Bacia do Parnaíba, representado pela Formação Mosquito de idade neo-Triássica a meso-Jurássica e nos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, conhecido como Vulcanismo Rio Ceará Mirim, com idade entre 160 a 180 M.a. (2) A ocorrência de rochas efusivas, de idade neo-Triássica a meso-Jurássica, sobrepostas à Formação Iborepí, desautoriza a correlação dessa unidade com a Formação Antenor Navarro, do Grupo Rio do Peixe e com a Formação Icó do Grupo Iguatu, ambas posicionadas crono-estratigraficamente no Cretáceo Inferior, por indicação dos seus

idênticos conteúdos fossilíferos. (3) As relações estratigráficas entre as formações Iborepí e Serrote do Limoeiro, aparentemente concordantes em foto-interpretção, ainda não estão devidamente esclarecidas em virtude da existência de uma camada de basaltos interposta entre elas, em toda a área de afloramentos. (4) Aceitar, como correta, a correlação crono-estratigráfica entre o Grupo Lavras da Mangabeira e os grupos Rio do Peixe e Iguatu, implicaria em admitir-se a pressuposição de grosseiras discrepâncias na calibração das escalas geocronológicas e crono-estratigráficas, hoje empregadas nas bacias sedimentares Mesozóicas do Brasil. Enquanto não comprovada essa hipótese é, em princípio, rejeitada aqui.

Com base nessas conclusões admite-se como hipótese de trabalho mais provável, que o Grupo Lavras da Mangabeira seja correlato da Formação Mosquito, da Bacia do Parnaíba. Ambos são constituídos por estratos sedimentares terrígenos de origem continental, intercalados com basaltos de idade neo-Triássica a meso-Jurássica.

Esta hipótese, embora simples e imediata, à luz dos dados disponíveis, tem contra si o pecado de contrariar os modelos inferidos de evolução tectônica, hoje largamente aceitos para a Província Borborema e para as bacias sedimentares do interior do Nordeste (CARNEIRO *et al.*, 1988, por exemplo). Em primeiro lugar, é vista com ceticismo a possibilidade de existência de remanescentes sedimentares, de idade neo-Triássica a meso-Jurássica, sobre a Província Borborema, considerando-se que esse período teria se caracterizado por uma intumescência crustal acompanhada de intensa erosão, responsável pela retração dos limites da bacia periférica do Parnaíba. Por outro lado, dentro do mesmo modelo é também considerada estranhável a ausência de sedimentação eo-Cretácica nas bacias de Lavras da Mangabeira, que a exemplo das demais bacias do interior do Nordeste, deveria ter sofrido subsidência durante a reativação Wealdeniana. Por tudo isso, considera-se que o problema da posição crono-estratigráfica do Grupo Lavras da Mangabeira continua em aberto à espera de novos dados que permitam maiores esclarecimentos.

### **Formação Serrote do Limoeiro**

A Formação Serrote do Limoeiro é a unidade litostratigráfica superior do Grupo Lavras da Mangabeira. O nome tem origem do Serrote do Limoeiro, situado no interflúvio do riacho do Meio com o riacho da Mescla, no distrito de Mangabeira (Estado do Ceará), onde afloram as melhores e mais completas seções dessa unidade. Essa formação constitui as bacias do Riacho do Meio e do Riacho do Rosário.

Em trabalhos anteriores a formação foi incluída na Formação Antenor Navarro (CAMPOS *et al.*, 1979; PRADO *et al.* 1980 e GOMES *et al.*, 1981); na Formação Cariri (CAVALCANTE & FERREIRA, 1983); no Grupo Lavras (PRIEM *et al.*, 1978) e no Grupo Iguatu (VASCONCELOS *et al.* 1998).

Essa unidade superior é formada por depósitos de planícies fluviais e lacustres rasos constituídos por arenitos de coloração vermelha, de granulação média a fina, classificação regular a boa, friáveis, com ocorrência freqüente de grãos de feldspato caulinizados. É bem estratificada em acamamento variável de médio a espesso. Estratificações cruzadas de pequeno porte são freqüentes nos bancos de arenitos de granulação média.

Intercalam-se arenitos muito finos, siltitos e argilitos de coloração vermelha e também leitões delgados de folhelhos cinza-esverdeados, localmente fossilíferos (conchostráceos). As estruturas

sedimentares, aliadas à coloração vermelha dos sedimentos são indicativas de ambientes lacustres rasos, com águas arejadas, e ambientes sub-aéreos de bordas de lagos e planícies fluviais.

A Formação Serrote do Limoeiro ocorre nas bacias do Riacho do Meio e do Riacho do Rosário. Aparecem nas localidades de Flores, Limoeiro, Serrote do Limoeiro, Carnaubinha e Oitis. Estima-se uma espessura de 300 a 320 metros, na Bacia do Riacho do Meio. Uma boa seção-tipo é a seqüência exposta ao longo do caminho que liga as localidades de Tabuleiro Alegre e Carnaubinha, passando pela localidade de Flores e pelo Serrote do Limoeiro.

A Formação Serrote do Limoeiro repousa sobre o Basalto de Lavras da Mangabeira, enquanto sua parte superior encontra-se com grande parte exposta à erosão, sendo parcialmente recoberta por depósitos aluvionares Cenozóicos que pavimentam os vales dos principais riachos da região. Admite-se, como hipótese mais provável, que esta unidade seja correlacionável com a Formação Mosquito (Juro-Tnássico) da Bacia do Parnaíba.

### **Basalto de Lavras da Mangabeira**

O Basalto de Lavras da Mangabeira constitui-se de uma camada de rochas básicas interpostas entre as formações Iborepí e Serrote do Limoeiro, com distribuição aparentemente continua ao longo das áreas de afloramento do contato das duas formações citadas. Sua atitude aparenta ser concordante com a dos estratos sedimentares onde se aloja. Sua espessura em dois afloramentos ultrapassa a máxima de 8 metros estimada por PRIEM *et al.* (1978).

PRIEM *et al.* (op. cit.) estudaram seis amostras dessas rochas, descrevendo-as como basalto de textura sub-ofítica, tendo como componentes principais plagioclásio e augita, em proporções aproximadamente iguais e hematita e magnetita como componentes secundários. Interpretaram essas feições como resultantes prováveis de vesículas originais. As datações radiométricas, pelo método do K-Ar, efetuadas pêlos mencionados autores, indicaram idade absoluta de  $175 \pm 4$  M.a. (Jurássico Inferior a Médio), considerada como a idade aproximada da extrusão. MIZUSAKI (1987) descreveu uma amostra, como uma rocha com textura diabásica fina onde os cristais de plagioclásio têm comprimento entre 0,2 e 0,7 mm. Augita e magnetita são os outros componentes mineralógicos identificados. A datação pelo método K-Ar, efetuada em rocha total indicou  $214 \pm 8$  M.a. (Triássico Superior a Jurássico Inferior).

Como se vê, as descrições de PRIEM *et al.* (1978) e de MIZUSAKI (1987) são coincidentes, exceto pela classificação da rocha, que os primeiros consideraram como basalto (rocha extrusiva) e a última classifica como “rocha com textura diabásica”, o que poderia indicar uma rocha intrusiva (dique ou soleira). “Geralmente basaltos são rochas de granulação fina. e diabásios de granulação média; porém nem a granulação nem a textura são critérios totalmente válidos para classificá-las; a distinção básica é o modo de ocorrência” (WILLIAMS *et al.*, 1958, p.39). Por isso, prefere-se aqui considerar as ígneas básicas das bacias de Lavras da Mangabeira como efusivas basálticas. O modo ocorrência dessas rochas, em toda extensão das bacias do Riacho do Meio e do Riacho do Rosa-no, sempre na mesma posição estratigráfica e em atitudes concordantes com os estratos sedimentares onde se alojam é mais típico de derrames vulcânicos do que de intrusões.

A faixa de idade do Basalto de Lavras da Mangabeira permite correlacioná-lo com as efusivas basálticas da Formação Mosquito, da Bacia do Parnaíba, de idade Juro-Triássica. GOMES *et al.* (1981), a correlacionam com as rochas vulcânicas que ocorrem no bordo leste da bacia do

Parnaíba, entre Picos e Conceição do Canindé, incluídas no Vulcanismo Rio Ceará Mirim, de idade absoluta entre 160a 180 M.a.

### **Formação Iborepí**

A Formação Iborepí é a unidade litoestratigráfica basal do Grupo Lavras da Mangabeira. O nome deriva da vila de Iborepí, situada à margem esquerda do rio Salgado, na parte sul do Estado do Ceará, onde aflora uma das melhores seções dessa formação. Essa formação constitui a mini-bacia de Iborepí.

Em trabalhos anteriores, esta unidade foi incluída na Formação Antenor Navarro; (CAMPOS *et al.*, 1979; PRADO *et al.*, 1980 e GOMES *et al.*, 1981); classificada como Formação Cariri (CAVALCANTE & FERREIRA, 1983) ou incluída no Grupo Lavras (PRIEM *et al.*, 1978) e no Grupo Iguatu (VASCONCELOS *et al.* 1998).

Essa unidade basal é formada por depósitos de leques aluviais e bancos de arenitos fluviais anastomosados, carreados das áreas de embasamento para dentro da bacia, por correntes de água de forte competência de transporte. Litologicamente é composta por arenitos grosseiros, brancos a branco-amarelados, mal classificados, friáveis, com acamamentos de espessura irregular, normalmente espesso a muito espesso, com estratificações cruzadas. Localmente, níveis de conglomerados, com seixos rolados de quartzo intercalam-se nos arenitos. Eventualmente, delgadas camadas de siltitos e argilitos, de coloração avermelhada, podem ser encontradas, entremeadas na parte superior da unidade.

A Formação Iborepí aflora nas bordas meridionais de todas as três bacias de Lavras da Mangabeira e também no bloco norte da Bacia do Riacho do Rosário. Ela pode ser observada nas localidades de Unha de Gato, Caixa d'Água e Sítio das Varas, e na Bacia do Riacho do Rosário. A espessura dessa formação é bastante irregular, estimando-se que não ultrapasse de 60 a 80 metros.

Os estratos basais da Formação Iborepí assentam-se, em discordância litológica, sobre as rochas metamórficas do Complexo Lavras da Mangabeira, de idade eo-Proterozóica. O seu topo é coberto por uma camada de basalto de idade neo-Triássica a meso-Jurássica, que lhe sobrepõe em atitude aparentemente concordante em toda a sua área de afloramentos, exceto na Bacia de Iborepí, onde está ausente.

Não se tem registro de ocorrências fossilíferas que possam dar melhor indicação da posição crono-estratigráfica da formação. A rigor, tudo que se pode afirmar com segurança é que ela é de idade pré-meso-Jurássica. Admite-se, com reservas, a sua correlação com a Formação Mosquito, Juro-Triássico da Bacia do Parnaíba.

### **Sedimentos Cenozóicos Indivisos**

Esta unidade, sem denominação estratigráfica própria, é constituída por depósitos aluvionares inconsolidados de idade supostamente quaternária. Litologicamente incluem areias, siltes, argilas e localmente bancos de cascalheiras. Ela distribui-se em estreitas faixas, nos os vales dos rios e riachos principais. Estas faixas alargam-se sobre as bacias sedimentares, onde os cursos de água encontram rochas de menor resistência para escavar leitos mais amplos.

Estratigraficamente, os depósitos aluvionares quaternários repousam em discordância angular sobre as rochas sedimentares do Grupo Lavras da Mangabeira ou em discordância litológica sobre as rochas metamórficas do Embasamento. Na Figura 4 está representado o mapa geológico das bacias sedimentares de Lavra da Mangabeira segundo VASCONCELOS, *et al.* (2003).

O Domínio Estrutural Cearense, da Província Borborema é cortado pela Zona Transversal de dobramentos, limitada entre o Lineamento de Patos ou da Paraíba, ao norte, e o lineamento de Floresta ou de Pernambuco, ao sul. Nessa zona de dobramentos, moldados durante o Ciclo Tectônico Brasileiro, predominam alinhamentos estruturais com orientação E-W, que tendem a infletir para uma direção NE-SW, a oeste do meridiano de 39 WGr. É exatamente neste trecho, de inflexão estrutural que estão implantadas as bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira, compreendendo três pequenas bacias isoladas; aqui nomeadas como: (1) Bacia do Riacho do Rosário, (2) Bacia do Riacho do Meio e (3) Bacia do Iborepi. Todas elas formam semi-grabens, com os estratos sedimentares assentados, em discordâncias litológicas sobre o Embasamento Pré-cambriano. Esses contatos estão muito bem expostos nas bordas meridionais de todas elas. As camadas sedimentares mergulham para norte ou noroeste, onde fazem contato com o dito Embasamento, através de falhas normais de alto ângulo, com direção E-W ou NE-SW. Essas falhas representam setores de falhamentos mais extensos, do sistema de alinhamentos estruturais Brasileiros.

A Bacia do Riacho do Rosário é cortada longitudinalmente por uma falha de direção ENE, aqui denominada de Falha do Riacho do Rosário, que a divide em dois blocos estruturais. O bloco sul, com camadas de direção N-E, mergulhando para NNW e o bloco norte com orientação N-S, mergulhando para leste. Esta discrepância tão grande de atitude, entre os dois referidos blocos estruturais, é sugestiva de deslocamento transcorrente ao longo da Falha do Riacho do Rosário. Nesta bacia os mergulhos para norte são da ordem de 10 graus.

A Bacia do Riacho do Meio é também um "semi-graben" com o contato basal discordante muito bem exposto na borda sul, ao longo de uma estrada secundária passando pelos povoados de Unha de Gato, Caixa d'Água e Sítio das Varas. As camadas sedimentares mergulham para noroeste, com inclinação média da ordem de 10 graus. No flanco noroeste, o contato com o Embasamento Pré-cambriano, se faz através de uma falha normal de alto ângulo, com direção NE-SW, aqui denominada de Falha do Riacho da Mescla. No flanco nordeste o contato com o embasamento se faz por uma falha inferida ao longo do leito do riacho das Pimenteiras. Na sua parte nordeste a bacia é cortada por uma falha com direção NNE, limitando um pequeno bloco que forma a extremidade nordeste da bacia, em atitude concordante com a do bloco principal.

Pequenos blocos estruturais limitados por falhas de orientação NE-SW ocorrem entre as bacias do Riacho do Meio e do Riacho do Rosário, em trecho cortado pela rodovia BR-230 e pela estrada CE-25, que dá acesso à vila de Quintaús.

A Bacia de Iborepi tem orientação E-W, com o contato basal discordante, exposto no seu flanco sul. Nesta mini-bacia os mergulhos, para norte, têm inclinação da ordem de 10 a 20 graus. Mergulhos mais fortes, de 30 graus, foram registrados por PRIEM *et al.* (1978). No flanco norte o contato com o embasamento, se faz pela Falha de Iborepi; uma falha normal de alto ângulo, com orientação E-W, em concordância com os alinhamentos estruturais da Zona Transversal.

A foto-interpretação e as observações de campo evidenciam que a camada de rochas ígneas básicas interposta na parte inferior da coluna estratigráfica, tem distribuição contínua e atitude concordante com a estratificação das "cuestas" sedimentares. Além disso, ocupam a mesma

posição estratigráfica, em ambas as bacias: do Riacho do Meio e do Riacho do Rosário. Estas evidências indicam tratar-se de derrames basálticos, conforme identificado por PRIEM *et al.* (1978) e CARVALHO (1989) e não de diques ou de pequenas soleiras de diabásio, como tem sido interpretado em outros trabalhos (CAMPOS *et al.*, 1979; PRADO *et al.*, 1980; GOMES *et al.*, 1981; CAVALCANTE e FERREIRA, 1983; MIZUSAKI, 1988). Os derrames basálticos não ocorrem na mini-bacia de Iborcpi.

#### **2.4. Evolução Tectono-Sedimentar**

Acredita-se que durante todo o período Triássico a Província Borborema esteve submetida a um soerguimento tectônico, formando uma intumescência crustal, que perduraria, até meados do Jurássico, pelo menos. Esse processo tectônico teria favorecido a intensa erosão da cobertura sedimentar paleozóica, deixando desnudo o embasamento, em vastas extensões da Província. Apenas relíquias da antiga cobertura sedimentar paleozóica, notadamente de arenitos Siluro-Devonianos(?), restaram preservados em blocos falhados deprimidos, tais como nas bacias do Araripe, Mirandiba, Jatobá, São José do Belmonte, Afogados da Ingazeira e outras.

Os resíduos dessa erosão teriam sido, em grande parte, transportados para a bacia periférica do Parnaíba, onde se depositariam como detritos terrígenos, que viriam à constituir a Formação Mosquito, incluída na Seqüência Delta-A (SOARES *et al.*, 1978).

Simultaneamente com a sedimentação da Formação Mosquito, deflagrou-se um episódio vulcânico responsável pela efusão de magma básico, que hoje constituem as camadas de basaltos entremeadas com os estratos sedimentares daquela formação, ou formando o Vulcanismo Rio Ceará Mirim (160 a 180 M.a.).

Na região de Lavras da Mangabeira, esse vulcanismo manifestou-se com pequena intensidade. É conhecido apenas um derrame de lavas basálticas que se encontra entremeadado com os estratos sedimentares do Grupo Lavras da Mangabeira, que estariam sendo depositados, concomitantemente com os terrígenos continentais da Formação Mosquito da Bacia do Parnaíba.

No que diz respeito aos processos e ambientes sedimentares, sabe-se que a Formação Iborcpi foi depositada em ambiente continental por um sistema de leques aluviais coalescentes, e fluvial anastomosado, em um regime de alta competência de transporte das correntes fluviais. A subsidência gradual da bacia prosseguiu após o episódio vulcânico Juro-Triássico, favorecendo a implantação de lagos rasos, sujeitos ao influxo de correntes fluviais de baixa competência, propiciando a deposição dos sedimentos que viriam a constituir a Formação Serrote do Limoeiro.

Após ser assoreada, a paleobacia de Lavras da Mangabeira, foi atingida por tectonismo que reativaram antigos alinhamentos estruturais Pré-cambrianos (com movimentos gravitacionais e transcorrestes), fragmentando-a em pequenas bacias, falhadas. A configuração atual dessas bacias seria o resultado cumulativo de dois sucessivos eventos tectônicos: a Reativação Weideniana, no eo-Cretáceo, seguido pela Reativação pós-Aptiana (ou Albiana).

Após sua fragmentação, as pequenas bacias de Lavras da Mangabeira mantiveram-se soerguidas e submetidas à erosão. A única sedimentação de que se tem registro, desde então, é a pouca expressiva deposição de aluviões Cenozóicos, ao longo dos vales que drenam a região.

### 3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

#### 3.1. Evolução dos Conhecimentos hidrogeológicos

Os primeiros estudos hidrogeológicos no nordeste brasileiro foram patrocinados pela Inspetoria de Obras Contra a Seca (IOCS), atualmente denominado de Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). De junho de 1913 a janeiro de 1914, SMALL empreendeu uma expedição pelos estados do Ceará e Piauí com a finalidade de determinar a relação das águas subterrâneas com a geologia da região, ficando provada a sua importância para os trabalhos de perfuração de poços.

Com a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), e a vinda de vários técnicos de missões estrangeiras, é que realmente se deu o grande desenvolvimento da hidrogeologia nordestina através da construção de poços com técnicas avançadas que são utilizadas até os dias atuais. Aliado a este fato, a criação dos cursos de geologia no Brasil, em 1957, e a formação das primeiras turmas de geólogos nas universidades brasileiras no início da década de 60, deu-se um grande impulso no conhecimento hidrogeológico, não só na região nordeste como também em todo o Brasil.

Em 1962 foi criado junto a Seção de Hidrogeologia da SUDENE o Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe (GEVJ) com a dupla missão técnico-didática de realizar o estudo geral das águas subterrâneas do Vale do Jaguaribe (75.000 km<sup>2</sup>) e formar os primeiros hidrogeólogos brasileiros. Os trabalhos são concentrados em torno das três bacias sedimentares, do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, ou seja, um quarto da superfície total, as quais ofereciam, comparativamente, possibilidades mais amplas de armazenar água subterrânea.

GASPARY *et al.* (1967) apresentam os resultados obtidos com o Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Os autores definem para a área do Médio Jaguaribe as bacias sedimentares do Iguatu, de Malhada Vermelha, de Lima Campos e de Ico. As reservas para Iguatu e aluviões foram de 30,0x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, e para Ico e aluviões de 15,0x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. As bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira geograficamente estão inseridas nesta área, entretanto não são citadas no trabalho.

Ainda na década de 60, a SUDENE concebeu o Inventário Hidrogeológico do Nordeste, como um instrumento básico de pesquisa dos recursos de água subterrânea do Polígono das Secas, destinado a prover os conhecimentos de caráter regional, indispensáveis à definição dos estudos locais de exploração. Os trabalhos foram sintetizados em doze relatórios com mapas (1:500.000), que cobrem uma superfície de 580.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 70% da área do Polígono das Secas.

BARROS (1969), realizou uma campanha de prospecção elétrica (Schlumberger) nos sedimentos recentes (aluviões e arenitos) dos municípios de Lavras da Mangabeira e Várzea Alegre, objetivando a complementação do abastecimento de água nessas cidades. Na cidade de Lavras da Mangabeira, os estudos geofísicos atribuem 5 metros de espessura para as aluviões que repousam sobre o embasamento cristalino, enquanto para o mesmo sedimento repousado sobre os arenitos têm espessura média de 7 metros. Os arenitos, compactos, bem silicificados, com intercalações argilosas, apresentam espessuras média de 60 metros, podendo chegar a 100 metros. Essas mesmas sondagens evidenciaram a presença de falhas, tipo gravitacional de direção NW-SE e NE-SW, formando o Graben, mascaradas pelas aluviões. Na região do riacho do Machado, município de Várzea Alegre, os estudos geofísicos identificaram duas zonas argilosas com cerca

de 1,5 metros de espessuras cada, envolvendo uma zona saturada de areias finas a médias com espessura em torno de 5 metros. Esse pacote repousa sobre o embasamento cristalino.

CRUZ & FRANÇA (1970), apresentam os resultados dos estudos realizados pelo programa “Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste” na Folha Jaguaribe – SO. Nesse trabalho as bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira estão inseridas na bacia do Iguatu. A estimativa sobre as reservas de água subterrânea e os demais aspectos hidrogeológicos foram principalmente extraídos de Gaspary et al. (1967).

ALBUQUERQUE (1970), apresentam os resultados dos estudos realizados pelo programa “Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste” na Folha Jaguaribe – SE. Nesse trabalho as bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira também estão inseridas na bacia do Iguatu. Aflora com uma pequena expressão na porção oeste da folha.

A Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH elaborou em 1992 o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH. Este importante instrumento de gestão contém todo um estudo da capacidade e das potencialidades dos recursos hídricos a nível estadual e tem como objetivo viabilizar a utilização mais racional da água, sua proteção atual e futura e um sistema de monitoramento climático e hídrico permanentes. Para dar subsídios ao estudo das águas subterrâneas, foi realizado um cadastro de poços tubulares e análises físico-químicas e bacteriológicas para toda a Bacia do Jaguaribe, cadastrando 3.537 poços e 624 análises, formando um banco de dados e contribuindo, conseqüentemente, para o entendimento maior dos aspectos pertinentes as águas subterrâneas desta região. O Plano Estadual de Recursos Hídricos está condensado em 9 volumes: Estudos de Base I (v.2), Estudos de Base II (v.3) e Planejamento (v.4)

Em 1998, a CPRM Serviço Geológico do Brasil executou o Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Este Programa teve como objetivo básico o levantamento das condições atuais de todas as pontos d’água (poços tubulares, poços amazonas e fontes naturais), fornecendo subsídios e orientação técnica às comunidades, gestores municipais e órgãos governamentais na tomada de decisões, para o planejamento, execução e gestão dos programas emergenciais de perfuração e recuperação de poços. Foram cadastrados 77 poços no município de Lavras da Mangabeira.

Em 1998, a CPRM Serviço Geológico do Brasil elaborou o Diagnóstico do Município de Lavras da Mangabeira, a partir dos dados do Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Esse trabalho apresenta características gerais do município, além de conter o cadastro e mapa de localização dos poços tubulares existentes no município.

Em 1999 o Governo do Estado do Ceará implementou, através da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, o Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Neste plano as águas subterrâneas integram um capítulo específico e mostram, no geral, a evolução dos conhecimentos hidrogeológicos no âmbito da Bacia do Jaguaribe, após o desenvolvimento do Plano Estadual dos Recursos Hídricos – PERH. O Plano apresenta o estudo em 3 fases: Diagnóstico, Planejamento e Programas de ação. Esse trabalho esta disponível em tomos e em CD-ROM.

Em 2004 o Governo do Estado do Ceará através da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH apresentou uma proposta de Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1992 - Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Esta atualização é composta de 3 volumes: Diagnóstico (v.1), Planejamento (v.2) e Formulação de Programas (v.3). Esse trabalho esta disponível em CD-ROM.

## 3.2. Contexto Hidrogeológico da Área de Estudo

### Caracterização Geral

As bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira (bacia do Riacho do Meio, bacia do Riacho do Rosário), apresentam uma litologia caracterizada por seqüências alternadas de arenitos finos, siltitos e argilitos de coloração vermelha e também leitos delgados de folhelhos cinza-esverdeados, localmente fossilíferos (conchostráceos), podendo alcançar uma espessura da ordem de 300 a 320 metros, na bacia do Riacho do Meio. A mini-bacia de Iborepí é composta por arenitos grosseiros, brancos a branco-amarelados, mal classificados, friáveis, com acamamentos de espessura irregular, normalmente espesso a muito espesso. Sua espessura é bastante irregular, não ultrapassando a 80 metros.

As rochas sedimentares constituídas pelas Formações Serrote do Limoeiro e Iborepi, podem representar na região um domínio hidrogeológico com potencial para a ocorrência de água subterrânea, entretanto, essa propriedade decresce em importância devido a sua restrita área de ocorrência e ao desconhecimento total de suas características hidrodinâmicas. Os únicos dados que se conhecem são das bacias próximas como do Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos, Icó, e as do Rio do Peixe. GASPARY *et al.* (1967) atribui para as bacias do Iguatu os seguintes dados:  $T = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $K = 2,4 \times 10^{-6}$  m/s e reservas acumuladas para bacia do Iguatu e aluviões de  $30 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, e para bacia do Icó e aluviões de  $15 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Na área especificamente, as informações que se conhecem são os dados construtivos incompletos de 124 poços onde somente 2 estão perfurados nos sedimentos, com valores médios de profundidade igual a 64 m, vazão de 700 L/h e condutividade elétrica igual a 1126 ( $\mu$ S/cm).