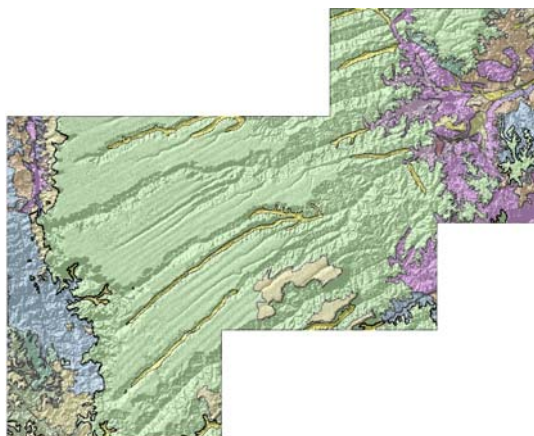




## Rede Cooperativa de Pesquisa

# COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO



## *“HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO URUCUIA: BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS ARROJADO E FORMOSO”*

### Meta B

## Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos - Revisão Geológica e Levantamento Geofísico -

Outubro / 2007

Ministério de  
Minas e Energia

Ministério da  
Ciência e Tecnologia



Rede Cooperativa de Pesquisa

**COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO  
SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

***“HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO  
URUCUIA: BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS  
ARROJADO E FORMOSO”***

**Meta B**

**Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos  
- Revisão Geológica e Levantamento Geofísico -**

Execução:

**Serviço Geológico do Brasil - CPRM**

**Universidade Federal da Bahia - UFBA**

Outubro / 2007

## REDE COOPERATIVA DE PESQUISA

### **“COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO”**

#### **Coordenação:**

Período 2004/2005 – Dr. *Waldir Duarte Costa*

Período 2006/2007 – MSc. *Fernando A. C. Feitosa*

#### **Instituições Participantes:**

##### **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**

Coordenação: MSc. *Fernando A. C. Feitosa*

MSc. *Jaime Quintas dos Santos Colares*

##### **Universidade Federal da Bahia – UFBA**

Coordenadora: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz

##### **Universidade Federal de Campina Grande – UFCG**

Coordenador: Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

##### **Universidade Federal do Ceará – UFC**

Coordenadora: Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago

##### **Universidade Federal de Pernambuco– UFPE**

Coordenador: Dr. José Geilson Alves Demetrio

##### **Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN**

Coordenador: Dr. José Geraldo de Melo

---

#### **Bacia Sedimentar do Urucuia**

##### ***“Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso”***

##### **Meta A – Relatório Diagnóstico do Estado da Arte**

Autores:

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

##### **Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos**

##### **Ítem1 – Revisão Geológica**

Autor: Dr. Ricardo Cunha Lopes – CPRM

##### **Ítem2 – Levantamento Geofísico por Gravimetria**

Autor: Dr. Olivar Lima - UFBA

## **Meta C – Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos**

### **Item 1**

Autores:

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira – CPRM

### **Item 2**

Autores:

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

### **Item 3**

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

### **Itens 4, 5, 6, 7**

Autores:

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

### **Item 8**

Autor: Dr. João Manoel Filho - Consultor

## **Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade**

### **Item 1 – Estudos Hidroquímicos e Isotópicos**

Autores:

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

### **Item 2 – Estudos de Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação**

Autores:

MSc. José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc. Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

## **Meta E – Suporte ao Planejamento e a Gestão das Águas Subterrâneas**

Autor: Dr. João Manoel Filho - Consultor

## **Meta F – Estruturação e Alimentação da Base de Dados em SIG**

Coordenação: Francisco Edson Mendonça Gomes – CPRM

Equipe:

Eriveldo da Silva Mendonça

Érika Gomes de Brito

Antônio Celso Rodrigues de Melo

Vicente Calixto Duarte Neto

---

---

## SUMÁRIO DA META B

### CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMÉTRICA DOS AQUÍFEROS

<b>META B 1 – REVISÃO GEOLÓGICA</b>	01
<b>1. Estudos Geológicos – Litologia, Estratigrafia e Estrutural</b>	01
1.1 - Métodos empregados	02
1.2 - Descrição das unidades geológicas	03
<b>META B 2 - LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS</b>	41
<b>1. Geologia de subsuperfície</b>	41
1.1 - Dados Geológicos de Poços	41
1.2 - Dados Geofísicos de Poços	42
<b>2. Caracterização Geométrica</b>	51
2.1 - Processamento e Interpretação dos Dados	53
2.2 - Resultados Geométricos	54
<b>3. Caracterização gravimétrica</b>	59
3.1 - Metodologia de Trabalho	61
3.2 - Processamento e Redução dos Dados	61
3.2 - Resultados Gravimétricos	64
<b>4. Conclusões</b>	68
<b>Bibliografia</b>	69
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
01 - Distribuição dos caminhamentos e afloramentos na área do projeto	01
02 - Geologia simplificada da borda oeste da Bacia Urucuia, região de São João na divisa entre os estados de Goiás e Bahia	04
03 - Geologia simplificada da borda leste da Bacia Urucuia, na região de Correntina - Bahia	05
04 - Cintilometria em arenitos das formações Posse (A) e Serra das Araras (B)	28
05 - Diagrama de frequência para as fraturas medidas no Grupo Urucuia	29
06 - Arenito maciço fino a médio com matriz argilosa, possuindo um cimento ferruginoso, com seixos angulosos a subangulosos dispersos.	30
07 - Desenvolvimento de trechos do rio Arrojado, condicionados por estruturas tectônicas NE; NW e E-W, bem como os afluentes provindos da chapada mostram controle NW. Comparar com o diagrama de fraturas	30
08 - Desenvolvimento de trechos do rio Arrojado, condicionados por estruturas tectônicas NE; NW e E-W. Comparar com o diagrama de fraturas	33
09 - Depósitos arenosos inconsolidados formados por retração da cuesta da Serra Geral de Goiás e morros-testemunho de arenitos da Fm. Posse na região da Lagoa do Pratudão.	33
10 - Depósitos arenosos inconsolidados formados por retração de cuesta no vale do Rio Pratudão sobre o chapadão, 12 km a nordeste da Lagoa do Pratudão	37
11 - Padrão de drenagem paralelo dos rios principais sobre a chapada Urucuia (geologia sobre MDT), marcando o caimento da superfície do planalto para nordeste	38

12 - Seção geológica entre Mambai e Serra do Tombador, a sudeste de Damianópolis. O mergulho da superfície erosiva entre as formações Posse e Serra das Araras é estimado. O exagero vertical é de 20 vezes	39
13 - Seção geológica entre na cuesta da Serra Geral de Goiás ao sul de Rosário, flanco sudeste do vale do rio Arrojado. O mergulho da superfície erosiva entre as formações Posse e Serra das Araras foi obtido pelas cotas dos contatos nos afloramentos RL-20 e RL-22. O exagero vertical é de 20 vezes	39
14 - Alinhamento estrutural marcado pelo desvio dos cursos dos rios Itaguari (1), Formoso (2), Pratudão (3), Arrojado (4) e Corrente (5), e pelo curso alongado de afluentes destes rios quando comparados com os demais tributários (6a, b)	39
15 – Perfis geofísicos corridos no poço MO-02 que abastece a sede municipal de Luiz Eduardo Magalhães	42
16 – Perfis geofísicos corridos no poço PE-01 que abastece a vila de Perdizes, município de São Desidério.	43
17 – Parâmetros petrofísicos dos arenitos do Grupo Urucuia estimado dos perfis geofísicos do poço MO-02	47
18 – Parâmetros petrofísicos dos arenitos do Grupo Urucuia estimado dos perfis geofísicos do poço PE-01	48
19 – Mapa da função resistividade aparente observada com espaçamento AB/2 de 100m. As linhas pretas identificam alguns dos lineamentos estruturais	52
20 – Dados observados nos três ramos da curva da sondagem elétrica SEU-15.	53
21 – Dados corrigidos por suavização numérica da sondagem elétrica SEU-15.	54
22 – Exemplos de curvas de SEVs típicas da área e modelos interpretados.	55
23 – Exemplos de curvas de SEVs típicas da área e modelos finais interpretados	55
24 – Seção geológica transversal A – A' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas	56
25 – Seção geológica transversal B – B' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas	57
26 – Seção geológica transversal C – C' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas	57
27 – Seção geológica transversal D – D' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas	57
28 – Seção geológica transversal E – E' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas	58
29 – Mapa de contorno da profundidade do substrato condutor na área das sub-bacias estudadas. As linhas pretas indicam alguns dos lineamentos.	59
30 – Mapa mostrando a distribuição das estações gravimétricas e geodésicas levantadas na área do projeto.	60
31 – Mapa de isovalores da gravidade absoluta na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso	65
32 – Mapa das anomalias gravimétricas Bouguer na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso.	66
33 – Mapa das anomalias gravimétricas residuais gaussianas, na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso	67
34 – Mapa das anomalias gravimétricas residuais (segunda derivada de $\Delta g$ ), na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso.	67

## **META B – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMÉTRICA DOS AQUÍFEROS**

### **META B 1 – REVISÃO GEOLÓGICA**

#### **1. Estudos Geológicos – Litologia, Estratigrafia e Estrutural**

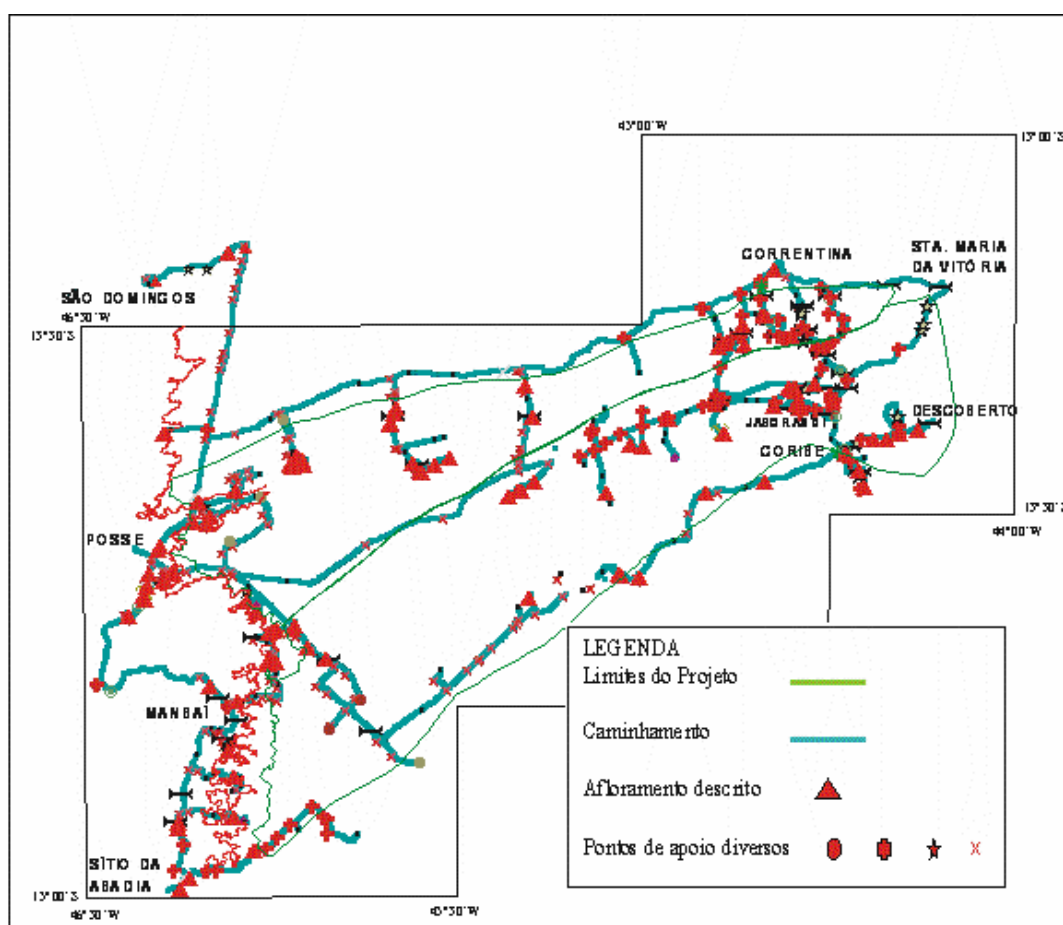
Autor: Ricardo da Cunha Lopes

Os estudos geológicos foram feitos em duas etapas de campo realizadas nos meses de agosto e novembro de 2005 totalizando 34 dias, sendo 5 dias gastos em deslocamento e 4,5 em atividade de revisão dos dados coletados para orientar novos caminhamentos, que resultaram em 24,5 dias efetivos de coleta de dados.

Foram descritos 94 afloramentos, coletadas 53 amostras de rocha e tomadas 50 medidas de radioatividade natural. Os deslocamentos totalizaram 2.472 km e os caminhamentos geológicos 1.418 km. A figura 1 apresentada a seguir mostra a localização da área mapeada em escala 1:250.000, bem como a distribuição dos pontos de afloramentos e caminhamentos realizados.

Os trabalhos de campo concentraram-se na região da *cuesta* da Serra Geral de Goiás e nas bacias dos rios Arrojado e Formoso, até as cercanias das cidades de Correntina, Santa Maria da Vitória e Coribe (BA). A principal unidade aflorante é o Grupo Urucuia e seu embasamento constituído por ortognaisses de idade arqueana a paleoproterozóica do Complexo Gnáissico-Migmatítico Correntina; granitos de idade paleoproterozóica da Suíte Intrusiva Correntina; metassedimentos do Grupo Bambuí e rochas sedimentares glaciais de idade paleozóica da Formação Santa Fé.

Na área o Grupo Urucuia está representado pelas suas duas formações: Posse (basal) e Serra das Araras (superior). A seção apresentada por Spigolon & Alvarenga (2002) ao longo de um afloramento na rodovia GO-362 foi visitada (Estação RL-34) e tomada como referência para os trabalhos.



**Figura 1 - Distribuição dos caminhamentos e afloramentos na área do projeto.**

### 1.1 - Métodos empregados

A fase inicial constou de trabalho em escritório com a compilação de informações de mapas geológicos e projetos de pesquisa mineral e acadêmica executados na área, seguida de uma etapa de fotointerpretação na borda oeste da bacia, utilizando-se de fotos na escala de 1:60.000 (USAF – 1967), com a finalidade de identificar diferenças morfológicas que indicassem o contato entre as formações Posse e Serra das Araras.

O levantamento de informações sobre a geologia das bacias dos rios Arrojado e Formoso constou da compilação de mapas geológicos existentes, principalmente do Mapa Geológico do Estado da Bahia (Souza *et al.* 2002 ) e da Folha Brasília SD.23 (Souza *et al.*, 2004) e publicações em periódicos e congressos (Faria *et al.*, 1986; Kiang *et al.*, 1992; Campos & Dardenne, 1993; Campos & Dardenne, 1997a; Campos &



Dardenne, 1997b; Campos & Dardenne, 1999; Sgarbi *et al.*, 2001; Spigolon & Alvarenga, 2002 e Bonfim & Gomes, 2004).

Os trabalhos de campo envolveram a descrição de afloramentos ao longo de estradas da região, em áreas de cerrado, em áreas de cultivo e ao longo dos vales dos rios Arrojado e Formoso e seus afluentes, além de caminhamentos na encosta da Serra Geral de Goiás, para verificação do contato entre as formações Posse e Serra das Araras ao longo da *cuesta* que separa os estados da Bahia e de Goiás.

Os afloramentos foram descritos quanto aos litótipos presentes, anotando-se informações sobre granulação, cor, composição, esfericidade e arredondamento dos grãos, geometria das camadas e estruturas sedimentares. Quando possível foram tomadas medidas de paleocorrentes e atitude das camadas, bem como de fraturas e falhas. Os afloramentos foram registrados através de fotografia digital, com vista geral e, quando julgado necessário, com detalhe de feições consideradas significativas ou características para a unidade. Os afloramentos e pontos de apoio ou intermediários tiveram suas posições e cotas obtidas por GPS Garmin, modelo 12Map, utilizando-se coordenadas UTM e como Datum o sistema WGS 84.

As informações obtidas foram diariamente transferidas para o programa ArcView, fornecendo uma imediata visão de conjunto da área coberta e a distribuição dos afloramentos encontrados, posicionados sobre as bases cartográficas digitais e imagem de satélite TM Landsat.

Após cada etapa de campo as informações foram tratadas no escritório, revisando-se a fotointerpretação frente aos dados de campo e imagem Landsat. O procedimento final foi a implantação no mapa digital do traçado do contato entre as formações Posse e Serra das Araras e os ajustes, onde necessário, do contato entre o Grupo Urucua e seu embasamento.

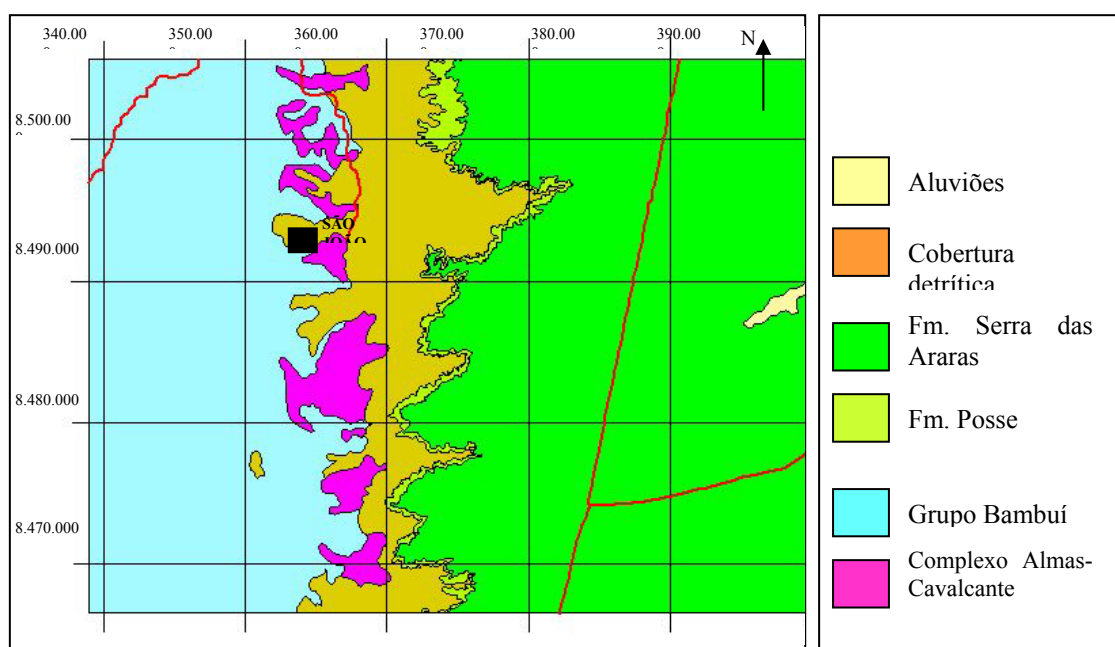
## **1.2 - Descrição das unidades geológicas**

### **- O Embasamento da Bacia Urucua**

As rochas sedimentares do Grupo Urucua assentam em discordância sobre rochas gnáissicas e graníticas de idade arqueana a paleoproterozóica, sobre as rochas metassedimentares neoproterozóicas do Grupo Bambuí e, de forma localizada na região

entre Posse e Rodovilândia (GO), sobre rochas sedimentares de idade paleozóica (Carbonífero – Permiano) pertencentes à Formação Santa Fé.

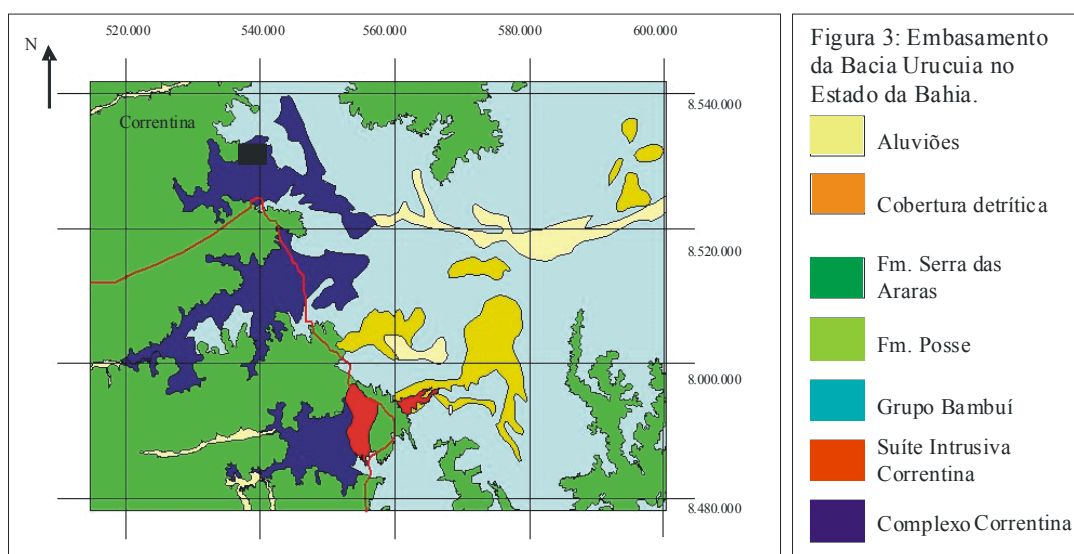
Na região a oeste da *cuesta* da Serra Geral de Goiás o embasamento de idade paleoproterozóica da Bacia Urucuia (Figura 2) é composto por rochas do Complexo Almas-Cavalcante (Sideriano-Rhiaciano – TDM 2.400 – 2.200, U-Pb cf. Souza *et al.*, 2004). Segundo estes autores ocorrem, na faixa de afloramento entre as cidades de Guarani de Goiás e Posse, ortognaisses com variações de composição mineralógica que permitem classificá-los como tonalíticos, trondjemíticos, granodioríticos ou monzograníticos.



**Figura 2 - Geologia simplificada da borda oeste da Bacia Urucuia, região de São João na divisa entre os estados de Goiás e Bahia**

Na porção leste da área estudada, já no Estado da Bahia, o embasamento de idade arqueana a paleoproterozóica é constituído pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico Correntina e pela Suíte Intrusiva Correntina (Figura 3).

O Complexo Gnáissico-Migmatítico Correntina (Mesoarqueano a Rhyaciano cf. Souza *et al.*, 2004) é composto por ortognaisses migmatíticos contendo enclaves máficos e ultramáficos. Aflora na região compreendida entre as cidades de Correntina, ao norte da área, e Jaborandi ao sul, estendendo-se pelos vales do rio Arrojado até as cercanias das vilas de Praia e Jatobá, e no vale do rio Formoso até as localidades de Arrodeador e Gatos.



**Figura 3 - Geologia simplificada da borda leste da Bacia Urucua, na região de Correntina - Bahia.**

Conforme Moraes Filho (1997) descreve para a região entre as cidades de Coribe e Jaborandi, são encontrados: a) hornblenda-gnaisses de cor cinza esverdeado, bandados, granulação grossa e compostos por feldspato, quartzo, hornblenda e biotita. Apresentam bandas de anfíbolito e são recortados por veios quartzo-feldspáticos grosseiros e de rocha granitóide, esta truncando o bandeamento gnáissico e, localmente, englobando xenólitos biotita-anfíbolito e dos veios de rocha granitóide como biotita granito e tonalito; b) gnaisses miloníticos de coloração cinza esverdeada a rósea, granulação fina a média, raramente grosseira e com biotita evidenciando a foliação milonítica; c) migmatitos heterogêneos de coloração cinza róseo a creme com estrutura estromática e dobras pitgmáticas, neossoma constituído por quartzo e feldspato de granulação grosseira e paleossoma de granulação fina a média composto por quartzo, feldspato, biotita e raramente anfíbólio. Conforme este autor a paragênese destas rochas é indicativa de metamorfismo regional da fácies anfíbolito. Bonfim (1984) refere-se a estes litótipos como gnaisses e migmatitos de composição granodiorítica, bandados e rochas granítico-gnáissicas também de composição granodiorítica e estrutura bandada.

Afloramentos desta unidade encontrados durante este trabalho ao longo dos vales e encostas dos rios Formoso, Arrojado e seus afluentes exemplificam os litótipos acima mencionados.

A Suíte Intrusiva Correntina inclui as rochas granitóides de composição ácida a intermediária com idade paleoproterozóica (Rhiaciano – Orosiriano, 2.250 Ma. cf. Souza *et al.*, 2004) que intrudiram o Complexo Gnáissico-Migmatítico Correntina durante o Ciclo Transamazônico. Ocorre na região de Jaborandi e suas melhores exposições são encontradas em encostas de morros e lajeados.

Os dados litoquímicos disponíveis indicam uma classificação como granitos Tipo I na classificação de Chappel & White (1976). Posicionam-se essencialmente no campo de ambiente sin a pós-colisionais, com raras amostras caindo no campo relativo aos estágios finais de orogenia quando os dados são plotados no diagrama de variação multicatiônica de La Roche *et al.* (1980).



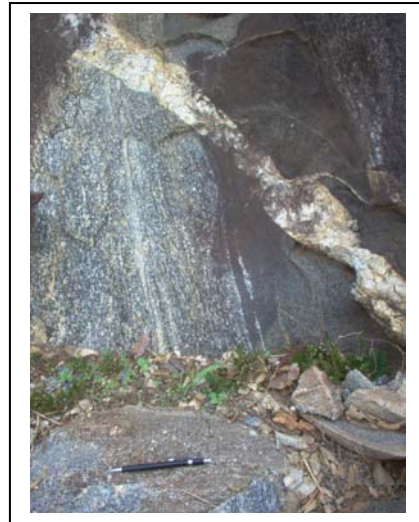
**Foto 1 - Afloramento de gnaiss na encosta sul do vale do Rio Arrojado, ao norte de Planalto.**

**Foto 2 - Lajeado de gnaiss na encosta sul do vale do Rio Arrojado, ao norte de Planalto.**

O Grupo Bambuí compõe o embasamento de idade neoproterozóica (Criogeniano cf. Souza *et al.*, 2004) da Bacia Urucua nas atuais bordas leste e oeste da bacia (Figuras. 2 e 3), estando constituído por rochas sedimentares marinhas carbonáticas e siliciclásticas com incipiente ou nenhum metamorfismo. Afloram na área deste projeto as seguintes unidades do Grupo Bambuí: formações Jequitaí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, Subgrupo Paraobeba e Formação Três Marias. Com exceção da Formação Jequitaí, todas as demais contatam, mesmo que de forma localizada, por discordância com o Grupo Urucua.



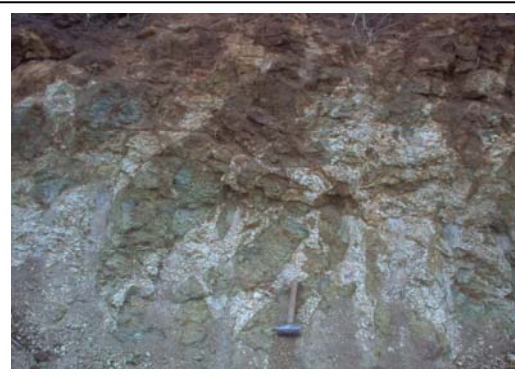
**Foto 3 - Detalhe do bandamento em gnaiss granodiorítico. Encosta sul do vale do Rio Arrojado, ao norte de Planalto.**



**Foto 4 - Detalhe de gnaiss granodiorítico com banda de metamáfica. Encosta sul do vale do Rio Arrojado, ao norte de Planalto.**



**Foto 5 - Corte de estrada na região de Gatos com anfibolito injetado por veio de granito.**



**Foto 6 - Detalhe de anfibolito injetado por rocha granítica aflorando em corte de estrada na região de Gatos.**

O registro sedimentar da Fm. Jequitaí está restrito à calha do riacho São José a sudeste da cidade de Jaborandi, compreendendo diamictitos maciços com clastos de granitos, gnaisses, milonitos e quartzo, angulosos e facetados imersos em matriz siltica de cores arroxeadas a esverdeadas, e sua espessura está em torno de 2m conforme descreve Moraes Filho (1997).

A Fm. Sete Lagoas (740 Ma. U-Pb, Criogeniano cf. Souza *et al.*, 2004) é descrita por Moraes Filho (1997) na região de Coribe (BA) como composta por três Associações de Fácies e sua espessura média é de 160m. A associação de fácies basal é

denominada pelo autor de Pelítica/Carbonática, constituída na base por ritmitos de siltito e argilitos seguindo-se calcissiltitos, calcarenitos calcilutitos, laminitos algálicos e dolomitos com intercalação de silexitos e pelitos no topo. As cores variam de cinza, arroxeadas a avermelhadas na base, passando a cinza escuro e cinza claro a esverdeado ou arroxeadado nas porções medianas e superiores. O ambiente de deposição interpretado pelo autor para os ritmitos basais foi transicional lagunar e de planície de marés (intermaré a submaré) localmente com exposição subaérea ou ação de ondas de tempestades para o restante do intervalo.

A Formação Serra de Santa Helena é composta predominantemente por folhelhos e argilitos com intercalações de siltitos, calcarenitos e margas. Tanto o contato inferior com a Fm. Sete Lagoas quanto o superior com a Fm. Lagoa do Jacaré são descritos como transicionais e sua espessura média é de 40m. Os folhelhos são de cor cinza esverdeado a creme, com laminação planoparalela e físeis, enquanto os argilitos apresentam-se com cor de alteração vermelha a arroxeadada e laminação planoparalela. No topo da unidade são mais freqüentes as intercalações de siltitos e calcarenitos com estruturas wavy e linsen e camadas de calcarenitos com marcas onduladas e laminação cruzada. O ambiente sedimentar interpretado por Moraes Filho (1997) é marinho abaixo do nível de ação das ondas, representando o afogamento da área. No topo da unidade as camadas de siltito e calcarenito indicam o início do raseamento com implantação de depósitos de submaré com ação de ondas.

A Formação Lagoa do Jacaré está constituída por calcários, calcarenitos, margas e siltitos, apresentando uma espessura média de 120m. Moraes Filho (1997) individualizou duas Associações de Fácies nesta unidade na região de Coribe (BA), denominando-as de Pelítica-Carbonática e Carbonática com Pelitos Subordinados. A primeira é composta na base por calcarenitos pretos, finos a médios, seguindo-se folhelhos cinza esverdeados e creme com laminação planoparalela e intercalações de camadas de siltitos e margas. Calcarenitos pretos com lâminas, lentes e intraclastos de calcissiltitos argilosos ocorrem na seção mediana intercalando ainda camadas de calcarenito oncolítico com estratificação cruzada ou estratificação cruzada hummocky. No topo desta associação predominam folhelhos cinza esverdeados com intercalações de camadas de calcarenitos, calcissiltitos e calcilutitos. A associação de fácies de topo é composta na base por camadas de calcarenito em camadas lenticulares amalgamadas, localmente separadas por finas lâminas de argilito, na porção mediana intercalam-se

camadas de calcarenitos intraclásticos/oncolíticos com estratificação cruzada hummocky com camadas de folhelhos esverdeados e, na seção de topo predominam folhelhos esverdeados laminados, calcissiltitos e calcarenitos finos. O ambiente de sedimentação interpretado por Moraes Filho (1997) é de submaré com períodos influenciados por tempestades.



**Foto 7 - Vista geral da área de afloramento da Fm. Lagoa do Jacaré na região de Bela Vista (GO).**

**Foto 8 - Vista de encosta sustentada por camadas de calcários e folhelhos da Fm. Lagoa do Jacaré na região de Bela Vista (GO).**

A Formação Serra da Saudade ocorre de forma localizada no nordeste da área estudada, ao norte/nordeste de Correntina. É constituída predominantemente por siltitos e argilitos de cor verde, arenitos e calcários, constituindo a unidade mais nova do Grupo Bambuí aflorante neste setor da bacia.

Na região noroeste do projeto, em território do Estado de Goiás, aflora ainda pelo Grupo Bambuí um conjunto de rochas carbonáticas, abaixo da Fm. Sete Lagoas, que foram cartografadas como Subgrupo Paraopeba indiferenciado por Souza *et al.* (2004).

Rochas de idade paleozóica (Carbonífero-Permiano), pertencentes ao Grupo Santa Fé, são encontradas em ocorrências isoladas sobre o Grupo Bambuí ao norte de Posse e às margens da BR-020 ao sul desta cidade (RL-9), aonde afloram camadas de siltitos e argilitos de cor creme e bordô em camadas tabulares com laminação planoparalela e cruzada cavalgante. Na base do afloramento ocorrem blocos de calcário não tendo sido possível verificar se são blocos imersos nos pelitos ou paleorelevo aflorante devido à proximidade do contato com o Grupo Bambuí.



**Foto 9 - Vista geral de afloramento da Fm. Sete Lagoas na região entre Coribe e Descoberto (BA).**



**Foto 10 - Afloramento (RL-85) de calcarenitos da Fm. Sete Lagoas na região de Descoberto (BA).**

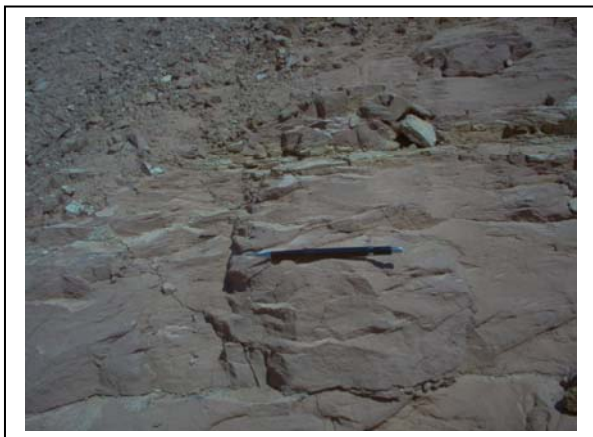


**Foto 11 - Afloramento de camada de calcarenito preto (Fm. Sete Lagoas) com desenvolvimento de alteração e solo avermelhado, proximidades do contato com a Fm. Serra das Araras (RL-88), sudeste de Coribe (BA).**



**Foto 12 - Detalhe de camada de calcarenito preto com laminação planoparalela e marcas onduladas (RL-85). Fm. Sete Lagoas, região de Descoberto (BA).**





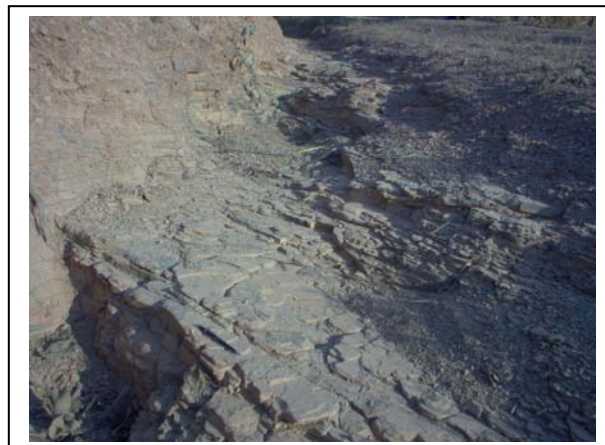
**Foto 13 - Arenitos finos com laminação cruzada cavalgante da Fm. Três Marias aflorantes a leste de Formoso (RL-57).**



**Foto 14 - Afloramento de camadas de siltitos e argilitos com intercalação de lâminas e lentes de arenito fino da Fm. Três Marias, RL-59 ao sul de Formoso**



**Foto 15 - Afloramento de arenito com estratificação cruzada acanalada da Fm. Três Marias, RL-60a, ao sul de Sítio da Abadia.**



**Foto 16 - Afloramento de siltitos e folhelhos da Fm. Três Marias, RL-60b, ao sul de Sítio da Abadia.**

## **Grupo Urucuia**

Na área o Grupo Urucuia está representado pelas suas duas formações: Posse (basal) e Serra das Araras (superior). Como referência para os trabalhos foi tomada a seção apresentada por Spigolon & Alvarenga (2002) na rodovia GO-362, correspondendo ao afloramento RL-34 no perfil São Domingos – BR-020.

*Formação Posse:* a unidade basal do Grupo Urucuia é constituída na área essencialmente por arenitos róseo a avermelhados, finos a médios, quartzosos (quartzoarenitos), com grãos subarredondados a arredondados com boa esfericidade e bem selecionados. Lâminas bimodais e estratificação cruzada de grande a muito grande

porte (variando entre 1 e 5 m). Normalmente friáveis e localmente silicificados junto ao contato com a Fm. Serra das Araras. Afloram ao longo da rodovia BR-020 e na cuesta da Serra Geral de Goiás, estendendo-se seus afloramentos no máximo 23 km para nordeste ao longo do vale do rio Arrojado, a partir do eixo da BR-020.

Não foram encontrados afloramentos desta unidade nos vales dos rios Arrojado, Formoso e seus tributários sobre o chapadão ou na região leste da chapada, ao longo da *cuesta* entre as cidades de Correntina, Jaborandi e Coribe.

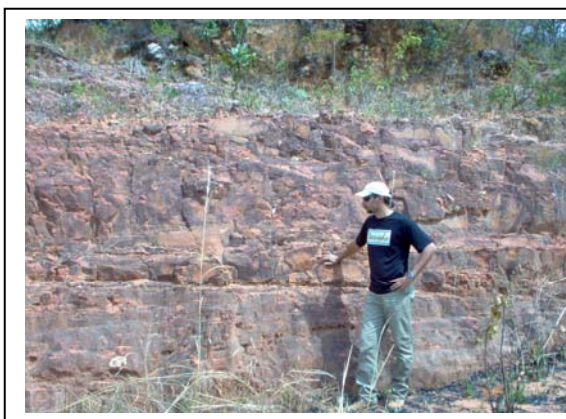


Foto 17 - Arenito com estratificação cruzada de grande porte da Fm. Posse na BR-020 (RL-01).

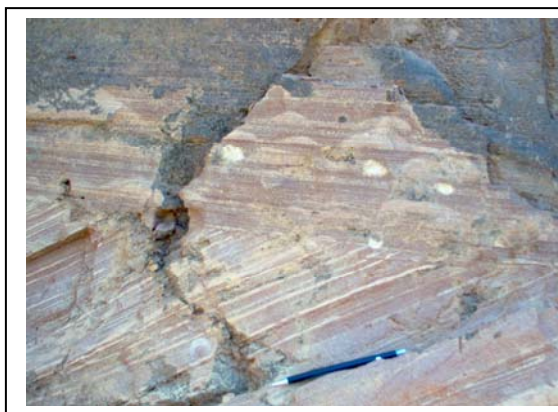


Foto 18 - Detalhe das lâminas bimodais dos *foresets* e truncamento de camadas de arenito da Fm. Posse na BR-020 (RL-01).

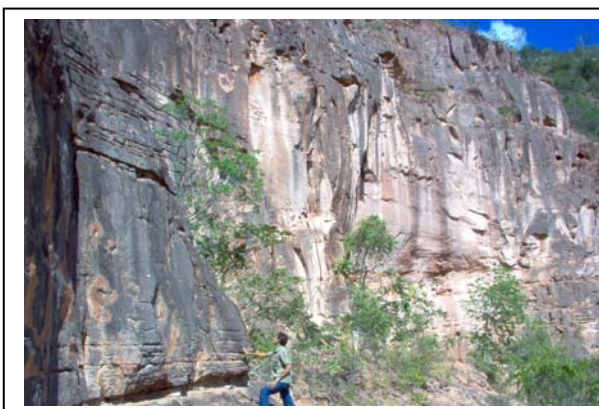


Foto 19 - Arenito com estratificação cruzada de grande porte da Fm. Posse na base da Serra do Tombador (RL-31a).

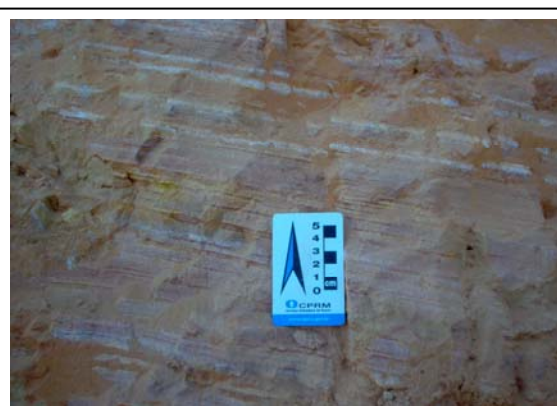


Foto 20 - Detalhe da laminação dos *foresets* da estratificação cruzada de grande porte de arenitos da Fm. Posse na cuesta da Serra Geral de Goiás (RL-20).

A espessura estimada para esta unidade, com base nos dados levantados na rodovia GO-362 entre a cidade de São Domingos e a BR-020 é de 93 m (cota 682 m no último afloramento de rochas metamórficas e cota 775 m do contato com entre as

formações Posse e Serra das Araras). Na BR-020, região de Posse, a espessura desta unidade é estimada em 121 m, avaliada a partir do afloramento do Grupo Bambuí na cota 799 m (RL-09) e o contato entre as formações Posse e Serra das Araras na *cuesta* da Serra Geral de Goiás na cota aproximada de 920 m (RL-52). Na encosta entre do ribeirão Palmeiras e córrego Cachoeira (RL-61) a espessura é estimada em 118 m entre o topo da Fm. Posse (cota 943 m) e a base da *cuesta* aonde afloram rochas do embasamento (800 m).



Foto 21 - Detalhe da laminação dos *foresets* da estratificação cruzada de grande porte de arenitos da Fm. Posse próximo à cidade de Mambaí (RL-23).



Foto 22 - Estratificação cruzada de grande porte em arenito da Fm. Posse na *cuesta* da Serra Geral de Goiás (RL-49).



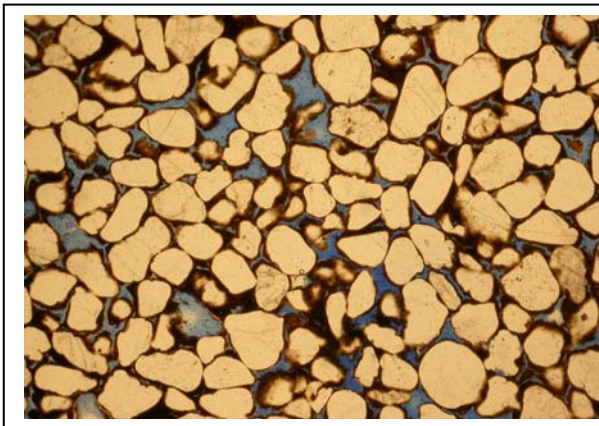
Foto 23 - Estratificação cruzada de grande porte em arenitos da Fm. Posse na rodovia GO-362 entre São Domingos e a BR-020 (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).



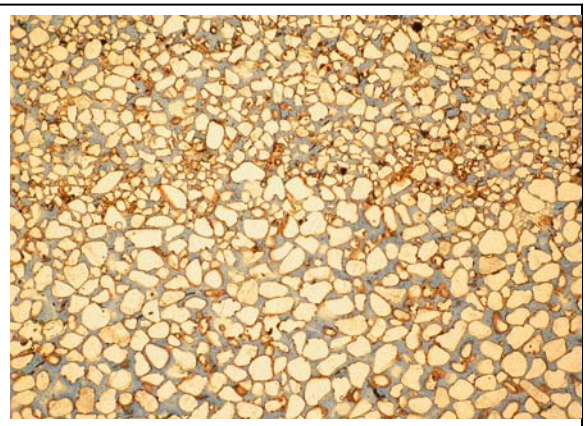
Foto 24 - Detalhe da laminação dos *foresets* de arenitos da Fm. Posse na rodovia GO-362 entre São Domingos e a BR-020 (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).

Duas amostras foram laminadas (RL-R-19 e RL-R-23) e apresentaram arenitos com granulação fina a média (0,24 a 0,42 mm), muito bem selecionados (lâminas bimodais na amostra RL-R-23), grãos subangulares a arredondados com esfericidade

média a alta, contatos entre os grãos pontuais e tangenciais, empacotamento aberto (índice de empacotamento  $P_p < 40$ ). Arcabouço composto predominantemente por quartzo límpido, dominando grãos monocristalinos (53 – 57%) sobre os policristalinos (2 – 3%), extinção reta a ondulante, ocorrendo subordinadamente (traços) quartzo de origem vulcânica, levemente turvos e com formas radiadas/esferulíticas, e quartzo metamórfico. Os grãos de feldspatos são raros (traços) ocorrendo normalmente alterados por argilização e caulinização, alguns grãos estão corroídos ou encontram-se completamente alterados. Raros são os registros de fragmentos líticos (rocha sedimentar), chert, apatita e zircão. A matriz quando presente é pseudomatriz formada a partir da alteração e fragmentação dos grãos de feldspato. Como cimento ocorre *overgrowth* de quartzo, óxido de ferro e caulinita intergranular. A porosidade é intergranular (12 - 18%) e móldica (2 – 3%), raramente intragranular (traços). Classificam-se como quartzarenitos segundo Folk (1974).



**Foto 25 - Quartzarenito da Fm Posse (RL19, 4x LN + zoom), aspecto geral dos grãos de quartzo, do cimento de hidróxido de ferro e da porosidade intergranular.**



**Foto 26 - Quartzarenito da Fm Posse (RL23, 4x LN), aspecto da bimodalidade dos grãos de quartzo, cimento de óxido/hidróxido de ferro e da porosidade intergranular.**

O contato entre as formações Posse e Serra das Araras é abrupto e se dá através de uma superfície erosiva, considerada por Spigolon & Alvarenga (2002) como uma megassuperfície dentro do sistema desértico eólico. No afloramento da GO-362 esta superfície tem um mergulho aparente de 2° para nordeste.

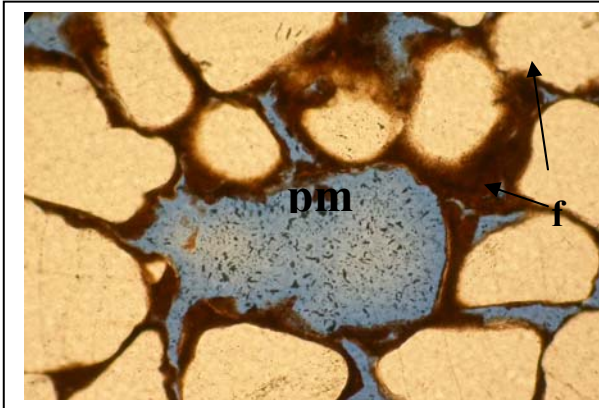


Foto 27 - Porosidade móldica (pm) por dissolução de grão de feldspato, marcada pela película de óxido/hidróxido de ferro (f), quartzarenito da Fm. Posse (RL19, 20x LN).

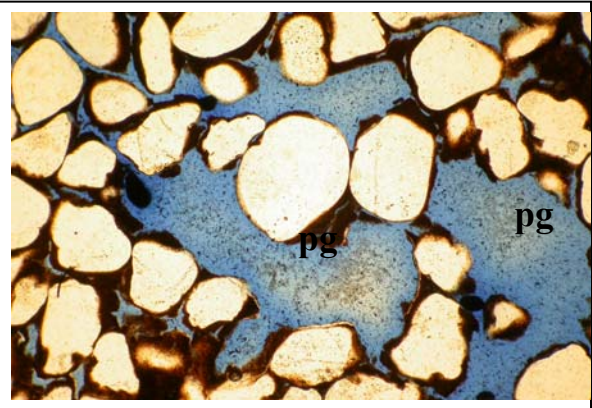


Foto 8 - Poros agiantados (pg) resultantes da coalescência de poros gerados por dissolução de grãos de feldspato, quartzarenito da Fm. Posse (RL19, 10x LN).

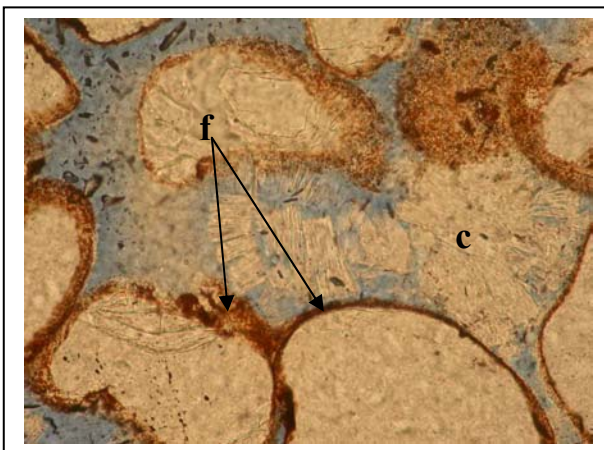


Foto 29 - Caulinita (c) preenchendo parcialmente poro em quartzarenito da Fm. Posse, contribuindo para reduzir a porosidade intragranular, posterior ao cimento de óxido/hidróxido de ferro (f) (RL23, 40x LN).

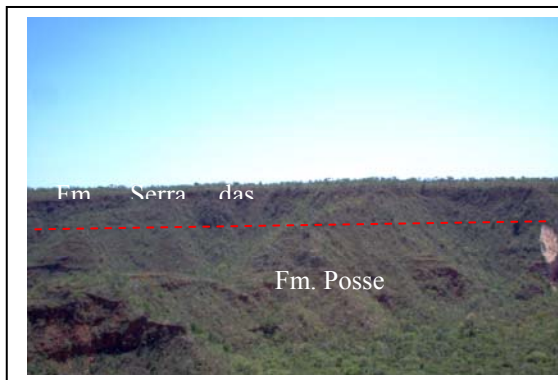
As diferentes cotas em que este contato foi observado ao longo da cuesta da Serra Geral de Goiás: no norte da área 775m na GO-362 (RL-34); no centro da *cuesta* 940 m na BR-020 (RL-01) e 943 m no interflúvio do ribeirão Palmeiras e córrego Cachoeira (RL-61); 945 m a leste da BR-020 (RL-20), 930 m no flanco sul do vale do rio Arrojado (RL-23) e no sul da área, próximo a Mambaí (RL-31b), 762 m na *cuesta* da Serra do Tombador, sugerem um controle estrutural da atual área de afloramento destas unidades.



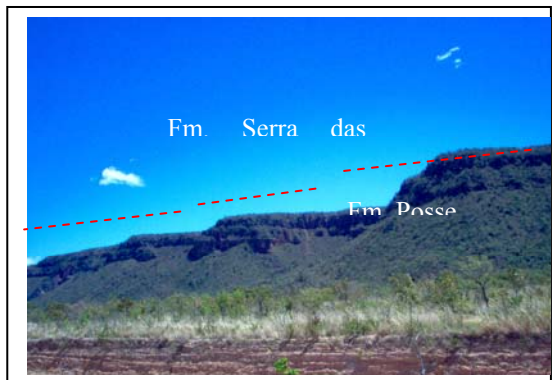
**Foto 30 - Contato entre as formações Posse (arenitos róseos) e Serra das Araras (arenitos amarelados) na rodovia GO-362 entre São Domingos e a BR-020 (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).**



**Foto 31 - Contato entre as formações Posse (arenitos vermelhos) e Serra das Araras (arenitos brancos) na cuesta da Serra do Tombador (RL-31) a sudeste da cidade de Damianópolis.**



**Foto 32 - Cuesta da Serra Geral de Goiás: em primeiro plano arenitos vermelhos da Fm. Posse e, ao fundo, ressalto horizontal e desbarrancamento junto ao contato com a Fm. Serra das Araras (RL-52) na cota aproximada de 920 m.**



**Foto 33 - Cuesta da Serra Geral de Goiás na rodovia GO-362: contato entre as formações Posse e Serra das Araras na cota 775 m, demarcado pelo declive mais acentuado do relevo sustentado pelos arenitos da Fm. Serra das Araras.**

*Formação Serra das Araras:* unidade de topo do Grupo Urucuia está constituída predominantemente por arenitos esbranquiçados a amarelados, quartzosos (quartzoarenitos e subarcóseos), finos a médios, com grãos grossos dispersos, eventualmente conglomeráticos na base, grãos subangulares a subarredondados, esfericidade moderada a baixa, mal selecionados, normalmente com intensa cimentação por sílica, principalmente quando em posição de topo do chapadão. As camadas são lenticulares alongadas com espessuras entre 10 a 40 cm em média, maciços ou com estratificação cruzada tangencial, separadas por superfícies de reativação horizontais ou com baixa inclinação.

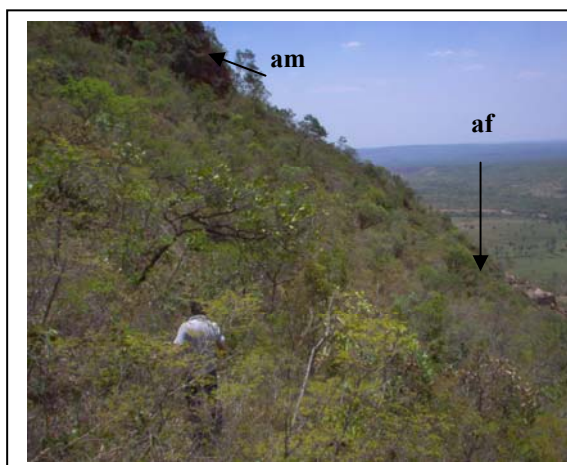


Foto 34 - Cuesta da Serra Geral de Goiás a oeste da rodovia BR-020 (RL-61): contato entre as formações Posse e Serra das Araras na cota 943 m. Arenitos finos com estratificação cruzada de grande porte da Fm. Posse no canto inferior direito (af) e arenitos médios a grossos com estratificação cruzada acanalada de médio (am) porte da Fm. Serra das Araras no topo a esquerda.



Foto 35 - Cuesta da Serra Geral de Goiás a oeste da rodovia BR-020 (RL-61): detalhe do afloramento de quartzarenito fino, bem selecionado, com estratificação cruzada de grande porte da Fm. Posse na cota 935 m, assinalado como af na foto 34.



Foto 36 - Detalhe do contato entre as formações Posse (arenitos vermelhos) e Serra das Araras (arenito amarelado no topo) na BR-020 (RL-01, cota 940 m), próximo ao topo do chapadão junto à localidade de Rosário. Observar a pouca espessura da Fm. Serra das Araras em comparação com as duas fotos anteriores.



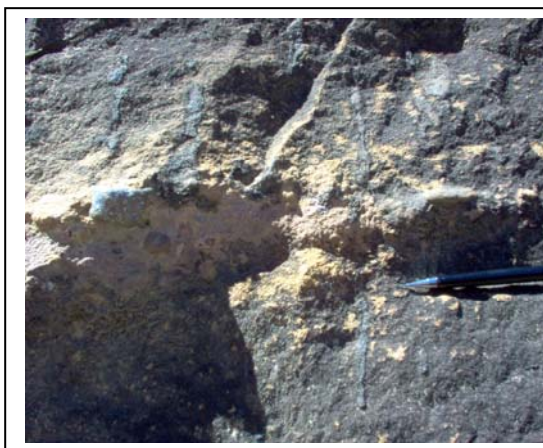
Foto 37 - Contato entre as formações Posse (arenitos vermelhos) e Serra das Araras (arenito silicificados no topo) na BR-020 (RL-22, cota 930 m), no topo do chapadão antes vale do rio Arrojado. Observar a pouca espessura da Fm. Serra das Araras em comparação com as duas fotos anteriores.



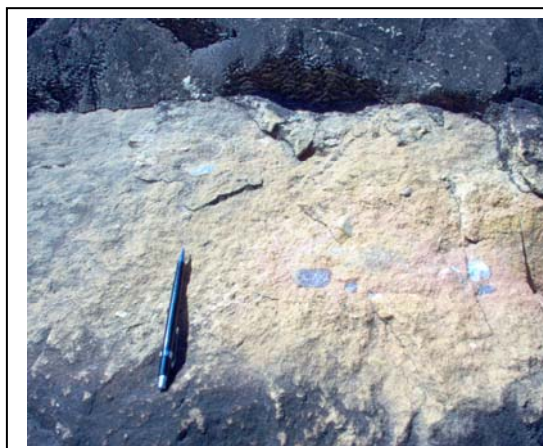
**Foto 38 - Afloramento da Fm. Serra das Araras na GO-362 (RL-34), observar as superfícies de reativação separando conjuntos de camadas de arenitos. Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).**



**Foto 39 - Detalhe das camadas lenticulares de arenito da Fm. Serra das Araras na GO-362 (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).**



**Foto 40 - Detalhe da base conglomerática de arenito da Fm. Serra das Araras na GO-362 (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).**



**Foto 41 - Detalhe de arenito conglomerático da Fm. Serra das Araras na GO-362 (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).**





Foto 42 - Intercalação de camadas centimétricas de pelito vermelho entre camadas de arenito da Fm. Serra das Araras (RL-34) Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).

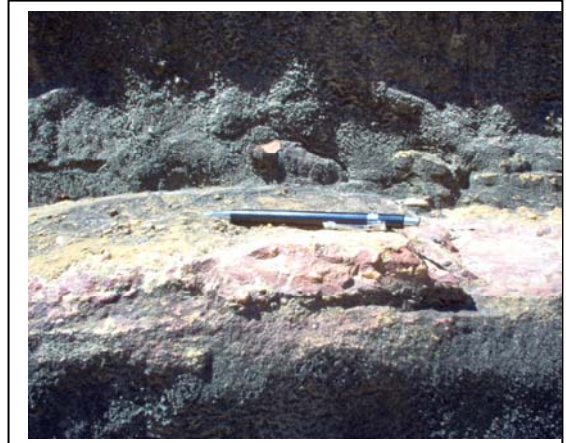


Foto 43 - Camada de conglomerado intraformacional formada por fragmentos de pelito vermelho (RL-34). Afloramento referência do trabalho de Spigolon & Alvarenga (2002).



Foto 44 - Contato entre arenito da Fm Posse (abaixo da pá) e arenito conglomerático silicificado da Fm. Serra das Araras (bloco acima da pá) na BR-020, próximo à localidade de Rosário (RL-01).



Foto 45 - Detalhe do arenito silicificado da Fm. Serra das Araras, notando o seixo de quartzo e a estratificação cruzada. BR-020, próximo à localidade de Rosário (RL-01).



Foto 46 - Detalhe de camada de arenito conglomerático silicificado da Fm. Serra das Araras. BR-020, próximo à localidade de Rosário (RL-01).



Foto 47 - Detalhe de camada de arenito com estratificação cruzada acanalada da Fm. Serra das Araras, flanco noroeste do vale do rio Arrojado, próximo à localidade de Rosário (RL-35).

Neste litótipo predominante intercalam-se camadas de arenito fino a médio, com matriz siltica, esbranquiçados, grãos subangulares a subarredondados, esfericidade moderada a baixa, mal selecionados, com estratificação planoparalela e arenitos finos a médios, quartzosos, grãos subarredondados com boa esfericidade e bem selecionados, exibindo bimodalidade das lâminas dos *foresets* das estratificações cruzadas de médio porte. Próximo à Lagoa do Pratudão (RL-29) ocorrem camadas de arenito muito grosso, composto por grãos de quartzo e feldspato, conglomerático com grânulos e seixos de arenito silicificado e silexito nos *foresets* das estratificações cruzadas tangenciais. No afloramento da rodovia GO-362 (RL-34) ocorrem camadas centimétricas de pelito vermelho e de conglomerado intraformacional constituído por fragmentos de pelito vermelho, intercaladas localmente nos arenitos. Apenas um afloramento (RL-04) caracterizou a presença de conglomerado constituído por seixos e matacões de quartzarenito, quartzito e silexito.

As camadas de arenito podem ocorrer com formato lenticular sigmoidal, amalgamadas entre si, com espessura variando entre 30 e 35 cm em média, exibindo marcas de carga no contato e com intercalação de arenitos com laminação planoparalela (RL-16 e RL-47).



**Foto 48 - Camadas lenticulares amalgamadas de arenito da Fm. Serra das Araras na encosta do vale do rio Arrojado (RL-16).**



**Foto 49 - Detalhe da estratificação cruzada em arenitos da Fm. Serra das Araras na encosta do vale do rio Arrojado (RL-16).**



**Foto 50 - Camadas lenticulares amalgamadas, com geometria sigmoidal, de arenito da Fm. Serra das Araras no vale do rio Pratudão (RL-47).**



**Foto 51 - Camada de arenito com laminação planoparalela associada com camadas lenticulares de arenito da Fm. Serra das Araras no vale do rio Arrojado (RL-15).**



Foto 52 - Arenito conglomerático com estratificação cruzada tabular da Fm. Serra das Araras nas cabeceiras do rio Pratudão (RL-29).



Foto 53 - Ortoconglomerado da Fm. Serra das Araras aflorando no flanco oeste do vale do rio Pratudão (RL-04).

Três amostras (RL-R-20b; RL-R-44; RL-R-52b) desta unidade foram laminadas e as análises petrográficas indicaram arenitos de granulação fina a grossa (0,188 mm – 0,56 mm) e média a muito grossa (RL-R-20B, amostra da base da formação na *cuesta* entre Posse e Rosário), grãos subangulares a arredondados, esfericidade variando de baixa a média e alta, enquanto a seleção é de média a pobre. Composição do arcabouço predominantemente por grãos de quartzo monocristalino (60 – 63%) límpidos e com extinção reta e ondulante, subordinadamente ocorrem quartzo policristalino (2 – 3%) e feldspato (1 – 4%), estes normalmente alterados por argilização, seritização e caulínização, ocorrendo ainda parcialmente dissolvidos. Como acessórios (traços) ocorrem fragmentos líticos (arenito), mica, chert, calcedônia, zircão e epidoto. Os contatos entre os grãos são pontuais e tangenciais e o empacotamento é aberto (índice de empacotamento  $P_p < 40$ ). A presença de pseudomatriz formada por deformação de grãos líticos é comum (traços a 1%). Como material autigênico ocorre *overgrowth* de quartzo (traços a 3%), cimento por óxido/hidróxido de ferro capeando os grãos (1 – 5%) ou constituído por caulinita (ausente a 2%), clorita (ausente a 5%) e ilita (ausente a traços) contribuem no fechamento dos poros. A porosidade principal é intergranular (19 – 24%), seguindo-se a móldica (2 – 3%) e intragranular (traços a 2%). Caracterizam-se como quartzarenitos (RL-R-44 e RL-R-52b) e subarcóseo (RL-R-20b) conforme a classificação de Folk (1974).

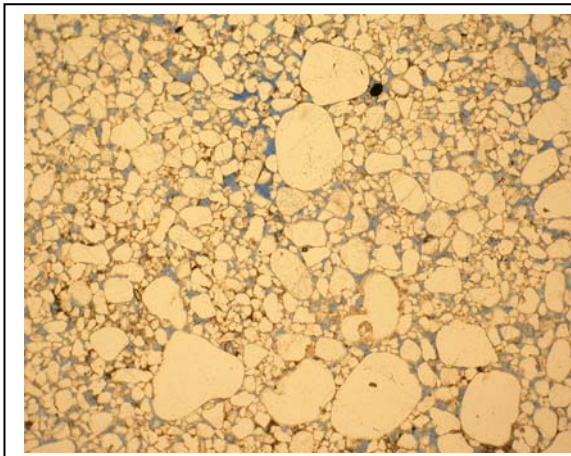


Foto 54 - Subarcóseo da Fm. Serra das Araras (RL20b, 4x LN), mal selecionado com granulação variando de fina a muito grossa. Porosidade intergranular destacada pela cor azul da impregnação.

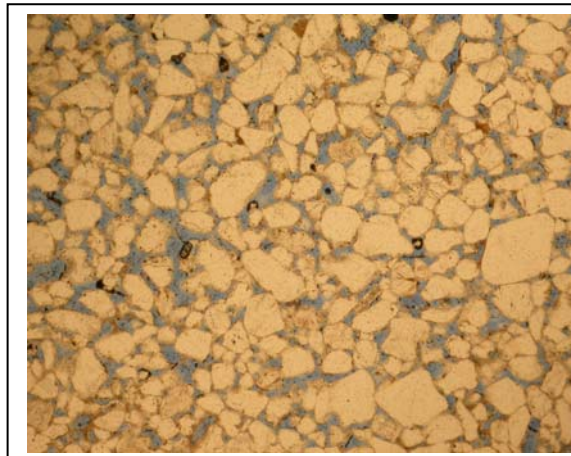


Foto 55 - Quartzarenito da Fm. Serra das Araras (RL52b, 4x LN), mal selecionado com granulação variando de fina a grossa. Porosidade intergranular destacada pela cor azul da impregnação.

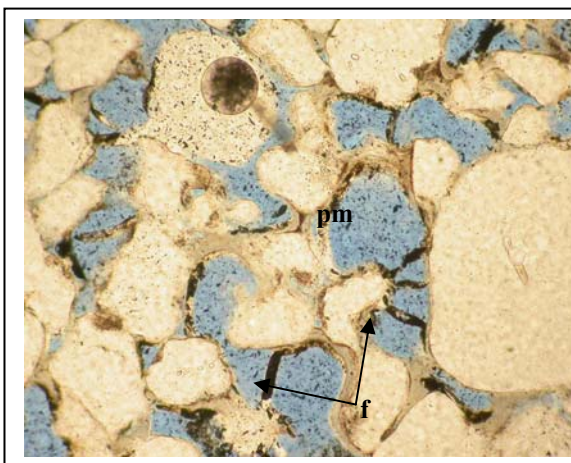


Foto 56 - Porosidade móldica (pm) por dissolução de grãos de feldspato, marcada pela película de óxido/hidróxido de ferro (f), quartzarenito da Fm. Serra das Araras (RL44, 20x LN).

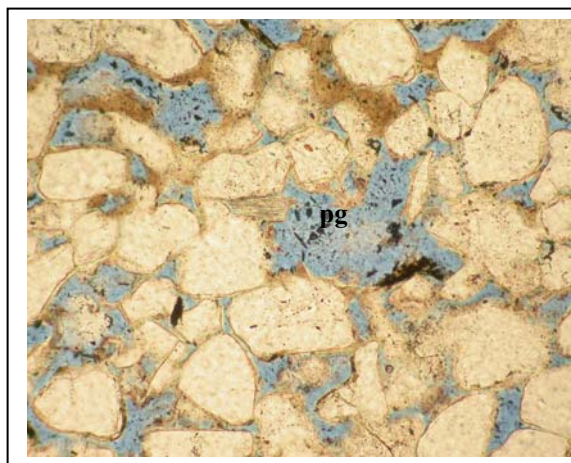
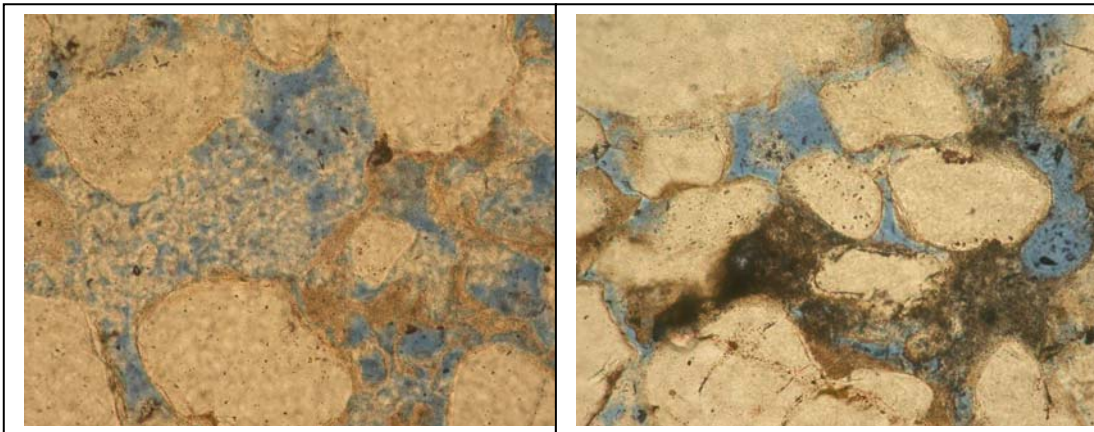


Foto 57 - Poros agigantados (pg) resultantes da coalescência de poros gerados por dissolução de grãos de feldspato, quartzarenito da Fm. Serra das Araras (RL52b, 20x LN).

As evidências de processos de dissolução de grãos de feldspatos geram um incremento relativo de quartzo na contagem de pontos para a classificação petrográfica, desta forma acreditamos que a classificação como quartzarenitos das amostras RL-R-44 e RL-R-52b seja fruto deste fato, quando em realidade deveriam, em sua origem, ter uma composição subarcóseana.



**Foto 58 - Caulinita obstruindo poros em arenito da Fm.Serra das Araras (RL20b, 40x LN).**

**Foto 59 - Pseudomatriz a partir da deformação de grãos líticos obstruindo poros em arenito da Fm. Serra das Araras (RL20b,**

A espessura estimada para esta unidade, com base nos dados levantados na rodovia GO-362 entre o afloramento RL-34 e a BR-020 é de 115 m (cota 775 m no contato entre as formações Posse e Serra das Araras e cota 890 m no afloramento de arenito conglomerático no topo da chapada após o trevo com a BR-020). Na BR-020, considerando-se a cota do mesmo contato (940 m em RL-01) e a cota do topo do chapadão na localidade de Rosário (995 m) a espessura estimada é de 55 m.

Na cuesta da Serra Geral de Goiás, a espessura mínima desta unidade é de 37 metros, avaliada a partir do afloramento RL-52 (cota 920 m) e o topo do chapadão na cota 957 m. Na região da Serra do Tombador a espessura é estimada em 154 m, com base na cota do contato com a Fm. Posse no afloramento RL-31b (762 m) e o topo do morro com cota de 916 m. Na região entre a cidade de Manbaí (RL-23, afloramento da Fm. Posse na cota de 750 m) e as cabeceiras do rio Pratudão (RL-03, cota de 907 m), a espessura estimada é de 150 m, uma vez que nas cotas de 841 m (RL-24) e 800 m (RL-25) já afloram litótipos da Fm. Serra das Araras.

Para a região de Correntina, atual borda leste desta bacia, as espessuras situam-se na ordem de 110 m considerando que na encosta sul do vale do rio Arrojado (Vila de Ponte do Grilo) rochas gnáissicas afloram desde o rio (cota de 525 m) até a cota de 608m (RL-71a) e que na de 629 m (RL-71b) já ocorrem arenitos da Fm. Serra das Araras (ausentes os arenitos da Fm. Posse), que se estendem até a cota de 687 m na

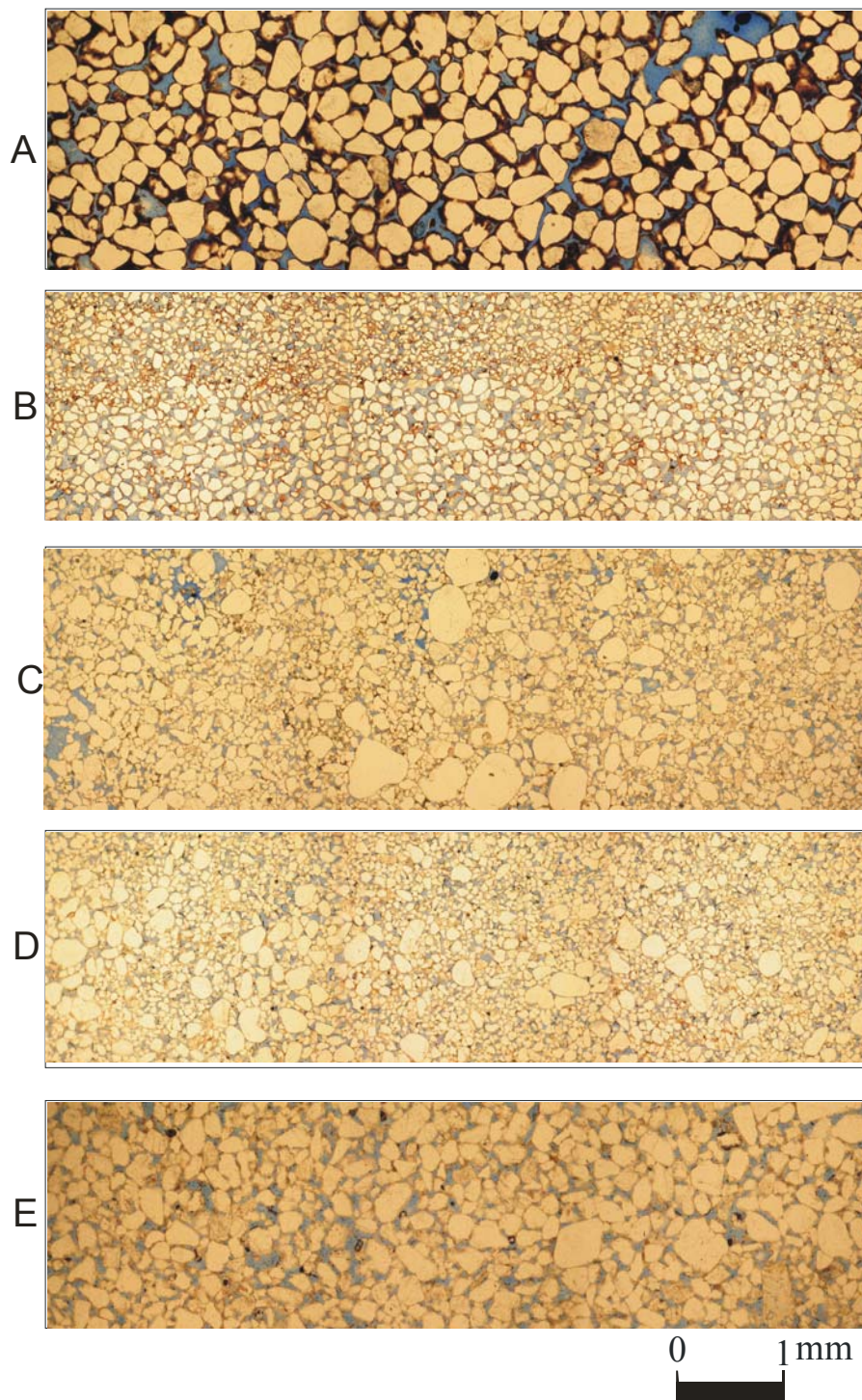
saída de Correntina (RL-72 na BR-349), tendo como limite o topo da Serra Vermelha na cota de 726 m.

Outra avaliação é feita no interflúvio Arrojado-Formoso a partir dos dados de afloramentos na região da vila Jatobá (rio Arrojado) aonde aflora granito entre as cotas de 609 m e 660 m, e a fazenda da Onça (rio Formoso) aonde em corredeira (RL-81) afloram blocos e lajeado de gnaiss na cota 622 m, tendo como referência para as rochas sedimentares o afloramento RL-77 situado no topo do interflúvio (cota 721 m) e o afloramento RL-68 (cota 639 m), primeira ocorrência de arenitos acima do granito aflorante a oeste da localidade de Gatos, ambos com arenitos da Fm. Serra das Araras. Estas informações indicam uma espessura mínima de 61 m e máxima de 99 m para a Fm. Serra das Araras nesta área.

Uma estimativa da espessura mínima (uma vez que o contato com, ou a Fm. Posse, não foi encontrado aflorando) desta unidade dentro do chapadão pode ser feita a partir das cotas dos afloramentos encontrados nos vales dos rios Arrojado (RL-17 e RL-44), Pratudão (RL-46) e Formoso (RL-50) e as cotas médias para o topo do chapadão nos interflúvios destes cursos d'água.

No rio Arrojado, para o afloramento RL-17 (Folha Rio Arrojado) a cota é de 805 m e o topo do chapadão na área encontra-se em cota máxima de 899 m no interflúvio noroeste e 897 m no de sudeste, conferindo uma espessura mínima entre 94 e 92 m para a Fm. Serra das Araras. Para a área do afloramento RL-44 (Folha Arrojolândia), a cota é de 662 m e o topo do chapadão encontra-se com cota máxima de 779 m tanto no interflúvio a norte quanto a sul, o que perfaz uma espessura mínima de 117m.

No rio Pratudão o afloramento RL-46 (Folha Arrojolândia) tem cota de 689 m e o topo do chapadão tem, na área, cota máxima nos interflúvios de 788m a norte e 795 m a sul do rio, perfazendo uma espessura mínima entre 99m e 106m. Para o rio Formoso, o afloramento RL-50 (Folha Vereda Funda) tem cota de 750 m e o topo do chapadão está em cota de 798 no interflúvio noroeste e de 797 no sudoeste, conferindo uma espessura mínima de 47 m em ambos interflúvios.



**Foto 60 - A) RL-R-19, detalhe da seleção e da porosidade intergranular em arenito da Fm. Posse (4x LN com zoom). B até E)- Comparação (4x LN) entre a granulação, seleção e porosidade de arenitos das formações Posse: B) RL-R-23; e Serra das Araras: C) RL-R-20b, D) RL-R-44 e E) RL-R-52b. A porosidade está destacada pela cor azul da impregnação.**



As espessuras mínimas sobre do chapadão devem ser consideradas com ressalvas, pois, como informado acima, não foram encontrados afloramentos que pudessem ser relacionados com a Fm. Posse, permitindo-se avaliar que a Fm. Serra das Araras apresenta-se com espessuras superiores aos 100 m, podendo atingir mais de 150 m, encontrando-se em contato por discordância com rochas do Grupo Bambuí, Suíte Intrusiva Correntina e do Complexo Gnáissico-Migmatítico Correntina.

Uma característica presente nos arenitos desta unidade quando em posição de topo no chapadão é uma intensa silicificação da parte superficial destas rochas, em com média 50 cm de espessura que, quando em processo de erosão constitui relevo ruiforme e, juntamente com a presença de crostas lateríticas, sustenta o relevo nos interflúvios.



**Foto 61 - Relevo ruiforme em área de afloramento de arenitos silicificados da Fm. Serra das Araras sustentando o chapadão no interflúvio dos rios Formoso e Itaguari (RL-54).**



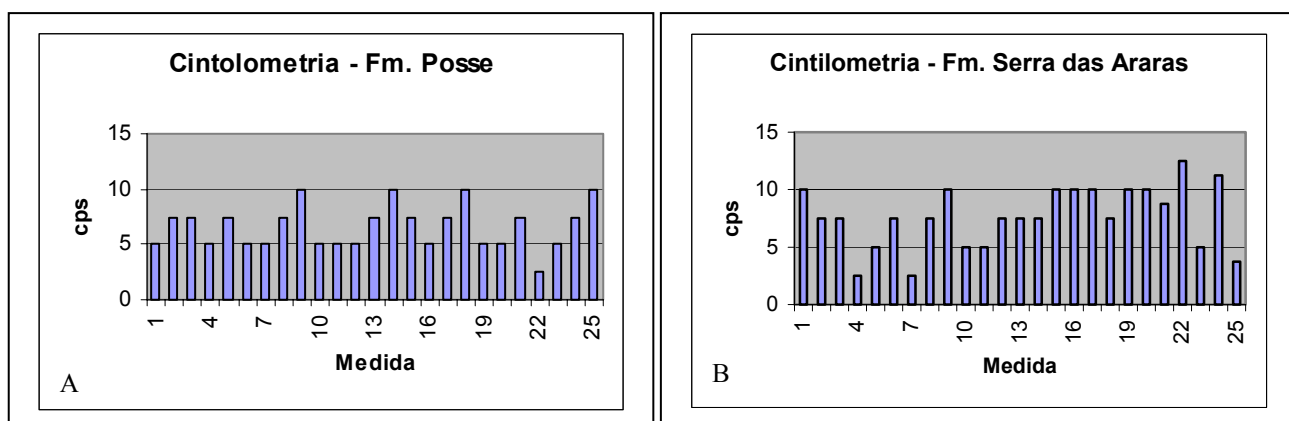
**Foto 62 - Detalhe da silicificação em arenito da Fm. Serra das Araras na região entre Arrodeador e Gatos (RL-70), encosta oeste do córrego do Ribeirão.**

*Ambientes deposicionais:* os trabalhos de Elói & Dardenne (2000) e Spigolon & Alvarenga (2002) interpretam a Fm. Posse como constituída predominantemente por depósitos de dunas eólicas em um deserto seco, enquanto que para a Fm. Serra das Araras interpretam um contexto flúvio-eólico em deserto úmido, com predomínio de depósitos de rios entrelaçados e sob regime de enxurradas.

Os afloramentos visitados levam a concordar com estas interpretações, ressaltando-se que os afloramentos do vale do rio Pratudão (RL-46 e RL-47) e do rio Arrojado (RL-16) conduzem a uma interpretação para a Fm. Serra das Araras da presença de corpos d'água, permanentes ou não, aos quais aportavam rios construindo depósitos deltaicos.

*Cintilometria:* o levantamento radiométrico não foi sistemático em todos os afloramentos pois, basicamente, o equipamento utilizado não possui a acuidade necessária face aos baixos valores de radioatividade presentes nas rochas, fornecendo sempre oscilações de leitura que tiveram que ser referidas como intervalos ou médias de leitura. O ideal seria realizar este levantamento com equipamento que disponha de tecnologia digital, de modo que o próprio equipamento calcule e forneça o valor da leitura pela média das detecções em cada ponto.

De forma geral os valores das contagens não ultrapassam 15 cps, sendo que a distribuição dos valores na Fm. Posse é mais regular do que na Fm. Serra das Araras, conforme demonstram os gráficos da Figura 4.



**Figura 4 - Cintilometria em arenitos das formações Posse (A) e Serra das Araras (B).**

A média para os arenitos da Fm. Posse ficou em 6,6 cps e para os da Fm. Serra das Araras em 7,5 cps. Esta diferença é muito pequena e prevê-se que a distinção em um perfil de Raios Gama que venha a ser corrido nos poços deva se dar em termos de formato da curva, com os arenitos da Fm. Posse apresentando uma curva mais regular, provavelmente em forma de caixa, enquanto os arenitos da Fm. Serra das Araras devem produzir um padrão irregular ou serrilhado.

*Estrutural*: em que pese não haver nos mapas geológicos compilados pelo Projeto GIS-Brasil para a região, nenhum traço estrutural relacionado com o Grupo Urucuia, trechos dos cursos dos rios apresentam-se retilíneos e formando ângulos com trechos seguintes, de forma semelhante, os afluentes que provêm da chapada para os principais cursos d'água, apresentam-se com curso perpendicular aos vales. Estes condicionamentos indicam, ao menos, um controle parcial por sistemas de fraturas.

Nos afloramentos foram tomadas medidas de fraturas e em um afloramento (RL-30) próximo à cidade de Mambaí foi encontrada uma falha inversa de alto ângulo, a qual deve ser indicativa de que, ao menos, a Fm. Posse do Grupo Urucuia foi afetada por tectônica transcorrente.

Fraturas são comuns tanto na Fm. Posse quanto na Serra das Araras, e pelas suas dimensões o afloramento da GO-362 (RL-34) é recomendado para uma análise estrutural mais detalhada, bem como o afloramento da saibreira a noroeste da localidade de Machado pela presença de falhas inversas de alto ângulo (RL-30).

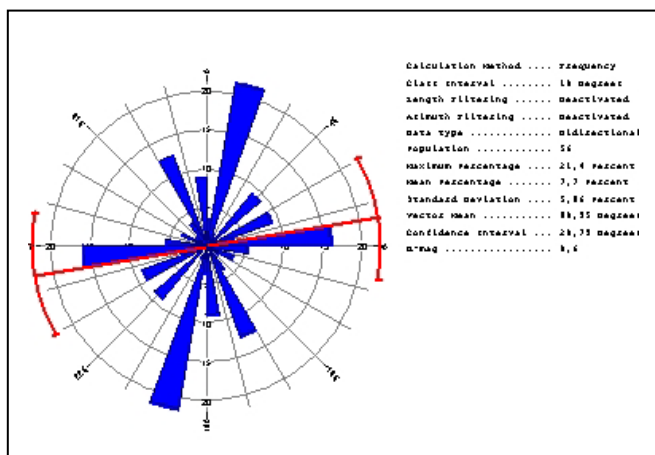
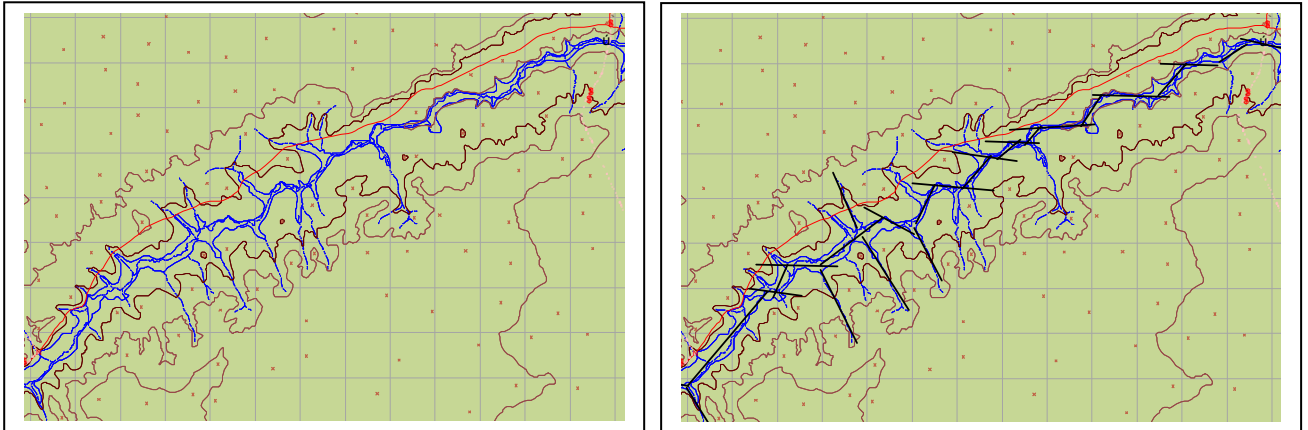
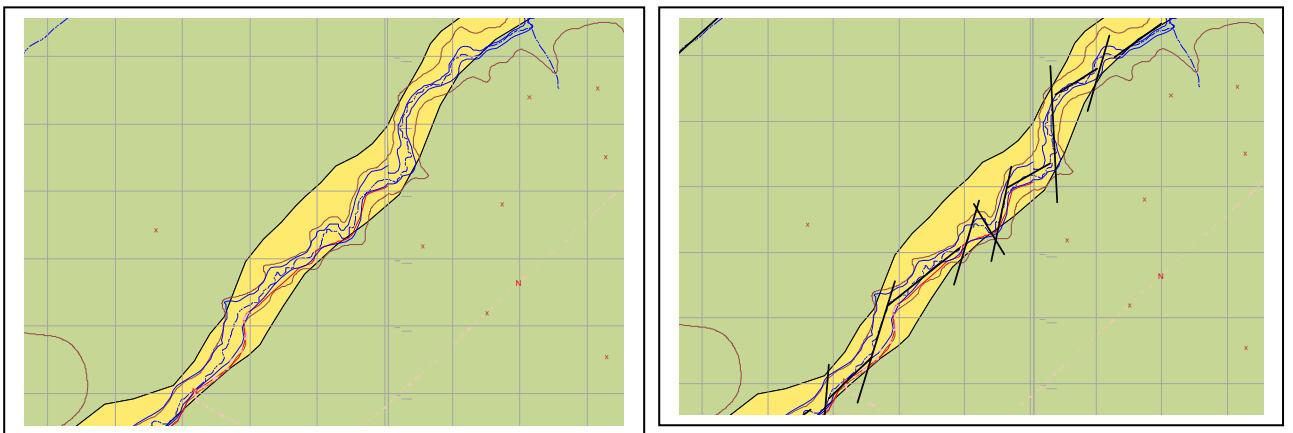


Figura 5 - Diagrama de frequência para as fraturas medidas no Grupo Urucuia.



**Figura 6 - Desenvolvimento de trechos do rio Arrojado, condicionados por estruturas tectônicas NE; NW e E-W, bem como os afluentes provindos da chapada mostram controle NW. Comparar com o diagrama de fraturas.**



**Figura 7 - Desenvolvimento de trechos do rio Arrojado, condicionados por estruturas tectônicas NE; NW e E-W. Comparar com o diagrama de fraturas.**

Campos & Dardenne (1997) posicionam a geração do sítio de deposição para o Grupo Urucuia no Albiano-Cenomaniano, durante a fase pós-rifte de evolução da Margem Continental Atlântica, com a ocorrência da inversão do campo de tensões de extensivo para compressivo, resultando em que os esforços intraplaca amplificassem a subsidência flexural gerando espaço de acomodação na forma de uma calha ampla e rasa.

Estes autores interpretam a movimentação tectônica ocorrida durante o Neógeno-Paleógeno, como responsável pela reativação de estruturas preexistentes, notadamente o fraturamento N50°-60°E presente no Grupo Bambuí, resultando no condicionamento do curso dos rios da chapada.



Foto 63 - Sistema de fraturas N60°W em arenitos da Fm. Serra das Araras na rodovia GO-362, parede sudoeste (RL-



Foto 64 - Sistema de fraturas N60°W em arenitos da Fm. Serra das Araras na rodovia GO-362, parede noroeste (RL-34). Observar o par conjugado com mergulhos para NE e SW.



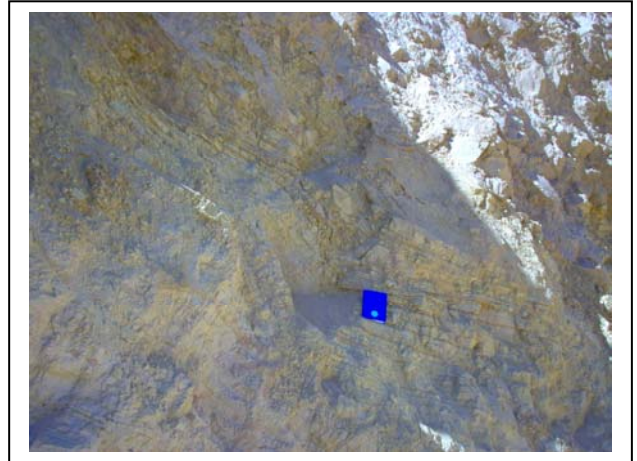
Foto 65 - Fraturas em arenitos da Fm. Posse na BR-020 (RL-11).



Foto 66 - Fraturas N14°E;38°SE em arenitos da Fm. Posse, nas proximidades da cidade de Mambaí, a noroeste da ponte sobre o córrego Riachão (RL-23).



**Foto 67 - Sistema de fraturas N84°E;48°SE em arenitos da Fm. Posse, saibreira a noroeste da localidade de Machado (RL-30).**



**Foto 68 - Drag de falha inversa em arenitos da Fm. Posse, saibreira a noroeste da localidade de Machado (RL-30).**

*Formação Chapadão*: unidade litoestratigráfica que engloba os depósitos sedimentares semi a inconsolidados, de idade neógena-paleógena, que recobrem indistintamente as rochas das formações Posse e Serra das Araras. Constitui depósitos eluviais, coluviais e aluviais, de cor avermelhada a rósea, constituída predominantemente por areias quartzosas oriundas da desintegração e erosão dos arenitos do Grupo Urucuia. Sua espessura é muito variável dependendo do paleorelevo sob o qual está desenvolvido. Na estação RL19 foram medidos 17 m de areias sobre arenitos da Fm. Serra das Araras.

No sopé da Serra Geral de Goiás ocorrem depósitos arenosos inconsolidados recobrendo indistintamente rochas dos grupos Bambuí e Urucuia e do Complexo Almas–Cavalcate, formados a partir da erosão e retração da cuesta.

A retração da cuesta da Serra Geral de Goiás e das cuestas ao longo dos vales dos rios Arrojado e Formoso e seus tributários tende a se acelerar em função do desmatamento realizado para a formação de áreas de plantio de soja e algodão, caso não haja a manutenção de uma faixa de vegetação junto as suas bordas.

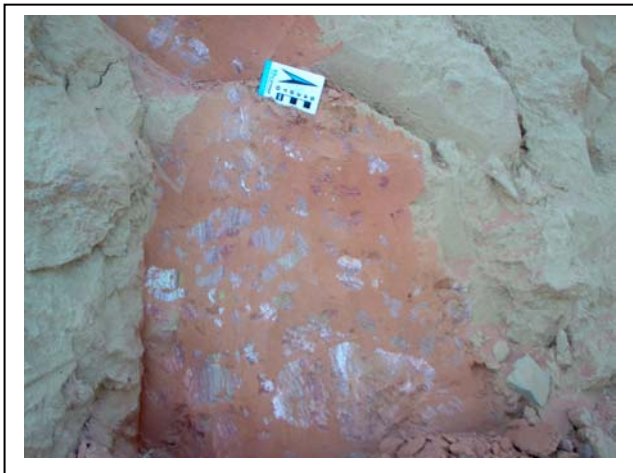


Foto 69 - Depósito coluvial da Fm. Chapadão sobre arenitos da Fm. Posse, constituído por areia quartzosa e seixos de arenito (RL-20).



Foto 70 - Desagregação de arenitos da Fm. Posse (a estratificação cruzada de grande porte ainda é visível na porção inferior direita da foto) para compor depósitos arenosos eluviais e aluviais, região da BR-020 (RL-11).

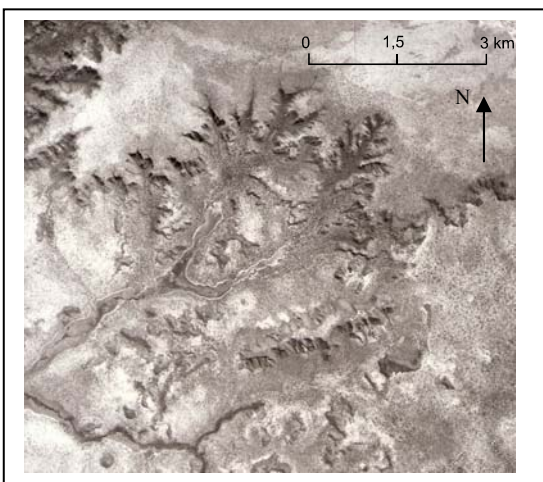


Figura 8 - Depósitos arenosos inconsolidados formados por retração da cuesta da Serra Geral de Goiás e morros-testemunho de arenitos da Fm. Posse na região da Lagoa do Pratudão.

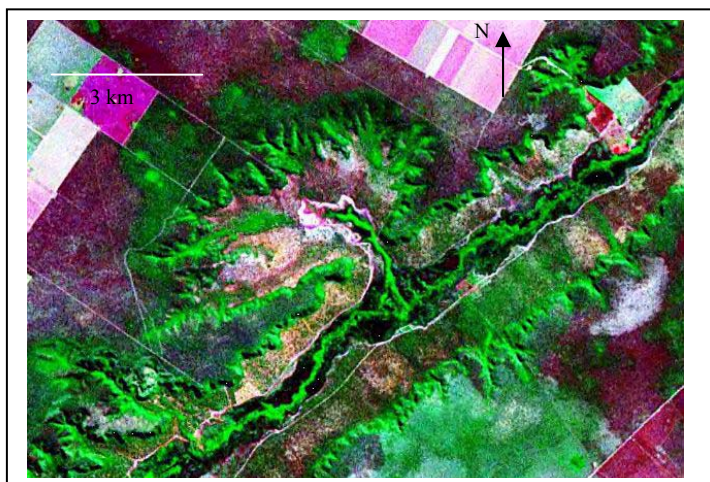


Figura 9 - Depósitos arenosos inconsolidados formados por retração de cuesta no vale do Rio Pratudão sobre o chapadão, 12 km a nordeste da Lagoa do Pratudão.

*Depósitos Detrítico-Lateríticos (Lateritas)*: no topo do chapadão são comuns crostas lateríticas desenvolvidas sobre arenitos do Grupo Urucuia. Estas crostas, juntamente com os arenitos silicificados do Grupo Urucuia, são responsáveis pela sustentação do relevo nos interflúvios sobre a chapada.

Na cuesta da Serra Geral de Goiás foi possível avaliar uma espessura média de 6 m para a camada de laterita observada na encosta da Serra Geral de Goiás na região de Posse (RL-22, RL-51 e RL-52) e Rosário (RL-61). Na porção sul da área, na região do Marco de Trijunção situado a leste de Formoso (MG), ocorre uma extensa crosta laterítica, com uma espessura de 19 m (RL-58) que sustenta o chapadão no interflúvio dos rios Formoso e Itaguari, região sudoeste do Projeto, nas cotas superiores a 900 m, abrangendo parte das folhas Damianópolis e Lagoa do Formoso (1;100.000).

Estas crostas são largamente utilizadas como material de revestimento para as estradas da região, colocadas diretamente sobre o solo arenoso resultante da desagregação dos arenitos da Fm. Serra das Araras.



**Foto 71 - Vista para nordeste da espessa crosta laterítica na região do Marco de Trijunção (RL-58), no local há uma piçarreira de onde é retirada da crosta para uso como revestimento nas estradas da região.**



**Foto 72 - Detalhe da crosta laterítica na região do Marco de Trijunção (RL-58).**

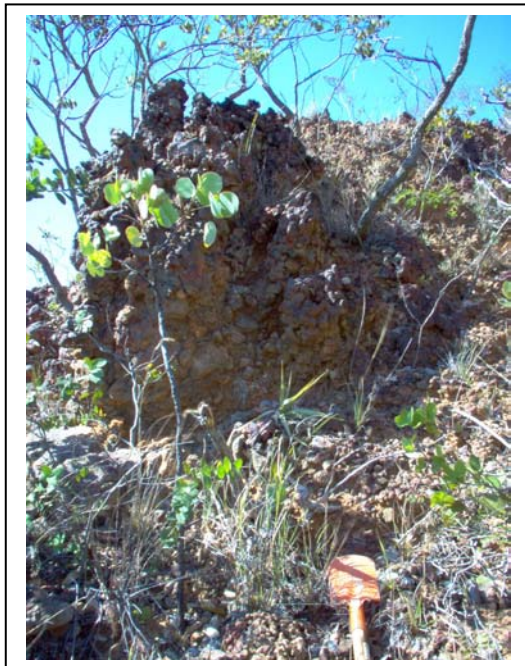




**Foto 73 - Crosta laterítica sobre arenitos da Fm. Serra das Araras (RL-22).**



**Foto 74 - Crosta laterítica sobre arenitos da Fm. Serra das Araras (RL-51) na cuesta da Serra Geral de Goiás.**



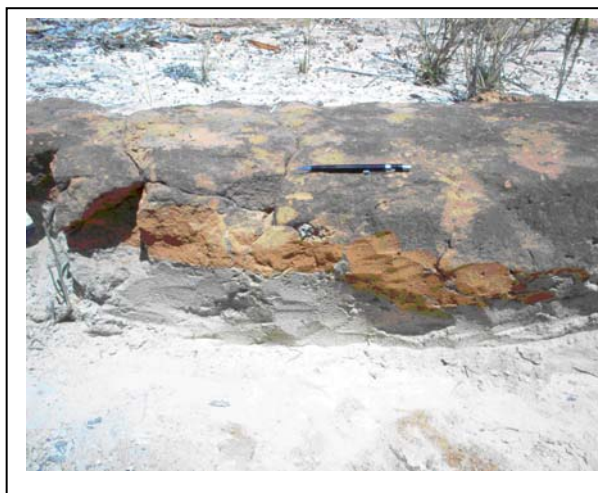
**Foto 73 - Crosta laterítica sobre arenitos da Fm. Serra das Araras (RL-51) ) na cuesta da Serra Geral de Goiás.**



**Foto 74 Crosta laterítica desenvolvida na chapada sobre arenitos da Fm. Serra das Araras, região do interflúvio do arroio da Onça e córrego do Ribeirão, a oeste de Gatos.**

O processo de laterização desenvolve-se também sobre areias resultantes da desagregação dos arenitos da Fm. Serra das Araras e que compõem os depósitos eluviais e aluviais da Fm. Chapadão, como observado na encosta sudeste do vale do riacho dos Três Galhos, interflúvio com o rio Itaguari (RL-53a, nordeste da Folha Vereda Funda).

*Geomorfologia:* A região ocupada pelas rochas sedimentares do Gr. Urucuia constitui-se em um planalto com altitudes na borda oeste da *cuesta* da Serra Geral de Goiás, dentro da área deste Projeto, entre 1.014 m (oeste de Rosário - BA) e 930 m (leste de Damianópolis e Sítio da Abadia - GO), enquanto sua borda leste exibe altitudes da ordem de 722 m na Serra Vermelha (oeste de Correntina – BA), 766 m na Serra do Saco Comprido (norte de Jaborandi –BA) e 765 m no interflúvio dos rios Formoso e Itaguari a sudoeste de Coribe, perfazendo para o chapadão um caimento para nordeste com um declive médio de 0,14%. A vegetação nativa dominante é a tipo savana (cerrado) desenvolvida sobre solo arenoso formado a partir da desagregação dos arenitos da Fm. Serra das Araras (Gr. Urucuia). As áreas planas do topo do chapadão são hoje objeto de intensa atividade de plantio de soja e algodão e portanto, áreas sensíveis quanto a processos erosivos.

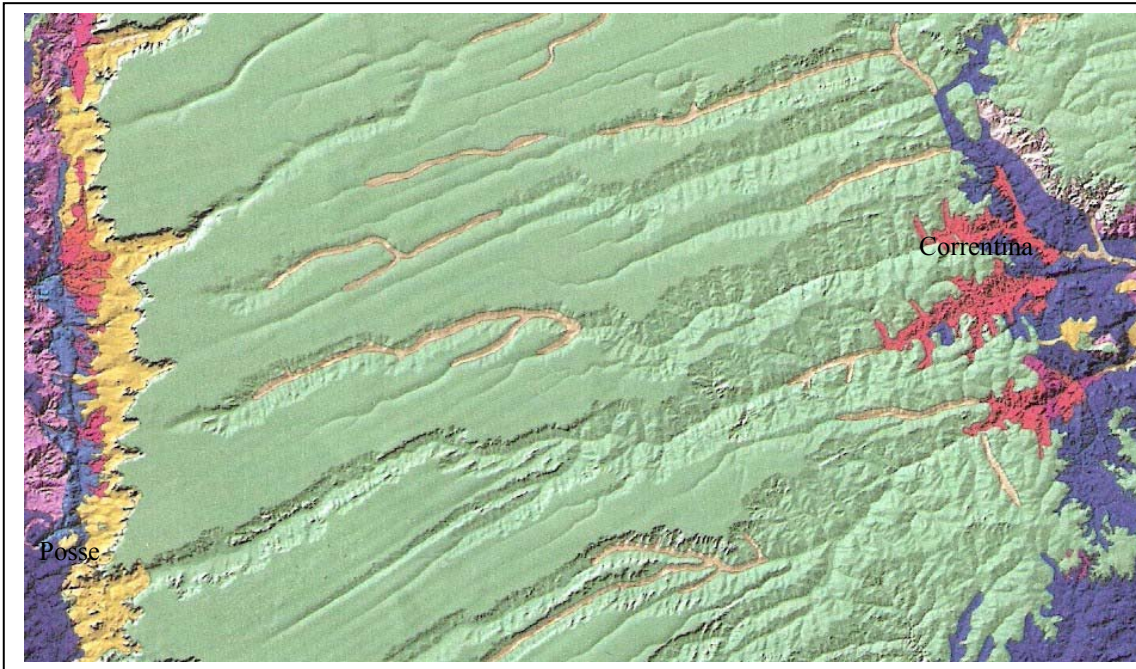


**Foto 75 - Lateralização sobre areias da Fm. Chapadão (RL-53a), sustentando relevo no interflúvio do riacho dos Três Galhos com o rio Itaguari.**



**Foto 76 - Crosta laterítica sobre areias da Fm. Chapadão (RL-53a), sustentando relevo no interflúvio do riacho dos Três Galhos com o rio Itaguari.**

A drenagem principal segue esta pendente, formando vales no interior do chapadão com direção geral SO-NE, constituindo um padrão paralelo de drenagem, enquanto seus afluentes provindos das áreas laterais aportam de forma perpendicular, encaixados em fraturas SE-NW. Nas regiões aonde os rios correm sobre as rochas sedimentares do Gr. Urucuia os vales apresentam fundo chato e uma vegetação composta por mata-galeria desenvolvida sobre solos hidromórficos e depósitos aluviais.



**Figura 10 - Padrão de drenagem paralelo dos rios principais sobre a chapada Urucua (geologia sobre MDT), marcando o caimento da superfície do planalto para nordeste.**

#### **Considerações sobre o Grupo Urucua na bacia dos rios Arrojado e Formoso:**

1- A primeira questão prende-se à área de ocorrência da Fm. Posse em subsuperfície, uma vez que aflora apenas no flanco oeste da cuesta e ao longo do vale do rio Arrojado, e neste por não mais do que 23 km a nordeste a partir da ponte da BR-20 sobre o rio Arrojado, não tendo sido encontrados litótipos correlacionáveis a esta unidade no flanco leste da chapada, região entre Correntina, Jaborandi e Coribe.

Desta forma, interpreta-se que a Fm. Posse encontra-se erodida pela Fm. Serra das Araras em uma posição central na chapada ou que também termine por acunhamento de suas camadas ou de encontro a um bloco elevado do embasamento. A obtenção de dados diretos ou indiretos de subsuperfície poderá contribuir para a solução desta questão.

2- A Fm. Serra das Araras assenta, por discordância, sobre rochas do embasamento proterozóico no flanco leste da chapada, ausente como já descrito a Fm. Posse. Portanto as espessuras do Gr. Urucua a partir da cuesta leste entre Correntina, Jaborandi e Coribe, são as espessuras da Fm. Serra das Araras até, ao menos ao longo do vale do rio Formoso até 18 km a sudoeste da localidade de Gatos (RL-81) aonde

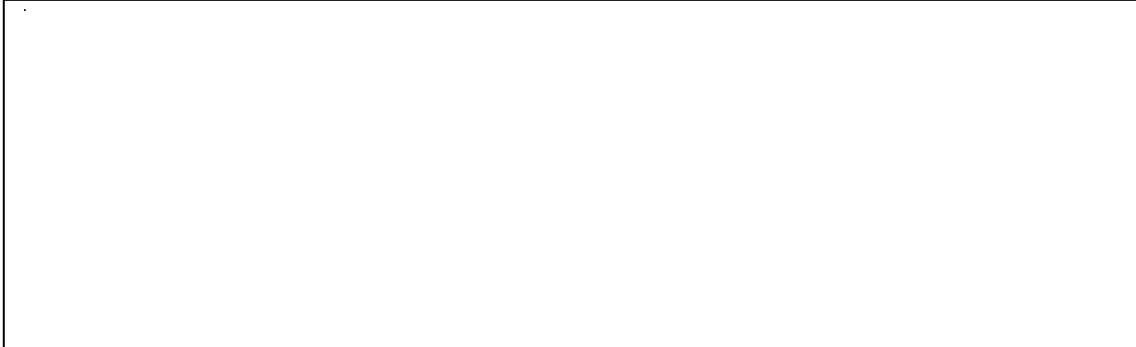
afloram no leito do rio blocos e lajeado de gnaiss e no topo da chapada (RL-77) arenitos silicificados da Fm.Serra das Araras.

3- Quanto às espessuras das formações Posse e Serra das Araras, a primeira não ultrapassa em sua área de exposição mais do que 121 m, enquanto que a segunda desde a cuesta leste até a região a oeste de Gatos não ultrapassa os 110m, sendo que suas maiores espessuras calculadas situam-se na região da Lagoa do Pratudão e a sudeste de Damianópolis, em 150 m e 154 m respectivamente.

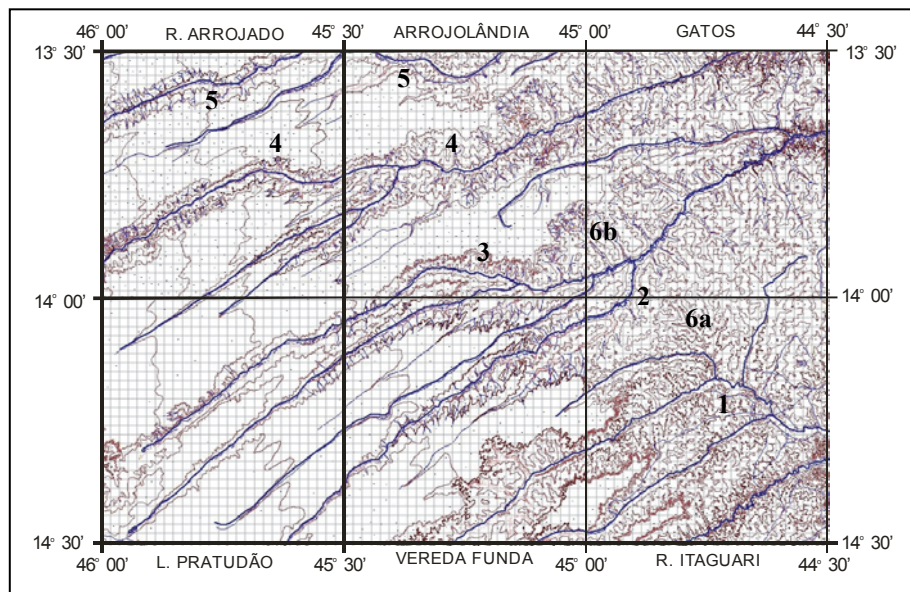
4- No conjunto de suas formações o Grupo Urucua apresenta uma espessura máxima de 275 m, valor este que deve ser esperado de ser encontrado na região central da chapada onde estejam presentes as formações Posse e Serra das Araras. Esta região de maior espessura é interpretada como situada a oeste de um conjunto de alinhamentos SE-NW refletidos nos traçado de cursos d'água que englobam parte do curso do rio Itaguari na região centro-leste da Folha Rio Itaguari; a região da confluência dos rios Pratudão e Formoso bem como curso de seus afluentes riachos Melancia, Grande, Cascavel e Bonita no setor sudoeste da Folha Gatos; estendendo-se ao norte da área do Projeto na inflexão para sudoeste do rio Corrente no extremo norte da Folha Arrojolândia. Esta região coincide com a interpretação de um alto gravimétrico no mapa Bouguer da Bahia.



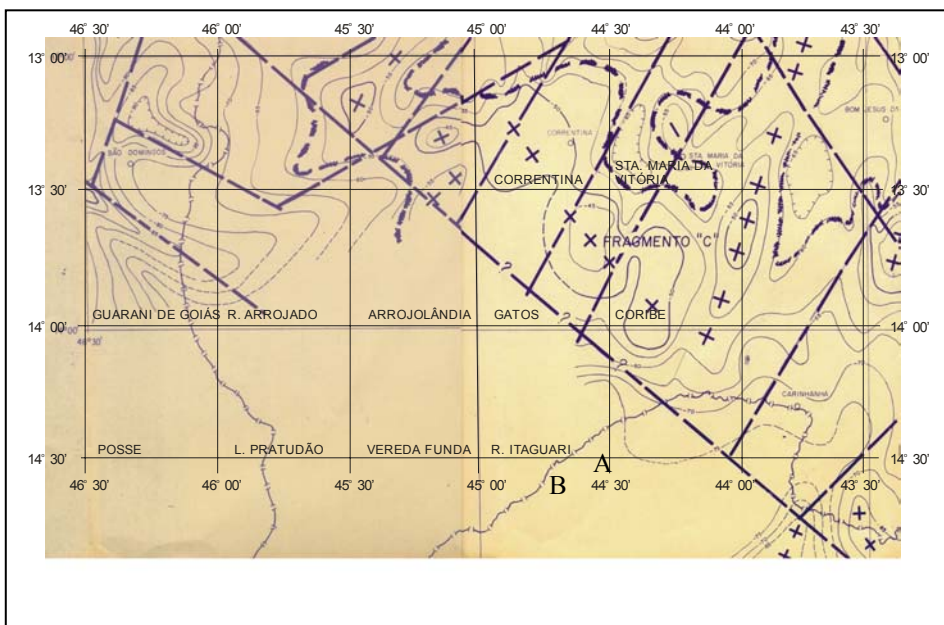
**Figura 11 - Seção geológica entre Mambaí e Serra do Tombador, a sudeste de Damianópolis. O mergulho da superfície erosiva entre as formações Posse e Serra das Araras é estimado. O exagero vertical é de 20 vezes.**



**Figura 12 - Seção geológica entre na cuesta da Serra Geral de Goiás ao sul de Rosário, flanco sudeste do vale do rio Arrojado. O mergulho da superfície erosiva entre as formações Posse e Serra das Araras foi obtido pelas cotas dos contatos nos afloramentos RL-20 e RL-22. O exagero vertical é de 20 vezes.**



**Figura 13 - Alinhamento estrutural marcado pelo desvio dos cursos dos rios Itaguari (1), Formoso (2), Pratudão (3), Arrojado (4) e Corrente (5), e pelo curso alongado de afluentes destes rios quando comparados com os demais tributários (6a, b).**



**Figura 14 - Extrato do Mapa Bouguer da região oeste da Bahia para localização da estrutura descrita para a região das folhas Rio Itaguari, Gatos e Arrojolândia como provável condicionadora da preservação da Fm. Posse no bloco baixo situado a sudoeste. Legenda para o bloco alto a nordeste:  
 + - alto gravimétrico; +++++ - alinhamento de alto gravimétrico; // - baixo gravimétrico; A - bloco alto; B - bloco baixo; ----- estrutura interpretada.**

## **META B 2 - LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS**

Autor: Olivar A. L. de Lima

### **1. Geologia de Subsuperfície**

A configuração geométrico-estrutural e a heterogeneidade faciológica dos arenitos do Grupo Urucuia foram estudadas com base em perfis litológicos e geofísicos de poços. Dados de perfis geofísicos de dois poços profundos perfurados nas sub-bacias do rio das Fêmeas e dos Cachorros localizadas a norte da área de estudo, e dados geológicos de poços das sub-bacias aqui estudadas, serviram de base para essa caracterização litoestratigráfica e hidrogeofísica.

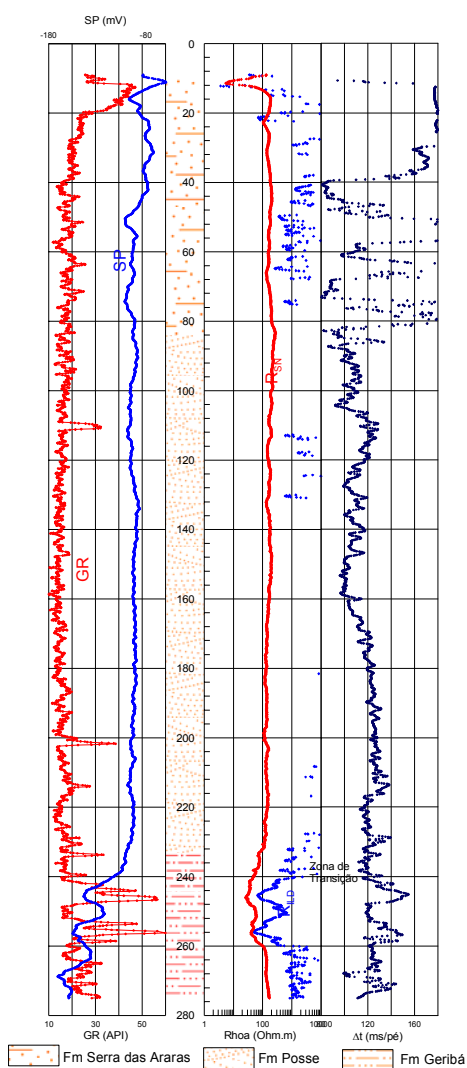
#### **1.1 - Dados Geológicos de Poços**

Seções litológicas representativas de poços profundos perfurados na área de estudo estão apresentadas no relatório da Hidrogeologia da área. Dada à distribuição espacial desses furos eles podem ser úteis para caracterizar a variabilidade faciológica do Grupo Urucuia. As colunas mostram os principais horizontes reconhecidos por amostragem de calha, com uma descrição sucinta da litologia, conforme fichas de sondagens desses poços. As colunas, que atingem até quase 300m de profundidade, são dominadas por pacotes arenosos de granulação fina a média e de cores variando de vermelho a cinza-esbranquiçado. Apesar das dificuldades inerentes a amostragem de calha, se tem reconhecido variabilidades verticais na granulometria e na argilosidade desses arenitos.

As águas superficial e subterrânea, na área estudada, estão muito pouco mineralizadas. A condutância elétrica específica das amostras analisadas varia entre 3 e 30 S/m com totais de sólidos dissolvidos entre 4,0 e 140 mg/l. São águas neutras a levemente ácidas (pH entre 5,2 e 6,6) com os cátions principais, em geral, na ordem  $Na > Ca > Mg$ . Para os ânions não se percebe um ordenamento regular, havendo amostras com  $HCO_3 > Cl > SO_4$  e outras com relação exatamente oposta. Os dados químicos e isotópicos disponíveis mostram que é difícil diferenciar a água subterrânea da água superficial, e estas de uma chuva do interior continental.

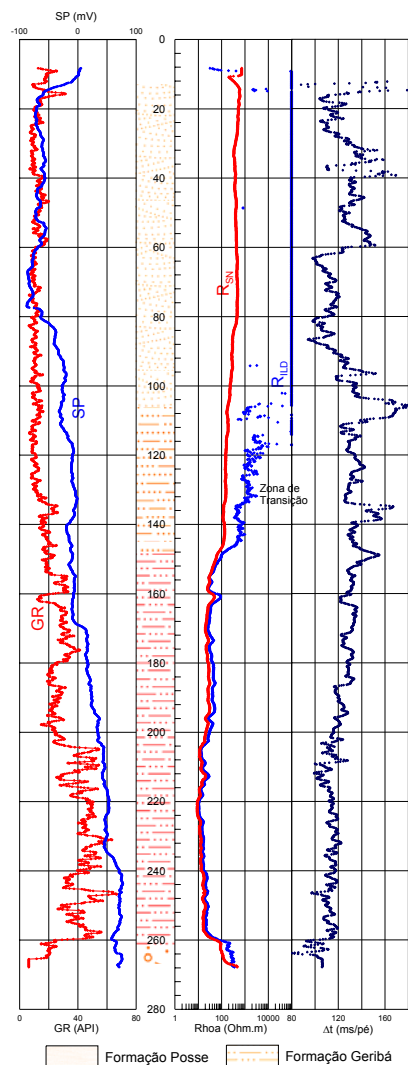
## 1.2 - Dados Geofísicos de Poços

As figuras 15 e 16 mostram as colunas litológicas e os perfis geofísicos executados nos poços produtores MO-02, que abastece a sede do município Luiz Eduardo Magalhães, e PE-01 usado na localidade de Perdizes, município de São Desidério. Nesses poços de quase 280 m de profundidades foram corridos perfis elétricos (resistividades aparentes, normal curta (SN) e indução (ILD)), e potencial espontâneo (SP)), radioativo (radiação gama), sônico compensado e calibre do diâmetro do furo.



**Figura 15 – Perfis geofísicos corridos no poço MO-02 que abastece a sede municipal de Luiz Eduardo Magalhães.**





**Figura 16 – Perfis geofísicos corridos no poço PE-01 que abastece a vila de Perdizes, município de São Desidério.**

As colunas litológicas nos centros das figuras foram definidas com base na descrição de amostras de calha fornecidas pelos perfuradores, complementadas com a análise desses dados geofísicos. Esses dois poços, que distam entre si cerca de 100 km, mostram excelentes correlações faciológicas e atestam à validade regional da presente análise.

O perfil de radiação gama é um bom indicador da variabilidade litológica vertical ao longo de um furo. Em sucessões areno-argilosas, o aumento na contagem API da radiação gama detectada, corresponde a um aumento na proporção de argila na formação (Asquith, 1990). O conteúdo de argila ou argilosidade de um arenito pode ser avaliado desses perfis usando uma equação empírica não-linear, conforme descrito em

Asquith e Gibson (1982). Inicialmente, se calcula um índice de radiação gama pela fórmula

$$I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}},$$

(1)

onde,  $GR_{log}$  é a leitura do perfil e  $GR_{min}$  e  $GR_{max}$  são, respectivamente, as leituras mínima e máxima observadas no intervalo perfilado. A fração volumétrica de argila na matriz é calculada então da seguinte expressão

$$V_{cl} = 0,33 \left[ 2^{2I_{GR}} - 1,0 \right].$$

(2)

Os dados dos perfis elétricos corridos vêm mostrados nas duas faixas à direita das colunas litológicas dos furos, representadas nas Figuras 16 e 17. Usando esses dados e o modelo de condutividade volumétrica para arenitos argilosos proposto por Lima e Sharma (1990; 1992), e retrabalhado por Lima e Sri Niwas (2000) e Lima et al. (2005), foram computadas a porosidade efetiva e a permeabilidade dos arenitos através das relações

$$\phi_e = \left( \frac{\rho_{mf}}{\rho_{xo}} \right) \left\{ \frac{\rho_{cs}^{1/m} - \rho_{xo}^{1/m}}{\rho_{cs}^{1/m} - \rho_{mf}^{1/m}} \right\}^m,$$

(3)

e

$$k = \alpha_o \left[ \frac{\phi_e^{(m-1+1/q)}}{1 + \delta_c \sigma_{cs}} \right]^q.$$

(4)

Nas equações (3) e (4),  $\rho_{xo}$  e  $k$  são, respectivamente, a resistividade elétrica da zona lavada e a permeabilidade intrínseca da rocha,  $\rho_{mf}$  a resistividade do eletrólito

intersticial (filtrado da lama) e  $\rho_{cs} = 1/\sigma_{cs}$  a resistividade (condutividade) equivalente dos sólidos de sua matriz. A grandeza  $\phi_e$  é a porosidade efetiva do arenito e  $\delta_c$  um parâmetro característico do tipo de argila presente na matriz da formação. As constantes  $\alpha_o$ ,  $m$  e  $q$  são determinadas empiricamente. As equações (3) e (4) foram usadas para computar distribuições de porosidade efetiva e de permeabilidade intrínseca dos arenitos ao longo dos dois furos. A condutividade da matriz ( $\sigma_{cs}$ ) foi determinada adotando uma estrutura de grãos de areia capeados por folhelhos, com proporção dada pela argilosidade calculada dos perfis de radiação gama conforme proposto por Lima e Sharma (1992).

Os perfis sônicos compensados vêm mostrados nas segundas faixas da direita, ao lado dos perfis elétricos (Figuras 15 e 16). Eles representam o tempo médio de propagação ( $\Delta t$ ) ao longo de 1,0 pés de formação penetrada pelo som emitido de um transmissor na sonda. Nos trechos mais regulares dos dois perfis os dados de  $\Delta t$  permitiram computar valores confiáveis de porosidade total dos arenitos usando a fórmula do tempo médio (Wyllie et al., 1956) dada por

$$\phi = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_m - \Delta t_f} \times \frac{1}{B_{cp}},$$

(5)

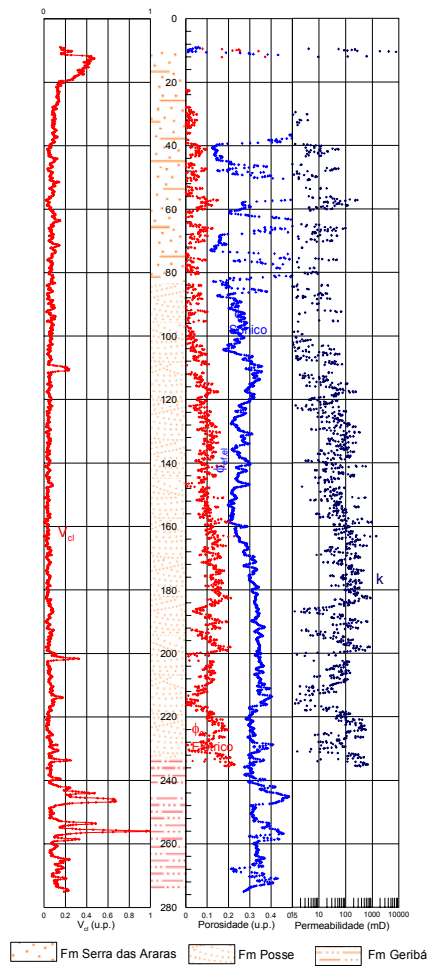
onde  $\Delta t$  é o tempo lido em cada ponto do perfil,  $\Delta t_m$  o tempo de transito da onda P na matriz sólida da rocha ( $\Delta t_m = 55$  ms/pé para arenitos quartzosos),  $\Delta t_f$  o tempo de transito no fluido dos poros ( $\Delta t_f = 189$  ms/pé para água doce) e  $B_{cp}$  é um fator de correção para a compactação do pacote. O valor de  $B_{cp}$  é estimado do tempo de propagação observado nos horizontes argilosos da seção (Schlumberger, 1989).

Assim, do perfil de radiação gama, foi possível demarcar horizontes contendo argilas, ao longo das seções colunares dos poços MO-02 e PE-01. Além disso, foi possível constatar que o pacote arenoso que se estende de 82 a 230 m de profundidade no poço MO-01 e de 0 a 143 m no poço PE-01, corresponde ao trecho mais limpo e uniforme das duas seções. O pacote argilo-arenoso do topo da coluna de MO-01, com 20 m de espessura, mostra um crescimento, da base para o topo, na argilosidade da formação. Esse intervalo não é reconhecido no poço PE-01. Nos intervalos de profundidade entre 240 e 280 m, em MO-01 e de 190 – 230 m, em PE-01, ocorrem

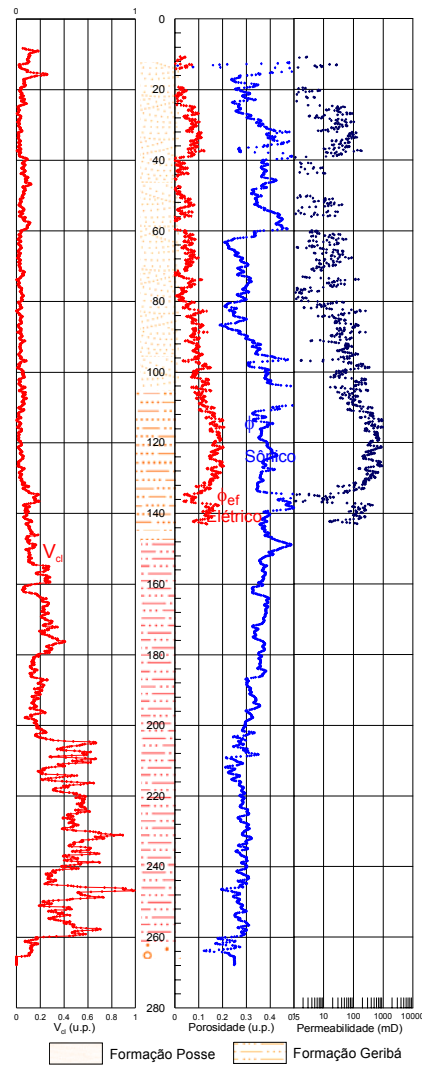
arenitos argilosos finos e mal selecionados, intercalados com folhelhos e siltitos avermelhados. Níveis argilosos esporádicos ocorrem ao longo de todo o pacote Urucuia.

Os valores de resistividade aparente, nas primeiras faixas da direita, mostram que as leituras da ferramenta IEL, de maior raio de investigação, são muito elevados, indicando que a maior parte do Grupo Urucuia é muito resistiva. Deflexões geradas por horizontes mais condutivos distribuídos entre 25 e 85 m de profundidade, em MO-01, e entre 30 – 56 m, em PE-01, parecem representar zonas alternadas de arenitos friáveis com níveis arenosos muito silicificados. Essas zonas possuem baixa argilosidade e se associam a intervalos de intensas irregulares nas paredes do furo, conforme se infere do comportamento dos perfis sônicos mostrados nas segundas faixas da direita nas Figuras 15 e 16. Os dados de SP e de resistividade SN são menos diagnósticos, dada às resistividades relativamente elevadas dos arenitos, mas, qualitativamente, apontam para a mesma variação de composição descrita.

A porosidade total varia de 25 a 35% nos intervalos arenosos mais limpos, podendo alcançar até 40% nos trechos com argilas disseminadas e mais de 50% nos horizontes dominados por argilas. A porosidade efetiva, computada dos dados elétricos, é válida apenas para os intervalos areno-argilosos, e varia entre 20 e 25% na maior parte da seção. Os intervalos de granulometria mais fina e de melhor seleção tem porosidades efetivas maiores (cerca de 5%) do que àquelas de grãos mais grosseiros e de menor seleção.



**Figura 17 – Parâmetros petrofísicos dos arenitos do Grupo Urucuia estimado dos perfis geofísicos do poço MO-02.**



**Figura 18 – Parâmetros petrofísicos dos arenitos do Grupo Urucua estimado dos perfis geofísicos do poço PE-01.**

Integrando os dados geofísicos observados nos poços MO-02 e PE-01, com os parâmetros petrofísicos deles computados, foi possível verificar que, efetivamente, o Grupo Urucua na bacia do São Francisco, é constituído por três fácies geofísicos distintos, cada um deles constituindo uma formação geológica de características litológicas específicas assim definidas:

- (i) Facies Superior (Formação Serra das Araras) – Presente nos dois poços está mais bem caracterizada no perfil do poço MO-02. Corresponde a uma sucessão de arenitos avermelhados, de granulação média a fina, friáveis, argilosos e estratificados em bancos de 2 a 4 m de espessura, nos quais, geralmente, o teor de argila aumenta da base para o topo do banco. É

comum a presença de níveis silicificados intercalados, identificados por fortes crescimentos na resistividade ILD e por anomalias distintas nas curvas de velocidade sônica. Alcança uma espessura de 82 m em MO-02 e possui, no topo, uma camada guia de alta argilosidade e aproximadamente 20 m de espessura. Essa camada superior de maior condutividade foi reconhecida em quase todas as sondagens elétricas realizadas na área. Esta unidade se separa do facies intermediário por meio de uma superfície erosiva definida em termos dos contrastes físicos manifestados nos perfis radioativos, elétricos e sônico.

- (ii) Facies Intermediário (Formação Posse) – Identificado nos dois poços, alcança uma espessura aproximada de 130 m. Compõe-se de arenitos rosa-acinzentados, de granulação média a fina, com proporção de argila bem menor que a do facies superior (<10%). Localmente, pode conter horizontes com argilosidade um pouco mais alta (15 a 30%). Pode se identificado pelo empilhamento de corpos arenosos com algumas dezenas de metros de espessura. A porosidade efetiva ao longo da seção varia de 8 a 22%, enquanto a permeabilidade oscila entre menos de 100 a um pouco mais de 1,0 Darcy.
- (iii) Facies Inferior (Formação Geribá) - Parcialmente penetrado pelos dois poços, tem espessura mínima de 110m. Compõe-se de arenitos argilosos (15 a 30% de argilas), de granulação fina, com intercalações delgadas de horizontes argilosos avermelhados. Estes gradam, em direção a base da seção, para espessos argilitos ou folhelhos (com 60 a 100% de argilas) marrom-avermelhados, contendo intercalações de arenitos finos e siltitos. Na base de PE-01 foi identificado um nível conglomerático de matriz areno-argilosa fina contendo seixos de quartzo, silixitos e carbonatos. Faz contato transicional com o facies intermediário, conforme indicado pelas propriedades físicas medidas nos furos. Essa zona de transição tem cerca de 20 m de espessura e, através dela, tanto a porosidade quanto a permeabilidade passam por valores bem pequenos (Figuras 17 e 18).

Com o fim de dar suporte à interpretação dos dados gravimétricos, as densidades médias em massa das formações definidas acima foram computadas a partir dos dados de porosidade efetiva usando a expressão

$$\mu_o = \mu_s + \phi_e(\mu_s - \mu_w),$$

(6)

onde,  $\mu_o$  é a densidade saturada da formação,  $\mu_s$  a densidade média dos componentes sólidos ( para quartzo  $\mu_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$ ) e  $\mu_w$  a densidade da água de saturação ( $\mu_w = 1,0 \text{ g/cm}^3$ ). Os valores médios ponderados encontrados para a seqüência do Grupo Urucuia nos dois poços foram: (i)  $\mu_o^U = 2,56 \text{ g/cm}^3$  (Poço MO-02); (ii)  $\mu_o^U = 2,54 \text{ g/cm}^3$  (poço PE-01).

Os dados litológicos e hídricos levantados neste projeto indicam que os arenitos do Grupo Urucuia não obedecem à lei de Archie (Archie, 1942),

$$\rho_o = \rho_w \phi_e^{-m},$$

(7)

na qual  $\rho_o$  e  $\rho_w$  são as resistividades da formação e de sua água de saturação,  $\phi_e$  é a porosidade efetiva e  $m$  é uma constante empírica, referida como índice de cimentação. A razão  $\rho_o / \rho_w = F = \phi_e^{-m}$ , Archie denominou de fator de resistividade da formação.

Os dados petrofísicos computados para o poço MO-2 podem ser usados na verificação de tal afirmação. Tomando  $m = 1,8$  (valor típico para arenitos de grãos arredondados a subarredondados) e os valores estimados da porosidade sônica na parte mais limpa do perfil, se obtém  $F$  variando de 7,7 a 22, ao longo do furo. Com  $\rho_w = 1.560 \text{ ohm.m}$ , conforme medido em amostra de água coletada do poço se tem que a resistividade do aquífero deveria variar entre 12.000 a 34.000 ohm.m. Entretanto o valor médio de  $\rho_o$  inferido de uma sondagem elétrica vizinha a MO-02 é de apenas 2.600 ohm.m. Assim, o grau de dissolução da água e a presença de argila tornam a relação  $\rho_o - \rho_w$  não-linear, diferentemente da lei de Archie. Isso faz com que a água na formação pareça ser mais condutora do que realmente ela é. Uma alternativa viável é a de modificar a expressão de Archie para

$$\rho_o = \rho_{we} \phi_e^{-m},$$

(8)

com a introdução de uma resistividade equivalente para a água,  $\rho_{we}$ , quando em contato com os poros das formações. Essa resistividade  $\rho_{we}$  varia de forma não-linear com  $\rho_w$



(por exemplo,  $\rho_{we} = a\rho_w^\alpha$ ). Diversos trabalhos têm demonstrado a validade prática dessa transformação (Lima e Nery, 1999; Lima et al., 2005). Conhecida a relação  $\rho_{we} - \rho_w$  de uma dada formação, a equação (7) poder ser usada para estimar a variabilidade espacial de  $\phi_e$  a partir da resistividade do aquífero determinada via sondagens elétricas verticais.

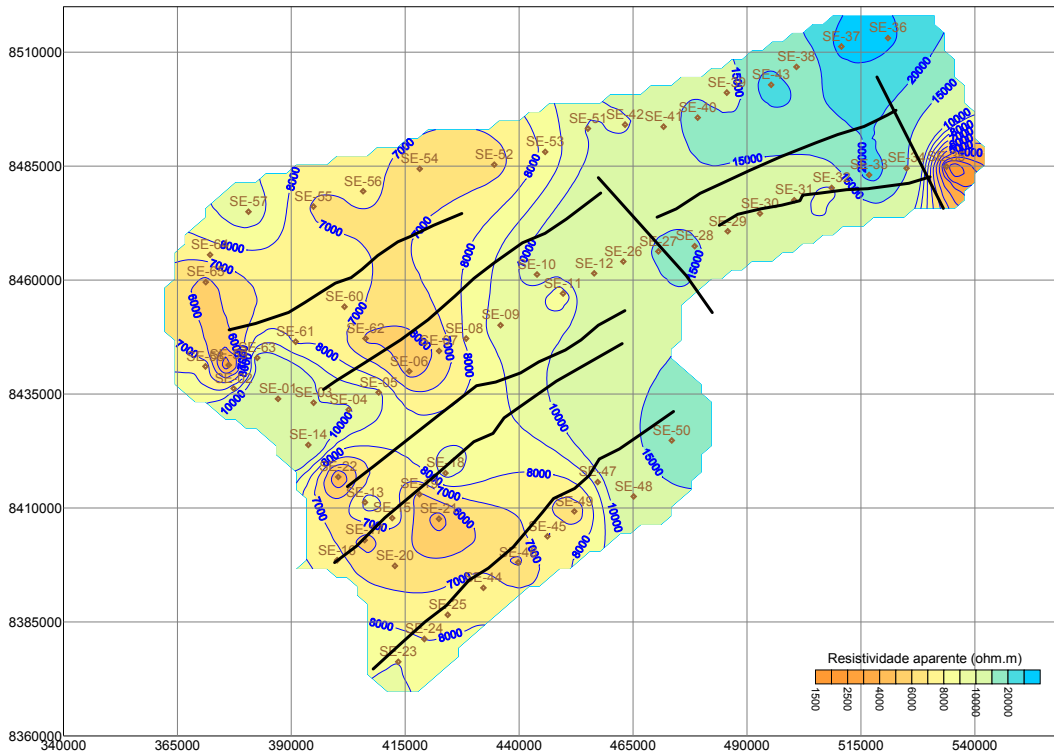
## 2. Caracterização Geométrica

A condução de eletricidade nas rochas da crosta terrestre é basicamente determinada pelo conteúdo e salinidade dos eletrólitos aquosos normalmente nelas presentes, pelo volume total e conectividade dos espaços vazios, expressos em termos de suas porosidades efetivas, e pela proporção de minerais possuidores de uma condutividade elétrica superficial, dispersos em suas matrizes sólidas. Por causa da possibilidade concreta de se poder discriminar e determinar esses elementos, os métodos geofísicos elétricos têm tido amplos sucessos em hidrogeologia e em estudos de poluição ambiental (Ward, 1990; Meju et al., 1999, 1997; Pereira e Lima, 2007).

Os equipamentos utilizados nas aquisições dos dados geométricos no campo foram os sistemas SYSCAL R-2 e SYSCAL-PRO, ambos fabricados pela Iris Instruments, de propriedade do CPGG/UFBA. Esses sistemas são alimentados por baterias comuns de 12V acopladas a conversores de voltagem DC-DC. Operam com correntes contínuas, medindo simultaneamente a resistividade e a polarizabilidade aparentes do subsolo. As tensões máximas de saída desses sistemas podem atingir, respectivamente 800V e 1.000V, sob potência de 250W. Como eletrodos de corrente e de potencial foram usadas barras metálicas de aço revestidas com cobre, enterradas no solo, ligadas aos sistemas por cabos condutores isolados de baixa resistência específica. Para reduzir os efeitos de maus contatos entre os eletrodos e a terra, os buracos de aterramentos foram sempre molhados com água salgada.

Sessenta e cinco centros de sondagens elétricas verticais foram distribuídos na área da bacia com o objetivo de auxiliar na caracterização estratigráfica e estrutural do sistema aquífero Urucuia. O arranjo de eletrodos utilizado em campo foi o de Schlumberger, expandido até um espaçamento  $AB/2$  máximo de 1.000 m. Essa amostragem geofísica foi estabelecida ao longo de rodovias principais e secundárias da área, com uma distribuição espacial suficiente para poder representar os resultados em

termos de mapas e em, pelo menos, cinco perfis geológicos transversais. Algumas dessas sondagens foram locadas próximas a poços de produção de água, para servirem de base na redução da ambigüidade da interpretação geoeletrica final.



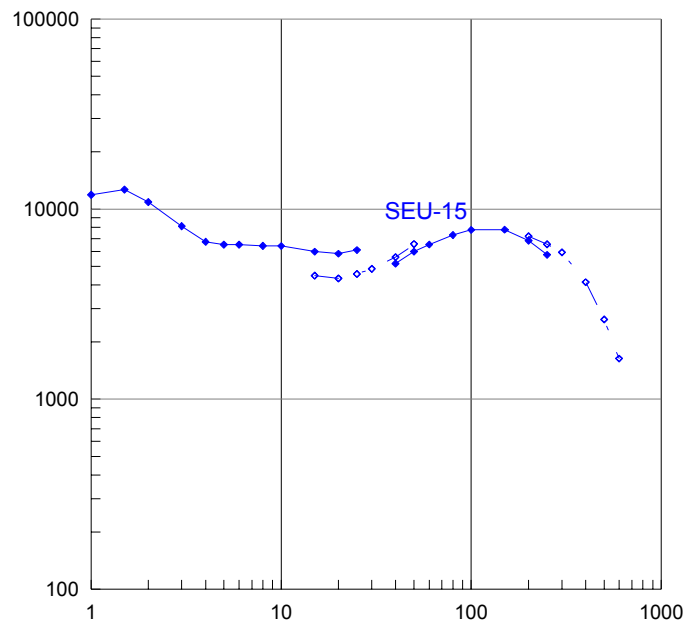
**Figura 19 – Mapa da função resistividade aparente observada com espaçamento AB/2 de 100m. As linhas pretas identificam alguns dos lineamentos estruturais.**

A Figura 19 é um mapa que mostra a variação espacial da função resistividade aparente observada na área estudada, para espaçamentos de corrente AB/2 de 100 m, o que reflete uma profundidade de investigação próxima de 50 m. Os valores de  $\rho_a$ , em geral, são muito elevados (acima de 2.000 ohm.m), indicando um subsolo de constituição arenosa, total ou parcialmente saturado com água de baixa salinidade. A resistividade cresce de modo regular de leste para oeste, principalmente em função do aprofundamento do nível freático do aquífero, no sentido indicado. Além disso, a existência de zonas com contornos fechados de iso-resistividades sugerem a presença de fortes contrastes elétricos laterais, possivelmente relacionados a estruturas regionais de blocos falhados. As linhas pretas na Figura 20 representam algumas das principais estruturas lineares e interpretadas como possíveis zonas de falhas. Portanto, mesmo da

função  $\rho_a$  bruta, é possível extrair informações qualitativas sobre variações litológicas, de conteúdo de água ou da presença de zonas locais de intensas variações laterais.

## 2.1 - Processamento e Interpretação dos Dados

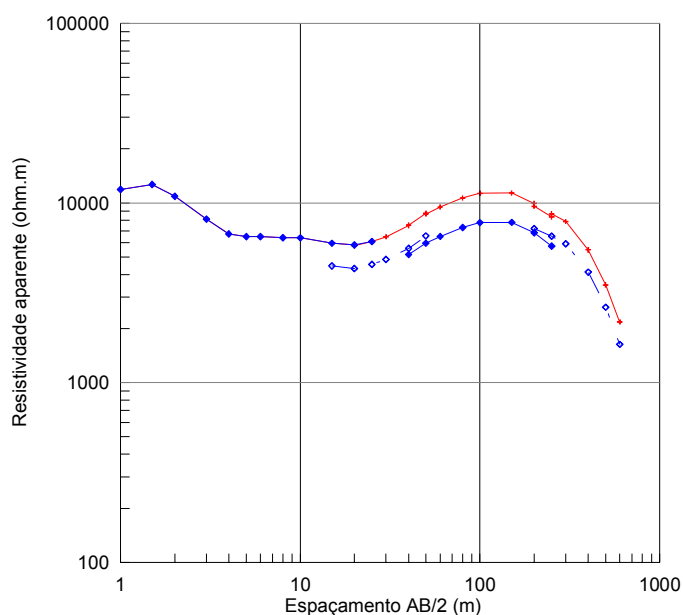
Praticamente todas as sondagens elétricas efetuadas na área apresentam comportamento regular e suave, compatível com modelos estratificados de camadas subhorizontais. Todavia, devido a variações laterais na resistência de contato com os solos subsaturados em água, algumas dessas curvas apresentam fortes deslocamentos de ramos quando da mudança dos eletrodos de potencial M e N, conforme representado na Figura 21. Para essas situações, foi aplicado um processamento de redução, de modo a deslocar numericamente os ramos afetados por quantidades constantes, conforme se mostra na Figura 21.



**Figura 20 – Dados observados nos três ramos da curva da sondagem elétrica SEU-15.**

Todas as sondagens elétricas executadas foram invertidas unidimensionalmente usando os softwares: (i) RES1D da Geotomo Softwares, para compor modelos estruturais iniciais a serem submetidos à inversão; (ii) RESIST 1.0, programa de domínio público elaborado por Vander Velper (1988) para efetuar a inversão não-linear

por mínimos quadráticos. Alguns dos resultados práticos obtidos são discutidos na seção que se segue:.



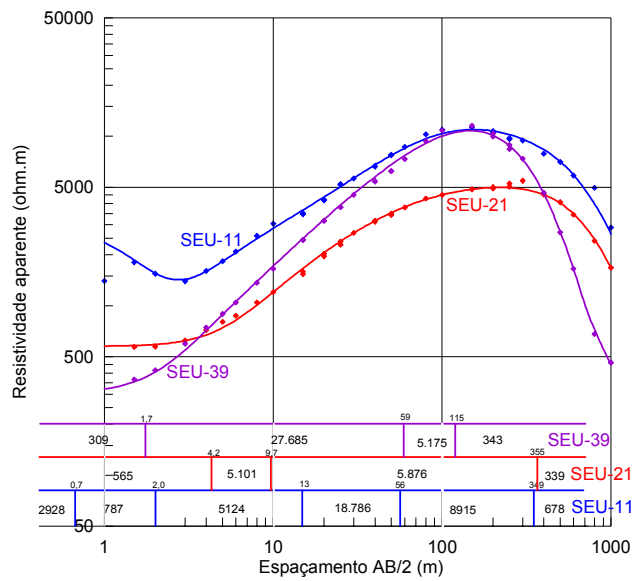
**Figura 21 – Dados corrigidos por suavização numérica da sondagem elétrica SEU-15.**

## 2.2 - Resultados Geoelétricos

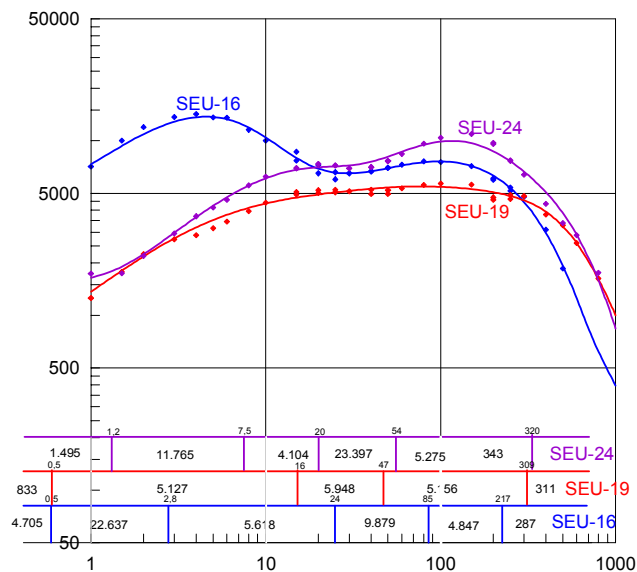
A maioria das curvas de sondagens obtidas tem a forma de uma dupla de colinas com uma depressão central refletindo, basicamente, as variações litológicas no Grupo Urucuia. As colinas correspondem a pacotes arenosos mais limpos sendo a primeira, geralmente representante da zona não-saturada do aquífero. A depressão central se deve a uma redução na resistividade do aquífero, associada a um aumento na argilosidade característico da Formação Serra das Araras. Quase todas as sondagens apresentam ramos terminais descendentes indicando a existência de um pacote regional muito mais condutor, interpretado como a Formação Geribá, suportando os pacotes mais arenosos.

As figuras 22 e 23 contêm gráficos representativos de algumas das sondagens elétricas invertidas unidimensionalmente usando os procedimentos computacionais mencionados (Vozoff, 1958; Koefoed, 1979). Em geral, apesar dos contrastes de resistividade elevados entre os diferentes horizontes da subsuperfície, as inversões foram satisfatórias em função do uso das informações de controle disponíveis. Nas

sondagens paramétricas, os dados de  $\rho_a$  foram ajustados, com erros médios quadráticos inferiores a 2%, se fixando a profundidade do nível freático e se ajustando os valores de resistividade das camadas até um limite de erro prefixado de 1%. Os dados observados (símbolos coloridos nos gráficos) se ajustam com muito boa precisão as curvas teóricas computadas para os modelos geoeletricos interpretados (curvas cheias). Os modelos finais para todas as sondagens realizadas, em termos de colunas verticais de resistividade versus profundidade, estão agrupados no documento Apêndice 1.

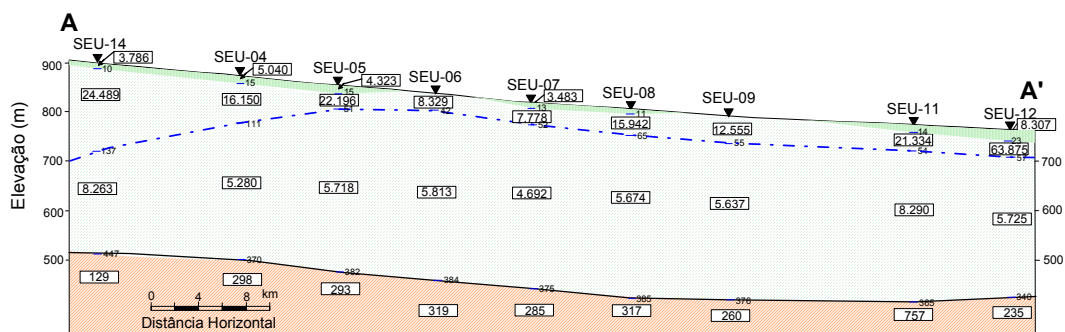


**Figura 22 – Exemplos de curvas de SEVs típicas da área e modelos interpretados.**



**Figura 23 – Exemplos de curvas de SEVs típicas da área e modelos finais interpretados.**

Cinco seções geolétricas transversais formadas por SEVs, equidistantes em média de 8 km, foram construídas para representar a estrutura geológica da área. As figuras 24 e 24 mostram as seções transversais A - A' e B - B', construídas, respectivamente, com 9 e 10 SEVs obtidas ao longo da rodovia Posse – Correntina orientada, praticamente, de sul-sudoeste para nordeste-leste. As duas seções combinadas mostram que a seqüência arenosa superior do Grupo Urucuia, é bem delgada no extremo leste do perfil, mas se espessa progressivamente em direção oeste, podendo alcançar, próximo à escarpa da Serra Geral, mais de 500m de espessura. O substrato do sistema aquífero é invariavelmente representado como um pacote muito condutor que, por controle dos dados dos poços MO-02 e PE-01, é interpretado corresponder a seqüência argilosa da Formação Geribá. Nas seções da metade da área para leste (Figs. 25 e 26), este pacote condutor repousa sobre litologias mais resistivas, interpretadas como carbonatos do Grupo Bambuí.



**Figura 24 – Seção geológica transversal A – A' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas.**

Uma expressão da estrutura transversal do sistema Urucuia está mostrada na figura 28, construída usando dados de oito SEVs. A seção cruza através da parte oeste da sub-bacia, onde o pacote arenoso atinge as maiores espessuras. Nesse caso, ao invés de uma estrutura uniformemente inclinada, aparecem duas grandes falhas com deslocamentos diferenciais estimados em 100 a 300 m, ao longo da seção. Essas falhas delimitam um “*graben*” ao longo do qual o pacote condutor e o substrato do Grupo Urucuia foram correspondentemente soerguidos.

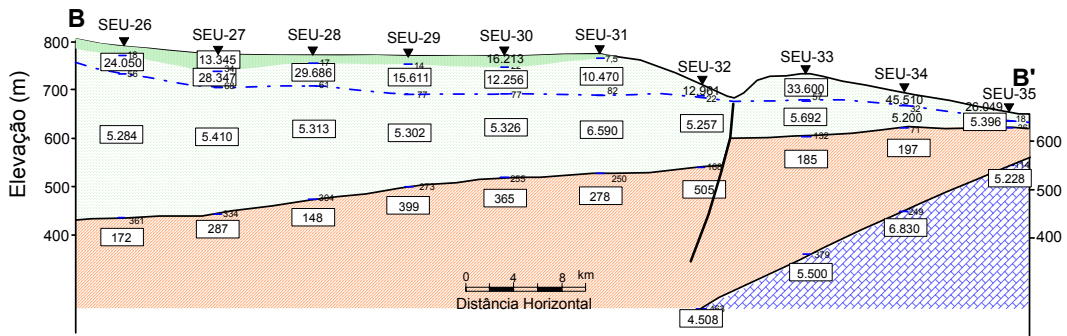


Figura 25 – Seção geológica transversal B – B' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas.

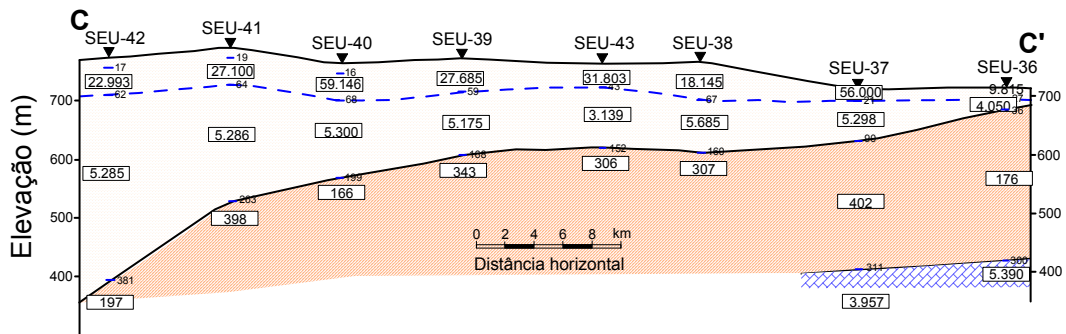


Figura 26 – Seção geológica transversal C – C' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas.

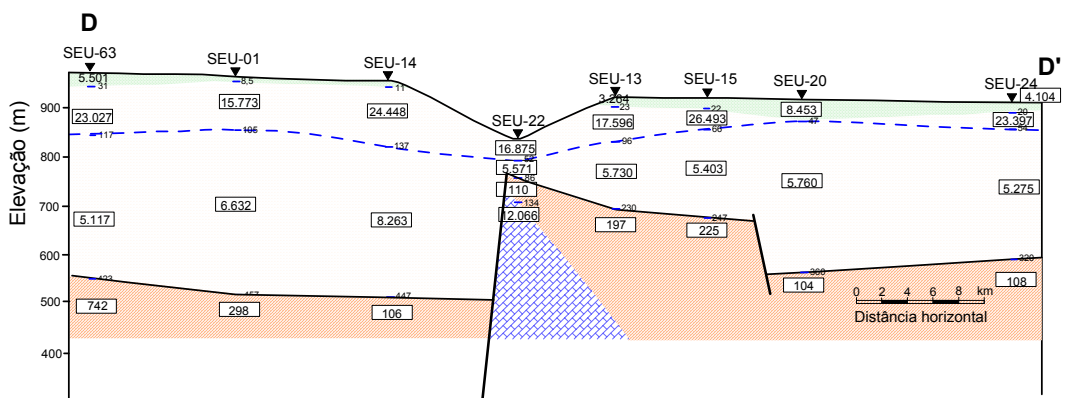
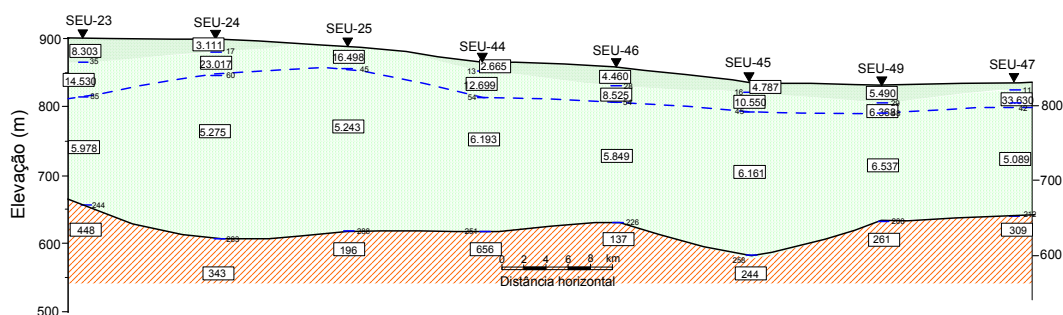


Figura 27 – Seção geológica transversal D – D' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas.

Em todas as seções construídas se observa que o nível estático das águas subterrâneas varia de menos de 20 m nas proximidades dos vales, a mais de 180 m próximo a Serra Geral, em estreita relação com a topografia do terreno. Tal comportamento, atesta um caráter regional não-confinado para o sistema aquífero. Ainda como aspectos hidrológicos importantes destacam-se: (i) as resistividades elevadas das camadas, em função do caráter muito doce de suas águas (salinidades menores que 200 mg/l, em geral); (ii) a espessa zona vadosa do sistema na parte mais alta do chapadão, que protege suas águas da evapotranspiração; (iii) a presença de um divisor interno no fluxo subterrâneo na bacia em posição diferente da do divisor das águas superficiais (Figuras 24 e 28).



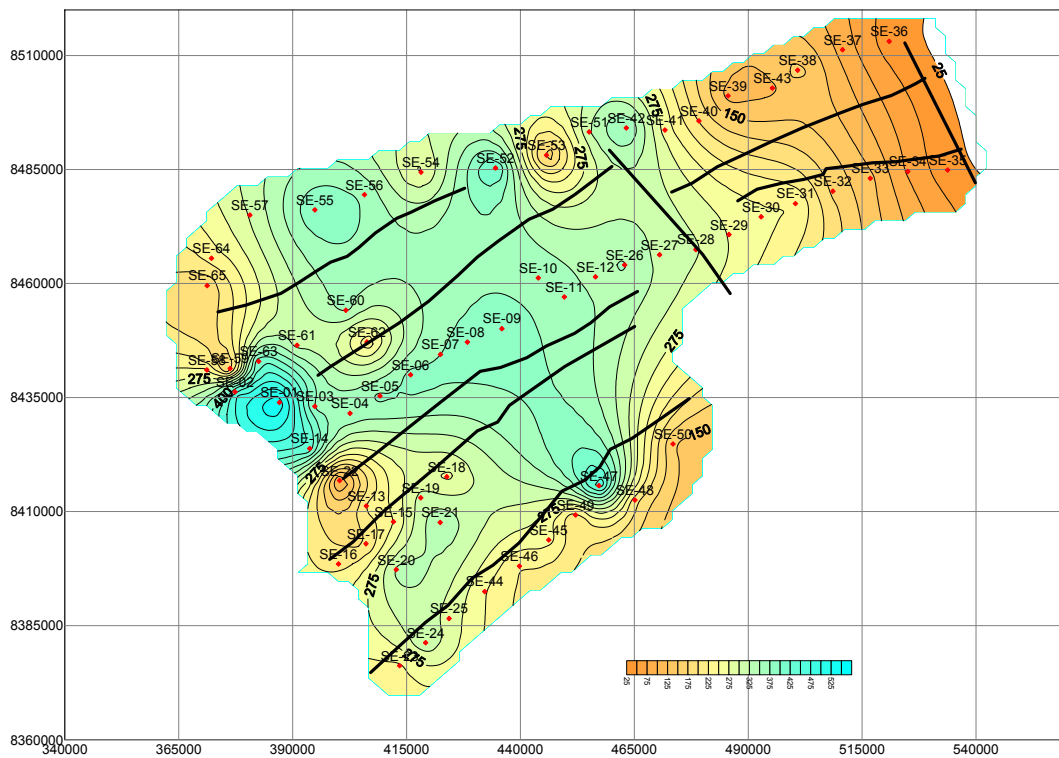
**Figura 28 – Seção geológica transversal E – E' construída com base nos dados das sondagens elétricas indicadas.**

A disposição espacial da superfície freática do aquífero está representada em mapa constante do relatório de Hidrogeologia. Ele foi construído com base em dados de poços, das sondagens elétricas verticais e dos padrões de afloramento da mesma nas drenagens. As linhas equipotenciais hidráulicas indicam haver, na área estudada, um forte relacionamento entre os fluxos superficial e subterrâneo. Todavia, se destaca a presença de uma zona de divergência, orientada praticamente de norte para sul dividindo o fluxo subterrâneo nas sub-bacia em duas partes: (i) uma, de maior extensão, na qual o fluxo ocorre de oeste para leste, em concordância com a drenagem superficial; (ii) outra, na qual o fluxo se processa em direção a Serra Geral dirigindo as águas subterrâneas para o estado de Goiás.

O mapa da figura 29 ilustra a configuração da topografia do substrato condutivo do sistema aquífero (topo da Formação Geribá). Ele define a orientação estrutural de uma extensa rampa de caimento geral para ENE, acompanhando o caimento da



superfície topográfica, perturbada por deslocamentos subverticais ao longo de falhas regionais, numa estrutura de blocos fallhados. É inferido que este pacote condutor atue como uma base impermeável para o aquífero.



**Figura 29 – Mapa de contorno da profundidade do substrato condutor na área das sub-bacias estudadas. As linhas pretas indicam alguns dos lineamentos.**

### 3. CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA

O estado da Bahia já foi objeto de vários levantamentos gravimétricos regionais conduzidos por diferentes organismos, tais como os da Petrobrás nas bacias do Recôncavo-Tucano-Jatobá (Petrobrás, 1969; 1970), e CPRM e IAG/USP em grandes áreas do estado (Molina *et al*, 1979; Gomes e Mota, 1980). O Observatório Nacional (ON) também tem realizado medidas gravimétricas absolutas para compor a rede nacional de estações gravimétricas (RENEGA). Algumas das estações da RENEGA estão sendo utilizadas para calibração do levantamento enfocado. Em adição, nos termos do contrato firmado, a CPRM transferiu para o CPGG/UFBA um Relatório Diagnóstico do Estado da Arte para a área do projeto, cujos dados foram úteis para

avaliar o conhecimento geofísico da área e planejar a estratégia de execução dos trabalhos de campo (CPRM, 2006).

Este projeto incluiu realização de um amplo levantamento gravimétrico regional objetivando auxiliar na análise da estrutura geológica do Aquífero Urucuia e de seu substrato, na área do entorno das sub-bacias estudadas. Este levantamento foi realizado conjuntamente com um levantamento geodésico usando GPSs diferenciais, para precisa definição das coordenadas geográficas das estações de medição. No total foram levantadas 565 estações, conforme ilustrado no mapa da figura 30. Os dados gravimétricos foram obtidos com uso de dois gravímetros Lacoste-Roberg, um cedido e operado no campo por técnico do Observatório Nacional/CNPq e outro cedido e operado por técnico do Centro de Geociências da UFPA, e um gravímetro Scintrex de propriedade do CPGG/UFBA.

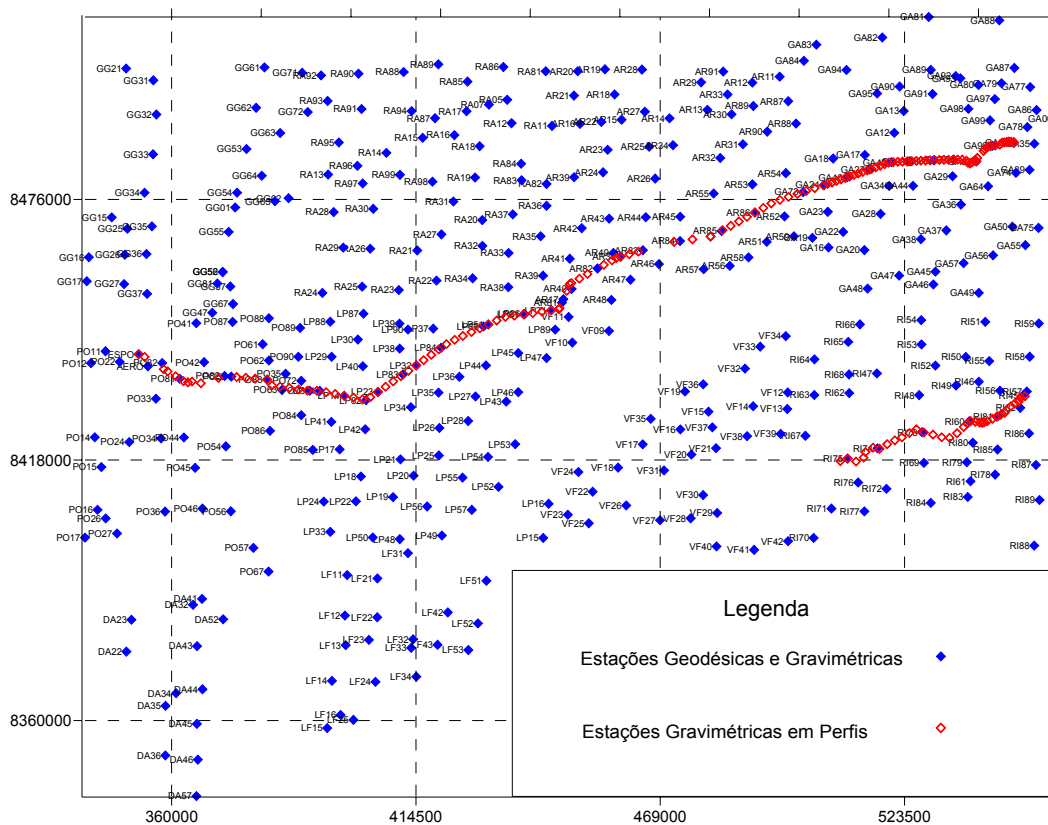


Figura 30 – Mapa mostrando a distribuição das estações gravimétricas e geodésicas levantadas na área do projeto.

Nesta seção são discutidos os resultados dos levantamentos plani-altimétricos e gravimétricos realizados na área de estudo, o processamento numérico de redução e a representação cartográfica dos dados adquiridos, assim como uma interpretação semi-quantitativa dos resultados gravimétricos, na forma de mapas e de perfis.

### **3.1 - Metodologia de Trabalho**

Os trabalhos referentes ao levantamento proposto foram efetivamente iniciados em Fevereiro de 2006. O levantamento completo envolveu um total de 85 dias de trabalho de campo, com pelo menos duas equipes trabalhando simultaneamente. A área do projeto foi subdividida em 10 quadrículas de  $\frac{1}{2}$  grau de lado referidas, no mapeamento do IBGE na escala de 1:100.000, pelas seguintes denominações: Guarani de Goiás, Rio Arrojado, Arrojolândia, Gatos, Posse, Lagoa do Pratudão, Vereda Funda, Rio Itaquari, Damianópolis e Lagoa do Formoso. Dentro de cada uma delas se estabeleceu o número médio de 50 estações de geodésia e gravimetria, regularmente equiespaçadas cerca de 8km entre si. O planejamento do trabalho de campo, em termos das estradas de todos os tipos a serem percorridas, drenagens, fazendas, vilas e cidades locais de pernoite, assim como todas as estações de referência disponíveis na área, foi configurado nos mapas plani-altimétricos na escala de 1:100.000 do IBGE, que constam do CDROM anexo ao presente relatório. Para orientar a navegação e fixar as estações nos trabalhos de campo foi usado um “notebook” com o pacote “Google Earth”. O sistema de referências adotado para todo o levantamento geodésico foi o WGS-84. O trabalho ora analisado, leva em conta informações de 565 estações adquiridas com os gravímetros do ON, na primeira campanha, do CPGG/UFBA nas primeira e segunda campanhas, e com o da UFPA na terceira campanha, respectivamente.

### **3.2 - Processamento e Redução dos Dados**

O posicionamento em campo das estações de levantamento foi efetuado com GPSs diferenciais usando transferência geodésica de estações complementares a partir de marcos de referência do IBGE referidos como SAT-93080, SAT-91655 e SAT-93168. Foram normalmente utilizados dois equipamentos GPSs, sendo um fixado numa estação da rede altimétrica do IBGE ou numa estação fixa transferida para cada quadrícula, e um móvel, ao longo dos caminhamentos. Foram usadas leituras contínuas

com 20 – 30 minutos de amostragem temporal dos sinais de satélites em cada estação, de modo que as precisões planimétrica e altimétrica alcançadas foram melhores do que 5m nas coordenadas geográficas, e 10cm na altitude elipsoidal.

Na coleta de dados GPS foram utilizadas as técnicas estática e “*stop and go*”, a primeira nas determinações de estações de apoio, e a segunda nas demais estações. Como o relevo, na maior parte da área, é aplainado e a cobertura vegetal é rala, isso favorece a aplicação da segunda técnica, com ganhos efetivos no tempo de rastreamento dos satélites. Diariamente, os dados adquiridos foram pré-processados (correção diferencial), de modo a garantir a qualidade dos dados durante o processamento final.

Os dados dos registros automáticos obtidos com os GPSs diferenciais foram devidamente processados, usando os “softwares” comerciais de ajuste Track-maker e Ashtech Solutions, pelos executores dos serviços especializados, devidamente contratados. Os dados de registro e os resultados plani-altimétricos computados nas três campanhas de campo estão especificados nas planilhas elaboradas para cada uma das quadrículas do levantamento considerado.

Para converter os dados altimétricos referidos ao elipsóide WGS-84, para altitudes ortométricas ou geoidais foi utilizado o seguinte procedimento. Através do aplicativo MAPGEO-2004, desenvolvido pelo IBGE, se calculou o valor da ondulação geoidal (N) de cada estação de medição. A altitude geoidal (H) de cada estação foi então calculada pela expressão  $H = h - N$ , com h sendo a altitude elipsoidal. As altitudes finais obtidas podem ter variações de  $\pm 1,0$  m, de acordo com a precisão do mapa geoidal construído pelo IBGE em torno da área do projeto.

Na aquisição dos dados gravimétricos foram utilizadas as estações de Santana e de Santa Maria da Vitória, que fazem parte da Rede Gravimétrica Brasileira e as de Correntina e Posse, transferidas pelo CPGG/UFBA utilizando, nas operações de transferência, três ocupações intermediárias em períodos de tempo de menos de 12 horas. Dessa forma, a precisão geral dos dados adquiridos é superior a 0,1 mgal.

As leituras gravimétricas com o sistema CG3M foram realizadas com 120 medidas a cada segundo, com atualização de média e desvio padrão a cada 12 medidas. O equipamento efetua automaticamente as correções de deriva, de maré e de inclinação das bolhas de nível X e Y. Os valores de gravidade observados em cada estação com o Lacoste-Romberg foram inicialmente corrigidos das seguintes variações sistemáticas e temporais: constante de calibração instrumental, altura da base do instrumento, derivas

estáticas e dinâmicas, e efeitos das marés terrestres. Os dados gravimétricos obtidos com o equipamento da UFPA foram corrigidos com a constante de calibração e os efeitos de deriva. A correção de maré foi realizada com programa desenvolvido pelo geofísico José Gouvêa Luiz da UFPA. Os dados da gravidade absoluta em cada estação levantada também constam das planilhas constantes do CDROM anexo. No cálculo da anomalia Bouguer foram incluídas as correções da gravidade teórica local, e as variações de ar livre e da placa Bouguer, usando um valor de densidade média estimada para as rochas sedimentares em  $2,56 \text{ g/cm}^3$ .

As correções de latitude, ar-livre e de Bouguer foram aplicadas aos dados medidos de gravidade absoluta para obter valores de gravidade Bouguer através da expressão,

$$g_B = g_A - g_T + c_B,$$

(9)

onde,  $g_B$  corresponde ao valor da gravidade Bouguer,  $g_A$  é o valor medido da gravidade absoluta,  $g_T$  representa a gravidade teórica na mesma latitude  $\varphi$  em radianos, e  $c_B$  representa as correções de ar-livre (que leva em conta as diferenças de elevação entre as estações) e de Bouguer (que inclui as atrações do material geológico entre as estações e o geóide), respectivamente. O valor da gravidade teórica é calculado pela seguinte equação

$$g_T = 978031,85(1 + 0,005278895 \text{sen}^2 \varphi + 0,000023462 \text{sen}^4 \varphi),$$

(10)

enquanto o fator combinado de correção  $c_B$  é dado por

$$c_B = (0,3086 - 2,56 \times 0,04185)H,$$

(11)

para pontos situados a uma elevação ortométrica H e uma cobertura crustal acima do geóide com massa específica de  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

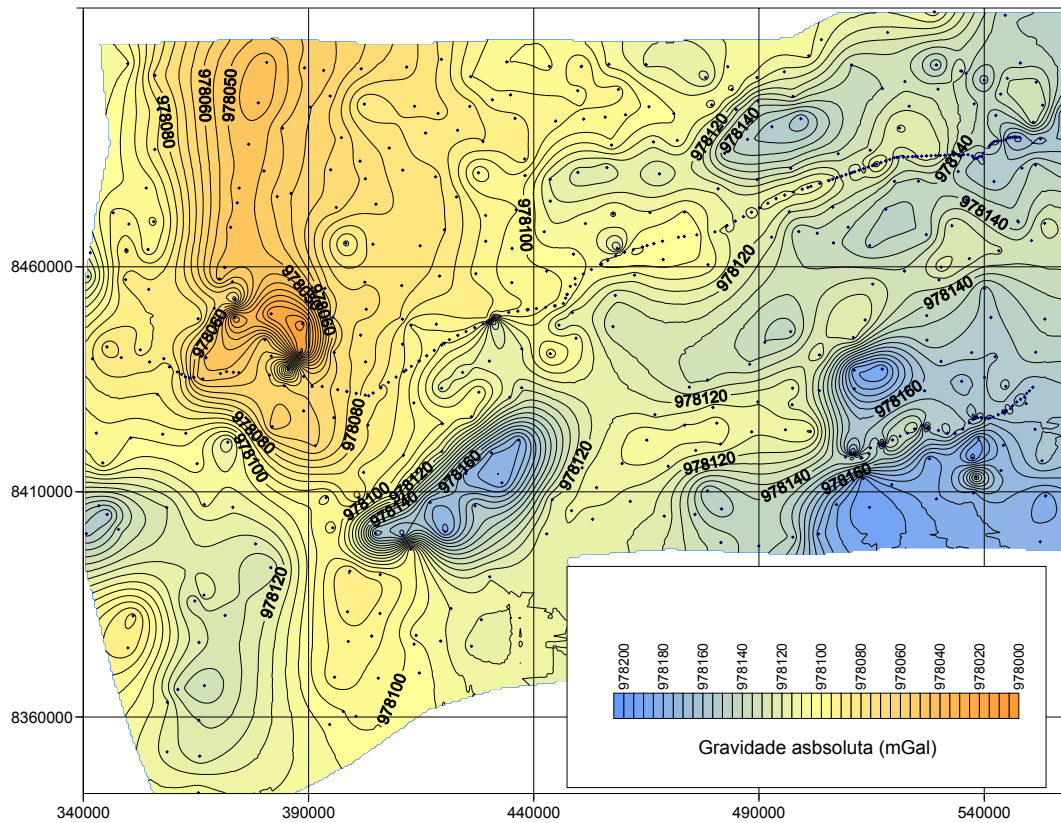
A correção de terreno é normalmente realizada subdividindo a região em torno de cada estação por pequenos corpos de geometria simples, de modo que se possa calcular facilmente sua atração. Usando os dados altimétricos geoidais foi construído um modelo digital do terreno para a área levantada, o qual foi estatisticamente calibrado usando o pacote Dapple da Geosoft e uma imagem DTM construída com dados de satélites georeferenciados.

As correções descritas acima, em sua forma final, foram efetuadas em computador, utilizando o software OASIS MONTAJ v 4.2 licenciado pela Geosoft para o CPGG/UFBA, em conformidade com o Termo de Referência estabelecido pela CPRM para este levantamento (CPRM, 2005). A separação regional residual foi efetuada de duas maneiras. A primeira por redução analítica com um ajuste polinomial gaussiano e a segunda tomando a segunda derivada de  $g$ .

### **3.2 - Resultados Gravimétricos**

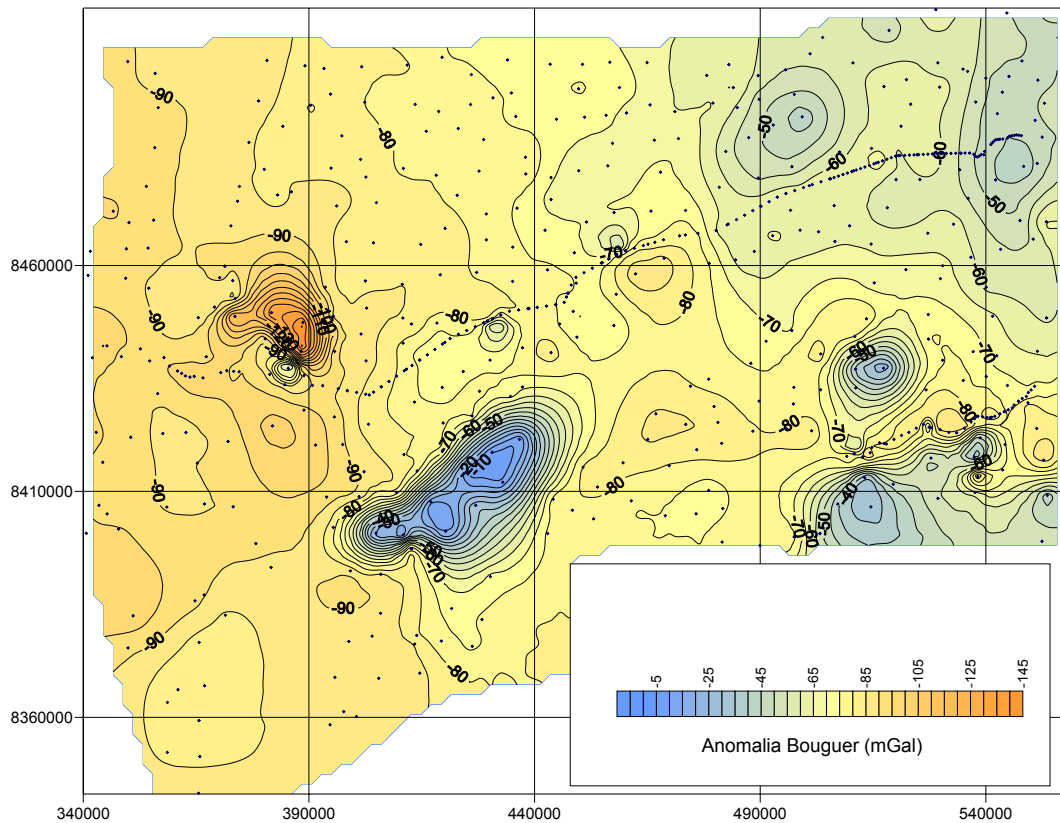
Conforme mencionado anteriormente os dados tratados no presente relatório estão distribuídos em dez quadrículas constituintes da área. Destas, seis estão praticamente atendendo ao esquema de distribuição da amostragem programado. Mas em quatro, por dificuldades de acesso, as folhas de Damianópolis (13), Guarani de Goiás (32), Lagoa do Formoso (20) e Vereda Funda (34) ficaram com densidades de amostragem mais baixas.

Os valores absolutos da gravidade observada nas 565 estações da área estão apresentados na forma de um mapa de contorno com imagem a cores na Figura 32. Esses resultados foram computados e representados graficamente usando o software SURFER 8. O mapa das anomalias gravimétricas Bourger construído do mesmo modo, consta da Figura 32. Na re-amostragem e interpolação dos dados das figuras 31 a 34 foi usado o procedimento estatístico da *krigagem* com as opções “default” do programa SURFER, adotando-se uma malha regular de 500 m de separação nas coordenadas horizontais. No processamento final global usando OÁSIS MONTAJ foi efetuada uma análise de dependência espacial mais rigorosa dos dados, com determinação de variogramas para melhor controlar o processo de *krigagem*.



**Figura 31 – Mapa de isovalores da gravidade absoluta na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso.**

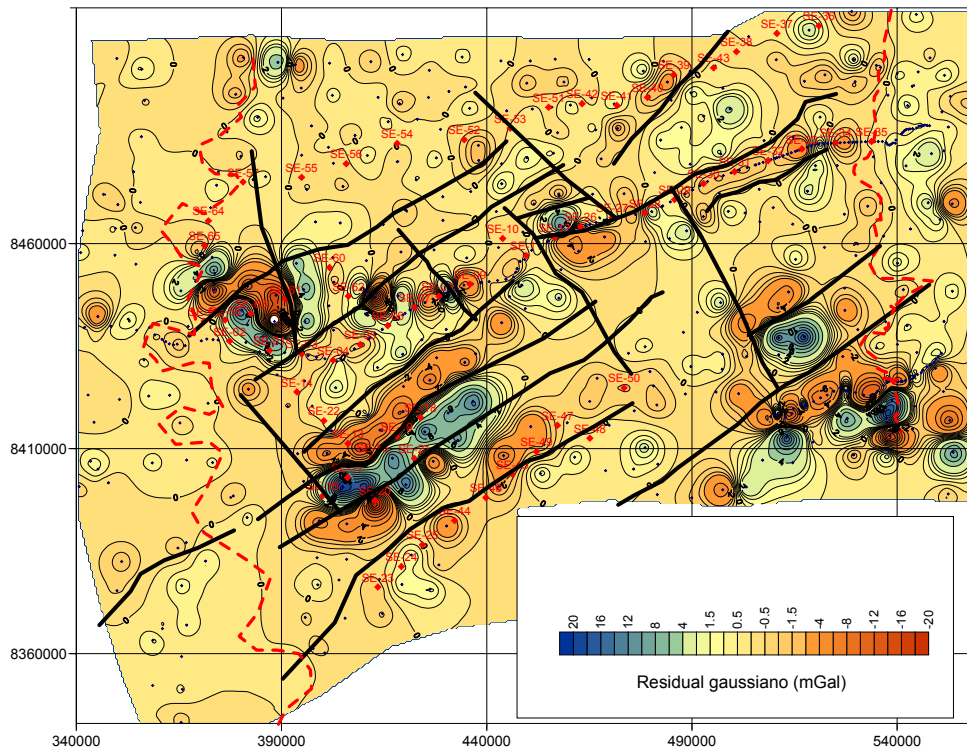
Na Figura 31 se verifica que os valores mais baixos de gravidade ocorrem no setor noroeste do mapa quase que demarcando o limite da Serra Geral de Goiás. Os valores crescem, em geral, de noroeste para sul e sudeste com oscilações locais ligadas a flutuações na profundidade do substrato cristalino mais denso. No mapa de anomalias Bourger (Figura 32), construído após as correções de ar livre, Bouguer e das irregularidades do terreno, se observa melhor as irregularidades na topografia do embasamento assim como a orientação geral dos principais lineamentos estruturais.



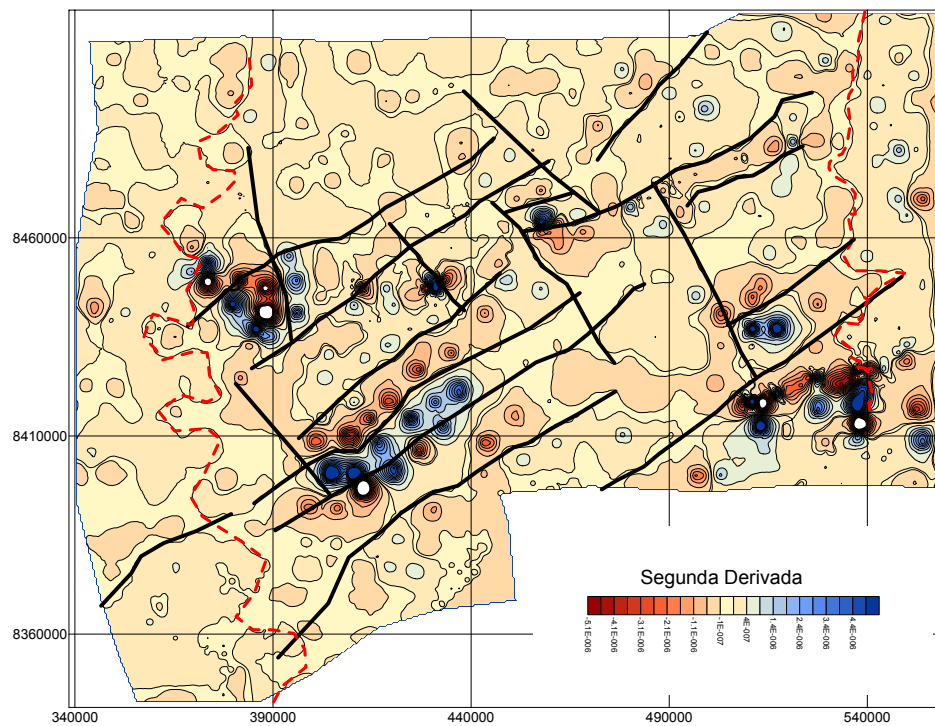
**Figura 32 – Mapa das anomalias gravimétricas Bouguer na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso.**

Nas figuras 33 e 34 estão mostradas as anomalias residuais produzidas pelas rochas e estruturas dominantes nas coberturas sedimentar e meta-sedimentar do embasamento cristalino, cujo efeito foi reduzido supondo um comportamento regional aproximado por um polinômio de primeiro grau. Nesses dois mapas estão demarcados os principais lineamentos do tipo falha, inferidos da geometria das anomalias. Essas feições são melhores demarcadas no mapa da Figura 34 pelos contornos nulos da segunda derivada de  $\Delta g$ . Se observa que tais lineamentos praticamente coincidem com linhas de drenagem superficial, suportando a hipótese de que as mesmas seriam estruturalmente controladas.





**Figura 33 – Mapa das anomalias gravimétricas residuais gaussianas, na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso.**



**Figura 34 – Mapa das anomalias gravimétricas residuais (segunda derivada de  $\Delta g$ ), na área das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso.**

#### 4. CONCLUSÕES

Os dados elétricos e gravimétricos adquiridos e usados neste trabalho, permitiram definir a estrutura regional do sistema aquífero Urucuia como um pacote permeável acunhado, com espessura saturada variando de cerca de 500 m ao longo de um alto divisor de fluxo a zero na porção leste terminal da bacia. Os resultados elétricos estão bem controlados por informações hidrogeológicas de poços e serviram de base para orientar a interpretação dos dados gravimétricos.

O Grupo Urucuia pode alcançar mais de 500 m de espessura, nas proximidades da escarpa da Serra Geral, diminuindo até zero na parte oriental das sub-bacias. Foi aqui dividido em três formações geológicas, designadas como Serra das Araras, Posse e Geribá, de características litológicas e geológicas distintas. Parece ter sofrido uma tectônica de ruptura, com falhas normais de 0 a mais de 300m de rejeito máximo. Tanto a geofísica elétrica quanto a de gravimetria revelam a presença de altos e baixos estruturais controlados por tal tectônica.

Dois comportamentos aquíferos distribuídos em profundidade foram identificados na sub-bacia: (i) um sistema de superfície livre, desenvolvido nos níveis arenosos superiores da Formação Urucuia; (ii) um sistema parcialmente confinado, nos mesmos arenitos do Urucuia, controlado por intervalos arenosos muito silicificados.

## BIBLIOGRAFICA

- Amorim Junior, V. e Lima, O. A. L., 2007, Avaliação hidrogeológica do Aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando resistividade e polarização elétrica induzida. *Rev. Bras. Geof.*, no prelo, Rio de Janeiro, RJ.
- Archie, G. E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics: *Trans. Am. Inst. Min. Engrs.*, 146, 54-67.
- Asquith, G. B., 1990, Log Evaluation of Shaly Sandstones: A Practical Guide. Continuing Education Course Note Series # 31, Am. Ass. Pet. Geol., Tulsa, OK, USA.
- Asquith and Gibson, 1982, Basic well Log Analysis for Geologists, AAPG, Methods in Exploration Series.
- Bahia. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Corrente: Documento Síntese. Salvador: 1995.
- Bomfim, L.F.C. & Gomes, R. A. D. AQUÍFERO URUCUIA – GEOMETRIA E ESPESSURA: IDÉIAS PARA DISCUSSÃO. In Cong. Brás. De águas subterrâneas. Cuiabá, Anais. 9p.
- Brasil, 1982, Projeto RADAMBRASIL, Folha SD 23, Brasília: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso da Terra. MME, Rio de Janeiro, RJ.
- CAMPOS, J. E. G. & DARDENNE, M. A.: Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociência*, 27(3), p.269-282, 1997.
- Campos, J.E.G & DARDENNE, M.A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997.
- Campos, J.E.G.; Dardenne, M.A. 1997. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. In: SNET-Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, Pirenópolis/ GO, 1997, SBG. Resumos: 159-161.
- CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES & DARDENNE, MARCEL AUGUSTE - Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências* 27(3):283-294, setembro de 1997.

- Campos, J.E.G.; Dardenne, M.A. 1999. Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Depositionais do Grupo Urucuia – Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. *Geociências*, São Paulo (1999), 18(2):481-499.
- CAMPOS, JOSE ELOI GUIMARAES; DARDENNE, MARCEL AUGUSTE- Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Depositionais do Grupo Urucuia - Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. *GEOCIENCIAS*, 18(2):481- 499, JUL/DEZ.1999.
- CPRM, 2005, Termo de Referência para Levantamento Geofísico no Aquífero Urucuia – Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Rio de Janeiro, RJ.
- CPRM, 2006, Diagnóstico do Estado da Arte dos Estudos Realizados na Área das Bacias dos Rios Arrojado e Formoso. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Rel. Tec., Salvador, BA.
- Campos, J. E. G. e Dardenne, M. A., 1997, Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana. *Rev. Bras. Geoc.*, 27, 269-282.
- Dardenne, M. A., 1978, Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. 30º Cong. Bras. Geol., 2, 568-610, São Paulo, SP.
- Gomes, R. D. e Mota, A. C., 1980, Projeto Levantamento Gravimétrico do Estado da Bahia. Serviço Geológico do Brasil, Serviço Geológico do Brasil, Conv. CPRM/DNPM, Rel. Tec., Salvador, BA.
- Ghignone, J. I., 1979, Geologia dos Sedimentos Fanerozóicos do Estado da Bahia. In: *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos*, v. 1, cap. 3, SME/COM, Salvador, BA.
- Koefoed, O. 1979. *Resistivity Sounding Measurements: Geosounding Principles. Methods in Geochemistry and Geophysics*. Elsevier. Amsterdam.
- Lima, E. A. L. e Leite, E. J. F. 1978. Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar Parnaíba: Integração geológico-metalogenética. Rel. DNPM/CPRM, 16v., Recife, PE.
- Lima, O. A. L. e Sharma, M. M., 1990, A grain-conductivity approach to shaly sandstones. *Geophysics*, 55, 1347-1356, USA.
- Lima, O. A. L. e Sharma, M. M., 1992, A generalized Maxwell-Wagner theory for membrane polarization in shaly sands. *Geophysics*, 57, 789-799, USA.

- Lima, O. A. L. e Nery, G. G., 1999, Determinação da resistividade elétrica de águas intersticiais usando perfilagem de potencial espontâneo. 6<sup>th</sup> Internat. Cong. SBGf, Expanded Abstract CDROM, Rio de Janeiro, RJ.
- Lima, O. A. L. e Sri Niwas, 2000, Estimation of hydraulic parameters of shaly sandstones from geoelectrical measurements. *Jour. Hydrol.*, 235, 12-26.
- Lima, O. A. L., Clennell, M. B., Nery, G. G. e Sri Niwas, 2005, A volumetric approach for the resistivity response of freshwater shaly sandstones. *Geophysics*, 70, F1-F10, USA.
- Meju, M. A., Fontes, S. L., Oliveira, M. B. F., Laterra, E. F., Ulugugerli, E. U. e Carrasquilla, A. G., 1999, Regional aquifer mapping using combined VES-TEM-AMT/EMAP methods in the semi-arid eastern margin of Parnaíba basin, Brazil. *Geophysics* 64, 337-356, USA.
- Molina, E. C., Ussami, N. e Maragoni Y. A., 1997, Digital 5'x5' gravity maps of the São Francisco Craton. IAG/USP, Pub. Esp., São Paulo, SP.
- Morais Filho, João Cardoso R. Programa de Levantamento Geológico Básico do Brasil. Coribe. Folha SD.23-X-C-V. Estado da Bahia. 1:100.000. Brasília, CPRM.1977.80p.il. mapa.
- Moutinho da Costa, L. A. 1976. Projeto Leste do Tocantins/Oeste do rio São Francisco – LETOS. DNPM/CPRM/PROSPEC, Rel. Final Integrado, Rio de Janeiro, RJ.
- Oliveira, M. A. M., 1967, Contribuição a geologia da parte sul da bacia do São Francisco e áreas adjacentes. Petrobras, Rel. Exp. 1, Rio de Janeiro, RJ.
- Pereira, P. A. e Lima, O. A. L., 2007, Estrutura elétrica da contaminação hídrica provocada por fluidos provenientes dos depósitos de lixo urbano e de um curtume, no município de Alagoinhas, Bahia. *Rev. Bras. Geof.*, no prelo, Rio de Janeiro, RJ.
- Petrobras, 1969, Levantamentos gravimétricos das bacia do Maranhão, Potiguar, Sergipe-Alagoas, Recôncavo-Tucano. Rel. de Exploração. Rio de Janeiro, RJ.
- Petrobras, 1970, Mapa Bourger das bacias do Recôncavo e Tucano Sul; Escala 1:100.000. Petrobras DEXBA, Salvador, BA.
- Schlumberger, 1989, Log Interpretation. Principle/Aplications. Schlumberger Educational Services, Houston TX, USA.
- Sgarbi, G.N.C.; Sgarbi,P.B.A.; Campos,J.E.G.; Dardenne,M.A.; Penha,U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro Fanerozóico da bacia do são Francisco. In:

- Bacia do São Francisco-Geologia e Recursos Naturais, 1a. ed. Belo Horizonte, SBG, 2001.
- Spigolon,A.L.D.; Alvarenga,C.J.S. 2002. Supersuperfície Urucuia: Um limite de sequência que separa o sistema eólico do sistema fluvial-eólico. n: Congresso Brasileiro de Geologia, 41, 2002, João Pessoa, SBG Nucleo Nordeste. Anais: 691-681.
- Spigolon,A.L.D.; Alvarenga,C.J.S. 2002. Fácies e elementos arquiteturas resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana, Brasil. Revista Brasileira de Geociências (2002), 32(4): 397 - 405.
- Spigolon,A.L.D.; Alvarenga,C.J.S. 2002. Fácies e elementos arquiteturas resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana, Brasil. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 6-Simposio sobre el Cretácico de America del Sur, 2, 2002, São Pedro-SP. Boletim, 1: 367 - 373.
- Spigolon, A.L.D.; Alvarenga, C.J.S. Superfície Urucuia: Um limite de sequência que separa o sistema eólico do sistema fluvial-eólico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBG, 2002. p.681-691.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. e Keis, D. A., 1976, Applied Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, R.U.
- Vozoff, K. 1958. Numerical resistivity analysis: Horizontal Layers. Geophysics 23: 536-556.
- Ward, S. H., 1990, Resistivity and Induced Polarization Methods. In: Ward, S. H., Ed., Geotechnical and Environmental Geophysics. Soc. Expl. Geophys., Tulsa OK, USA.
- Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R., e Gardner, G. H. F., 1956, Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. Geophysics, 23, 654-672.