GEORADAR

TERMINAL AQUAVIÁRIO DE BARRA DO RIACHO – TABR – ES

RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL
(Vol. I)

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO ---- 1

1.1- OBJETIVOS ---- 1
1.2- CONSIDERAÇÕES GERAIS ---- 2
1.2.1- HISTÓRICO ---- 2
1.2.2- ASPECTOS FISIOGRÁFICOS ---- 2
1.2.3- ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS ---- 2

2- LEVANTAMENTOS DE CAMPO E QUALIDADE DOS DADOS ---- 3

3- METODOLOGIA E AQUISIÇÃO DE DADOS ---- 5

3.1- AQUISIÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS ---- 5
3.1.1- PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA ---- 6
3.2- SONDAGENS ---- 7
3.2.1- AMOSTRAS DE SOLO ---- 8
3.3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLOS E SEDIMENTOS ---- 9
3.3.1- PROCEDIMENTOS DE COLETA – AMOSTRA INDEFORMADA ---- 9
3.3.2 - PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO ---- 9
3.3.3 - GRANDEZAS BÁSICAS DOS SOLOS – ÍNDICES FÍSICOS ---- 9
3.4- HIDROGEOLOGIA ---- 10
3.4.1 - POÇOS DE MONITORAMENTO ---- 10
3.4.2 – LIMPEZA E DESENVOLVIMENTO DOS POÇOS ---- 12
3.4.3 – MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA ---- 12
3.4.4 – VERIFICAÇÃO DE FASE LIVRE ---- 12
3.4.5 – ENSAIOS DE PERMABILIDADE (SLUG-TEST) ---- 13
3.4.6 – LEVANTAMENTOS HIDROQUÍMICOS ---- 15
3.4.6.1 – AMOSTRAGEM DE ÁGUA SOB BAIXA VAZÃO. ---- 15
3.6- GEOQUÍMICA E HIDROQUÍMICA ---- 18
3.6.1- EXTRAÇÃO E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS ---- 18
3.6.2- TPH, HPA e BTEX – MÉTODOS ANALÍTICOS ---- 18
3.6.3- COMPOSTOS INORGÂNICOS – MÉTODOS ANALÍTICOS ---- 19
3.6.3.1- AMOSTRAS GEOQUÍMICAS ---- 19
3.6.3.2- AMOSTRAS HIDROQUÍMICAS ---- 20
3.6.4 – COMPOSTOS DENSOS ---- 21
3.6.4.1- ANÁLISE DE PESTICIDAS (USEPA 8270B) ---- 22
3.6.4.2-ANÁLISE DE PESTICIDAS CLORADOS (USEPA 8081C) ---- 22
3.6.4.3-ANÁLISE DE GLIFOSATO (USEPA 547) ---- 22
3.6.4.4-ANÁLISE DE DIOXINAS E FURANOS (USEPA 8290) ---- 22
3.6.5- LIMITES DE DETECÇÃO ---- 23
3.6.6- VALORES ORIENTADORES DOS LIMITES DE INTERVENÇÃO ---- 23

4- RESULTADOS ---- 23

4.1- CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA ---- 23
4.2 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA ---- 26
4.2.1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS ---- 26

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.2.1.1- TPH, HPA e BTEX ---- 26
4.2.1.2 – COMPOSTOS COMPLEMENTARES ---- 26
4.2.1.3 – METAIS ---- 28
4.2.1.4 – PCBs e GLIFOSFATO ---- 28
4.2.1.5 – PESTICIDAS ---- 28
4.2.3.6- DIOXINAS e FURANOS ---- 29
4.3 - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA ---- 29
4.3.1 PIEZOMETRIA E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS ---- 30
4.4 - CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA ---- 31
4.4.1 - CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS ---- 31
4.4.2 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS ---- 32
4.4.3 – ANÁLISES HIDROQUÍMICAS ---- 33
4.4.3.1 – TPH, HPA e BTEX ---- 33
4.4.3.2 – COMPOSTOS COMPLEMENTARES ---- 33
4.4.3.3 – METAIS TOTAIS E SOLÚVEIS ---- 33
4.4.3.4 – PCBs e GLIFOSFATO ---- 35
4.4.3.5 – PESTICIDAS ---- 35
4.4.3.6 – CLORETO, SULFATO, NITRATO ---- 36
4.4.3.6 – DIOXINAS E FURANOS ---- 36
4.5 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQÜÍFEROS ---- 41

5 – CONCLUSÕES ---- 43

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ---- 45

FIGURAS 01 a 69

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

GEORADAR

TABELAS

TABELA (01) ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE SOLO DE TPH, HPA e BTEX
(a) POÇOS DE MONITORAMENTO – PM

TABELA (02) ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE SOLO DE COMPOSTOS COMPLEMENTARES
(a) POÇOS DE MONITORAMENTO PROFUNDOS – PM

TABELA (03) ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE SOLO DE METAIS
(a) POÇOS DE MONITORAMENTO PROFUNDOS – PM

TABELA (04) ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE SOLO DE PCBs e GLIFOSFATO
(a) POÇOS DE MONITORAMENTO PROFUNDOS – PM

TABELA (05) ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE SOLO DE PESTICIDAS
(a) POÇOS DE MONITORAMENTO PROFUNDOS – PM

TABELA (06) ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE SOLO DE DIOXINAS e FURANOS
(a) POÇOS DE MONITORAMENTO PROFUNDOS – PM

TABELA (7) ANÁLISES HIDROQUÍMICAS POÇOS DE MONITORAMENTO – PM
(a) TPH, HPA e BTEX
(b) COMPOSTOS COMPLEMENTARES
(c) METAIS TOTAIS e METAIS SOLÚVEIS
(d) PCBs e GLIFOSFATO
(e) PESTICIDAS
(f) PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS COMPLEMENTARES
(g) DIOXINAS E FURANOS

ANEXOS
(Vol. II)

ANEXO 01 – MAPAS DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO E PLANILHAS DE QUANTITATIVO.

ANEXO 02 – RELATÓRIO DE TESTES GEOFÍSICOS.

ANEXO 03 – PERFIS DE SONDAGENS E POÇOS DE MONITORAMENTO.

ANEXO 04 – ENSAIOS HIDROGEOLÓGICOS.

ANEXO 05 – LAUDOS LABORATORIAIS.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

GEORADAR

(Vol. I)

TERMINAL AQUAVIÁRIO DE BARRA DO RIACHO – TABR, ES

RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL

1- INTRODUÇÃO

A área investigada pertencente à CODESA (Companhia Docas do Espírito Santo) se localiza próximo à cidade de Barra do Riacho, Figura 01, estado do Espírito Santo, a aproximadamente 150km da capital Vitória. A referida área está sendo pleiteada pela Petrobras para utilizar as instalações do terminal portuário.

No Porto de Barra do Riacho funciona um terminal especializado na movimentação de celulose em fardos (PORTOCEL), sal e madeira. Possui bacia de evolução com 180m de raio e calado de 12m e conta com acesso rodoviário e ferroviário.

A área investigada ocupa cerca de 225.000m^2, Figura 02, e está localizada a oeste das instalações industriais da Aracruz Celulose e a sudoeste do terminal portuário da Portocel.

1.1- OBJETIVOS

As investigações realizadas visaram à obtenção do diagnóstico geoambiental na área pertencente CODESA, pretendida para a implantação do Terminal Aquaviário de Barra do Riacho. Nesse intuito, foram investigados o solo e a água subterrânea locais, visando identificar a presença de quaisquer compostos contaminantes, hidrocarbonetos, pesticidas, dioxinas, furanos e/ou metais, etc.

O estudo contou com métodos diretos e indiretos de investigação, dentre os quais foram aplicados levantamentos geofísicos como *GPR-Ground Penetrating Radar* e *SEVME* - Sondagem Elétrica Vertical Multieletrodos, além de levantamentos de dados hidroquímicos e geoquímicos e de dados litológicos e hidrogeológicos obtidos nas sondagens efetuadas.

Os levantamentos geofísicos contribuíram com imagens elétricas e eletromagnéticas de sub-superfície, enquanto os dados geoquímicos e físico-químicos das águas forneceram medições diretas dos constituintes naturais ou potencialmente contaminantes, em amostras de solo e de água, coletadas mediante furos de sondagem e poços de monitoramento.

A caracterização geológico-estrutural foi de fundamental importância para a definição da geometria dos domínios hidrogeológicos da área, bem como permitiu a concepção de um modelo hidrogeológico conceitual e sua dinâmica de fluxo subterrâneo, visando o reconhecimento e a definição das potenciais fontes de

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

contaminação eventualmente existentes e seu impacto sobre a qualidade das águas e respectivo risco ambiental.

1.2- CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.2.1- HISTÓRICO

O Porto de Barra do Riacho foi construído na década de 70, durante a expansão do complexo Portuário do Espírito Santo, enquanto o complexo industrial da Aracruz opera em Barra do Riacho desde 1978, sendo composto por três fábricas, que possuem atualmente a capacidade de produzir 2,1milhões de toneladas de celulose branqueada de eucalipto.

As operações da Aracruz para produção de celulose envolvem várias etapas, desde a preparação da madeira para produção de popa até a fase final que é a preparação dos fardos de celulose para o transporte. Neste processo industrial ocorrem etapas como a remoção da lignina da popa produzida a partir da separação das fibras do eucalipto e branqueamento da popa.

1.2.2- ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

Os tipos de vegetação que ocorrem atualmente na área são porções secundárias de mata atlântica, restinga, brejo e trechos com plantações de eucaliptos. A restinga ocorre próximo à praia e nas porções arenosas, o brejo ocupa uma depressão localizada na porção central da área, e a superfície restante é preenchida por mata atlântica secundária e plantações de eucaliptos.

O clima é tropical úmido, as precipitações são bem distribuídas ao longo de todo ano, não ocorrendo uma estação de seca, a temperatura média máxima é de 29,5ºC e a mínima de 19,5ºC.

1.2.3- ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A área em estudo insere-se no contexto geológico da porção terrestre da Bacia do Espírito Santo, representada por sedimentos inconsolidados do Quaternário e do Grupo Barreiras, que recobrem o embasamento cristalino Pré-Cambriano constituído por charnockitos, gnaisses e metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul, Figura 03.

O Complexo Paraíba do Sul, de idade Neoproterozóica, é constituído por charnockitos, gnaisses, kinzigitos, meta-calcários, quartzitos e xistos. Este complexo está associado ao Orógeno Araçuaí, um evento compressional constituído por um sistema de empurrões com vergência para NW, datado de 520 Ma através do método U-Pb em veios migmatíticos sintectônicos. Este Orógeno compõe os eventos tectônicos que correspondem ao Brasiliano, evento este que é responsável pela colagem de diversos terrenos que formam a plataforma sul-americana.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

O Grupo Barreiras pode ser subdividido informalmente em duas unidades: Unidade Inferior e Unidade Superior. Os sedimentos da Unidade Inferior apresentam-se inconsolidados, mal selecionados, constituídos por camadas tabulares de arenitos arcoseanos estratificadas, arenitos cascalhosos e sedimentos argilosos e siltosos. Esta unidade foi associada a um sistema fluvial entrelaçado, depositado sob condições semi-áridas. A Unidade Superior foi descrita como um conjunto de camadas predominantemente areno-argilosas, argilo-arenosas e argilo-siltosas, mostrando laterização em diferentes níveis, assim como estratificações incipientes (Tâmara, 1995 *in* Morais 2005)

De acordo com FERRAZ *et al.* 2005, o Grupo Barreiras foi depositado a partir da dissecação dos remanescentes da Superfície Sul Americana decorrente de um soerguimento Pliocênico de intensidade inferida de até 300 metros.

A cobertura de sedimentos inconsolidados que constituem o Quaternário é de origem fluvio-deltáica: areia, argila e cascalho.

2- LEVANTAMENTOS DE CAMPO E QUALIDADE DOS DADOS

Visando cobrir as investigações de modo representativo em toda a área em pauta, foram realizadas:

- Seções GPR – *Ground Penetrating Radar*, em levantamentos bidimensionais (2D), Seções SEVME – Sondagem Elétrica Vertical Multieletrodos.
- Sondagens utilizando sonda rotativa;
- Completação de poços de monitoramento dispostos em zonas com melhor representatividade em termos de fluxo montante e jusante, de conformidade com a norma NBR13895;
- Amostragens geoquímicas e hidroquímica, seguidas de análises químico-quantitativas de compostos orgânicos e inorgânicos;
- Coleta de amostra indeformada de solo em horizontes diferenciados;
- Tratamento e interpretação dos resultados, avaliações hidrogeológicas.

O Quadro 01 apresenta um resumo dos quantitativos dos diversos levantamentos realizados em campo, para a área de trabalho. Tais quantitativos foram acordados com o Contratante, quando do planejamento dos levantamentos. O Anexo 01 apresenta em detalhe todos os mapas contendo a distribuição dos levantamentos.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Metodologia / Área			Terminal Barra do Riacho
Geofísica	GPR	2D (km)	5,5
	SEVME	Seções	5
Amostras	Solo		33
	Água		11
Poços de Monitoramento	Quantidade		11
	metragem		113,5
Hidrogeologia	Nº Testes/Slug		11

Quadro 01– **Quadro Físico dos Levantamentos de Campo**

As Figuras 04 a 05 trazem os detalhes das operações e equipamentos que constituíram os levantamentos de campo na área trabalhada.

A qualidade dos levantamentos *Ground Penetrating Radar* – GPR – mostrou-se razoável para os refletores do Grupo Barreiras, que se apresentam bem definidos e exibindo um bom contraste entres as intercalações dos sedimentos arenosos, argilosos, areno-argilosos e argilo-arenosos.

A qualidade das Sondagens Elétricas Verticais Multieletrodos (SEVME) revelou-se muito boa, já que os paramentos utilizados buscavam uma investigação em torno de 25m de profundidade, reproduzindo com nitidez as características resistivas e condutivas dos materiais e seus contrastes. Os sedimentos mais arenosos apresentam uma resistividade mais elevada, ao contrário dos sedimentos argilosos que apresentam uma resistividade mais baixa.

Os métodos de GPR e SEVME, integrados à avaliação geoquímica e aos resultados das sondagens, mostraram-se eficientes, rápidos, seguros e adequados ao diagnóstico geoambiental realizado. Permitindo o correto direcionamento, assim como a racionalização das sondagens e das análises geoquímicas e, sobretudo, a incorporação de um grande número de interpretações interativas, que aumentam sobremaneira a precisão e a coerência das interpretações realizadas. Os resultados da interpretação Radar-Estratigráfica mostraram consistência horizontal e vertical, assim como coerência com os dados levantados pelas Seções de SEVME, Sondagens e Dados Geoquímicos.

Os poços de monitoramento foram locados de modo adequado e representativo para a área de estudos, pois forneceram também amostras de solo para análise geoquímica, e sua completação, possui um correto posicionamento dos revestimentos, filtros e pré-filtros, apresentando perfis construtivos de boa qualidade, com o que propiciou uma amostragem de água representativa e de boa qualidade, bem como adequados procedimentos dos ensaios hidrogeológicos efetuados.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

As análises laboratoriais mostraram-se de boa qualidade, refletindo não só os critérios técnicos estabelecidos pelo contratante, quando da proposição dos trabalhos, como os critérios técnicos recomendados pelas normas nacionais e internacionais de controle.

A interpretação dos dados hidroquímicos foi efetuada mediante o emprego de técnicas usuais aplicadas à Hidrogeologia Ambiental, de modo integrado com os dados geológico-estruturais, correlacionados à hidrogeologia regional e local, além de dados geoquímicos e informações litológicas de sub-superfície, propiciadas pelos furos de sondagem e perfuração dos poços de monitoramento.

3- METODOLOGIA E AQUISIÇÃO DE DADOS

O presente trabalho contou com as seguintes fases seqüenciais:

- Levantamentos de Dados GPR-2D e SEVME, para avaliação do arcabouço bidimensional da área, com mapeamento bidimensional de feições gerais e de detalhe;

- Perfuração de poços com respectiva descrição do perfil litológico; amostragem de solo e do material perfurado para análises geoquímicas;

- Completação de Poços de Monitoramento e Avaliações Hidrogeológicas;

- Análises Geoquímicas e Hidroquímicas no arcabouço supracitado, para confecção dos mapas integrados.

Todas as planilhas dos levantamentos de campo realizados (GPR-2D, SEVME e Poços de Monitoramento), em forma de mapas estão contidas no Anexo 01. A Tabela de Quantitativos dos Levantamentos de Campo foi apresentada no item 02 (Quadro 01).

Nesse trabalho, foi implantado um sistema de banco de dados automatizado (SIG) para controle ambiental dos sítios, possibilitando acesso imediato à visualização do banco de dados, formado por mapas elaborados a partir do resultado das análises químicas da área em questão e permitindo re-interpretações interativas, à luz de qualquer novo resultado.

3.1- AQUISIÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS

Com a finalidade de definir os parâmetros de aquisição foram realizados diversos testes experimentais com o GPR RAMAC onde foram utilizadas antenas de diferentes freqüências (100MHz e 200MHz), diferentes intervalos de tempo de gravação (comprimento do registro) e empilhamento de traços (stacks). A Profundidade de investigação desejada para o projeto foi definida de acordo com o objetivo de cada área. O relatório dos testes geofísicos executados encontra-se no

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Anexo 02. Esses testes orientaram na escolha dos parâmetros serem utilizados no levantamento 2D.

Os testes de CMP foram realizados nos mesmos locais das linhas testes, com o objetivo de definir a velocidade média do meio, determinando assim um melhor ajuste na conversão tempo profundidade no processamento de dados.

Os parâmetros escolhidos para os levantamentos 2D:

- Freqüência de antena de 100 MHz
- 650 amostras
- 1172 de freqüência de amostragem
- 432 de janela de tempo para a antena de 100MHz
- 16 stacks
- 0,2 espaçamento de traços

Os arranjos de aquisição, bem como os comprimentos de cabo utilizados nos levantamentos SEVME foram voltados principalmente ao detalhamento da camada de sedimentos inconsolidados e das camadas de sedimentos que constituem o Grupo Barreiras. Para o método da eletrorresistividade (SEVME) o equipamento utilizado foi o ABEM modelo SAS 4000. Para os testes, foram executadas linhas com arranjo Wenner (08 layers), Dipolo-Dipolo (12 layers) e Schlumberger (16 layers), com 3,9m de espaçamento entre eletrodos. O Anexo 02 apresenta os parâmetros utilizados nos testes executados.

Em função dos testes realizados optou-se pelo arranjo Wenner, que se mostrou mais adequado para o objetivo da investigação, com comprimento de cabo de 160m, e com espaçamento de eletrodos de 3,9.

O Anexo 03 traz os parâmetros de aquisição utilizados nos levantamentos geofísicos SEVME e GPR 2D.

3.1.1- PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA

Os dados geofísicos, após serem adquiridos, foram processados e, em seguida, interpretados de modo a se obter perfis de controle para as interfaces que constituem o arcabouço geológico da área estudada: sedimentos inconsolidados e Grupo Barreiras.

A velocidade utilizada durante o processamento dos dados GPR foi definida, durante a aquisição de campo, pela técnica CMP (*Common Mid Point*) e, durante o processamento, pela pesquisa em painéis de velocidade. Tal velocidade de migração e de correção tempo-profundidade se apresenta relativamente alta, variando em torno de 65m/ns, sendo compatível com rochas sedimentares.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

O processamento dos dados 2D contou com as seguintes etapas: Conversão de Formato, Ajuste para o Tempo Zero, Remoção de baixas freqüências (*dewow)*, Filtro de Freqüências (Passa Banda), Remoção de Ruído de Fundo (b*ackground*), Migração FK, Correções Topográficas, Conversão Tempo-Profundidade e Saída em Formato SEG-Y.

Para o processamento das seções de SEVME foi utilizado o software Res2Dinv, que obtém as resistividades elétricas verdadeiras a partir das seções de resistividades aparentes, para isto é realizada a inversão Jacobiana recursiva com filtragens e remoção de resistividades espúrias, desta forma o erro é estabilizado na menor faixa possível.

As inversões jacobianas utilizadas no processamento dos dados apresentaram boa convergência, com erros médios menores ou iguais a 10%. Erros maiores estão ligados às divergências de resistividades aparentes oriundas dos *off sets* mais distantes, devido aos desvios de percurso da corrente elétrica, naturais em terrenos heterogêneos.

Na rotina de processamento das seções SEVME destacam-se as seguintes operações:

- Eliminação de pontos com valores claramente errôneos de resistividade, devido á falhas no aparelho ou com um fraco contato entre o eletrodo e o solo;
- Reversão da posição para que as seções paralelas tenham o mesmo início e fim;
- Mudança na localização do primeiro eletrodo, normalmente zero, para que a contagem da distância entre os eletrodos comece de uma mesma origem;

As inversões jacobianas utilizadas no processamento dos dados apresentaram boa convergência, com erros médios menores ou iguais a 10%. Erros maiores estão ligados às divergências de resistividades aparentes oriundas dos *off sets* mais distantes, devido aos desvios de percurso da corrente elétrica, naturais em terrenos heterogêneos.

Os trabalhos de interpretação foram realizados em Estação de Trabalho Interativa (*Workstation*) ou Estação Especialista, que utiliza um Sistema Recursivo Especialista para interpretação dos dados.

3.2- SONDAGENS

Ao todo foram executadas 11 sondagens, com profundidade variando de 6,5 a 23,5 metros, sendo utilizada uma perfuratriz alimentada por um compressor de ar comprimido, garantindo desta forma que não ocorresse contaminação por eventual utilização de fluido para perfuração.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

As sondagens realizadas tiveram a finalidade de descrição geológica, coleta de amostras de solo em diferentes níveis de profundidade, para análise geoquímica, além da instalação de poços de monitoramento com a finalidade de coleta de água para análise hidroquímica.

As Planilhas 01 e 02 (Anexo 04) trazem informações sobre cada uma das sondagens tais como localização, profundidade final e os tipos de amostragens realizadas. A síntese da coluna geológica é apresentada nas figuras referentes ao perfil das sondagens que serão comentados adiante, no decorrer da descrição geológica da área. Todos os perfis das sondagens efetuadas encontram-se apresentados no Anexo 04.

3.2.1- AMOSTRAS DE SOLO

Os recipientes utilizados na coleta de amostras, com vistas às análises químicas de solo (geoquímicas), foram submetidos a um procedimento de limpeza até alcançarem um grau de pureza geoquímico. Os frascos foram lavados e devidamente testados após a limpeza de modo a garantir o grau geoquímico dos mesmos. Como procedimento sistemático e usual, antes do envio do material para o campo é feito um *rinse* cujo extrato é posteriormente controlado através da análise por cromatografia a gás com detector de ionização por chama (CG-FID).

A escolha do frasco de coleta depende da análise a ser efetuada. Os recipientes utilizados estão descritos no Quadro 02. As amostras são introduzidas nos recipientes utilizando-se espátulas de aço inoxidável (para as amostras sólidas) e funil de vidro (para as amostras líquidas), quando necessário.

Frasco	Matriz	Análise
Frasco de Vidro com revestimento de Teflon® na tampa	Sedimento e Solo	HTP, HPAs, alcanos, MCNR, PCBs, Pesticidas, Dioxinas e Furanos
Frasco Nalgene® de Polipropileno com capacidade para 500 mL	Sedimento e Solo	Metais

Quadro 02 – **Recipientes Utilizados na coleta de Amostras**

Nos procedimentos de coleta e acondicionamento do solo são contemplados os seguintes procedimentos:

1. Forrar a área ao redor do furo com plástico;
2. Retirar as rochas ou sedimentos da concha e dispor sobre o plástico;
3. Calçar as luvas;
4. Retirar a amostra e acondicionar em recipientes de vidros enviados pelo laboratório;
5. Etiquetar o vidro de maneira permanente, contendo os seguintes parâmetros: nome do projeto, nome do furo, data e intervalo de amostragem;

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

6. Vedar a etiqueta e a tampa do vidro com fita adesiva grossa;
7. Descartar a luva e o plástico ou papel utilizado no apoio a amostra em local apropriado;
8. Colocar os vidros e/ou garrafas de amostras dentro do isopor ou *cooler*;
9. Colocar o gelo dentro do isopor ou *cooler* e manter a temperatura adequada em 4ºC;
10. Preencher as guias de remessa (Cadeia de Custódia) de acordo com o padrão estabelecido, garantindo seu recebimento dentro do prazo de validade e em condições ideais para análise, assim como a total rastreabilidade das mesmas.

3.3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLOS E SEDIMENTOS

3.3.1- PROCEDIMENTOS DE COLETA – AMOSTRA INDEFORMADA

O procedimento, baseado NBR 9813-ABNT, tem como objetivo estabelecer um sistema integrado de rotinas e padrões a serem utilizados pela equipe da GEORADAR no que se refere à sistemática de coleta de amostras indeformadas superficiais utilizando-se o cilindro de cravação.

3.3.2 - PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

A coleta em campo de amostras indeformadas e também de eventuais sondagens, tem por principal objetivo a caracterização física deste solo/sedimento escolhido, com a determinação dos parâmetros físicos descritos no Quadro 03:

Parâmetros Físicos	Referência Normativa
Distribuição granulométrica	ABNT NBR 7181/1984
Massa Específica Aparente	ABNT NBR 2887/1988
Massa Específica dos Grãos	ABNT NBR 6508/1984
Limite de Liquidez	ABNT NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade	ABNT NBR 7180/1984
Coeficiente de Permeabilidade	ABNT NBR 14545/2000

Quadro 03 – **Parâmetros físicos analisados em amostras de solo e amostras indeformadas.**

3.3.3 - GRANDEZAS BÁSICAS DOS SOLOS – ÍNDICES FÍSICOS

Sendo os solos/sedimentos polifásico, o seu comportamento depende da quantidade relativa de cada uma das suas três fases (partículas sólidas, água e ar), havendo diversas relações que se utilizam para expressar as proporções entre elas, como pode ser observado no Quadro 04:

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Índices Físicos	Relação entre os Índices Físicos
Porosidade Total(n)	Relação entre o volume de vazios (Vv) e o volume total (V) de uma massa de solo. n=Vv/(Vv+V)
Índices de Vazios (e)	Relação entre o volume de vazios (Vv) e o volume de partículas sólidas (Vs) existente numa massa de solo. e=Vv/Vs
Grau de Saturação(S)	Relação entre o volume de água (Vw) e o volume de vazios (Vv) de uma dada massa de solo. S=Vw/Vv
Teor de Umidade (w)	Relação entre a massa de água (Mw) e a massa das partículas sólidas (Ms) de uma dada massa de solo. w=Mw/Ms
Umidade Volumétrica (θ)	Relação entre o volume de água e o volume total de solo. Θ =Vw/V = (S.e) / (1+e) = S.n.
Massa Específica Natural (γ)	Relação entre a massa total de partículas sólidas (Os) por unidade de volume de partículas sólidas γ =(Vs). (Ms+Mw)/V=P/V
Massa Específica Seco (γs)	Corresponde ao caso quando o material se encontra seco (S=0). γs=Ms/V (g/cm^3)
Massa Específica das partículas sólidas (γs)	Massa das partículas sólidas (Ms) por unidade de volume de partículas sólidas (Vs). γs =Ms/Vs
Massa Especifica Saturada (γsat)	Massa específica de um solo quando seus vazios se encontram totalmente preenchidos por água. γsat =(Ms+Mw)/V = M/V(g/cm^3)
Massa Específica Submersa (γsub)	Massa específica de um solo ao nível do lençol freático (submerso), sendo equivalente à massa específica saturada menos à massa específica da água. γsub =γsat-γw (g/cm^3)

Quadro 04 – **Índices Físicos e suas relações.**

3.4- HIDROGEOLOGIA

3.4.1 - POÇOS DE MONITORAMENTO

Foram construídos 11 poços de monitoramento com profundidade máxima de até 23,5m, captando água da zona aqüífera de circulação rasa a média, objetivando a coleta de amostras de água e solo para análises hidroquímicas e geoquímicas, na investigação de possíveis contaminações de hidrocarbonetos, metais, pesticidas e outros compostos pesados na área de estudo, além da realização de ensaios hidrogeológicos.

Durante a execução dos furos de sondagem, adotou-se como procedimento usual, a verificação sistemática da existência (ou não) de hidrocarbonetos em fase livre, sobrenadante no freático, seguindo-se os padrões e procedimentos metodológicos

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

preconizados por Puls & Barcelona (1996), contemplando-se nesta inspeção, todos os furos de sondagem.

Se durante a perfuração da zona de aeração, são encontrados resíduos derivados de hidrocarbonetos, o furo é interrompido, evitando-se a eventualidade de contaminação do aqüífero freático; neste caso, tal furo, a critério da Contratante, poderá ser eventualmente aproveitado como um poço de inspeção, para coleta de resíduo, segundo a norma ABNT NBR-10004.

A verificação da existência de fase livre na zona aqüífera é efetuada mediante o emprego de um "*bailer*" apropriado para a coleta e observação visual. Caso constatada a presença de hidrocarbonetos, efetua-se a medição da coluna da fase livre, sendo sempre dada prioridade para o aproveitamento do respectivo furo de sondagem como poço de monitoramento, procedendo-se a sua completação (colocação de revestimento, filtro e pré-filtro, selo sanitário, etc.) de acordo com as normas técnicas requeridas para monitoramento da fase livre detectada.

O projeto construtivo dos poços de amostragem e monitoramento seguiu a norma técnica da ABNT NBR 13895 (1997) e os procedimentos pré-estabelecidos pela Petrobras (Contrato nº 4600171615).

São a seguir enumeradas as especificações técnicas básicas destes poços:

1-Tubulação de PVC geomecânico com diâmetro de 2" (50mm), equipado com um filtro (abertura máxima de 0,5mm) disposto 1 a 2m acima do NA medido, com 3 a 4 metros de comprimento, sem mantas ou telas ao seu redor e tampa inferior de rosca;
2- Saliência do revestimento a 0,4m em relação à superfície do terreno; tampa superior de pressão,
3- Selo sanitário – preenchimento com calda de cimento do espaço anular entre a superfície externa do revestimento e a parede do furo, em 1 metro a partir da cota do terreno, com o objetivo de estabilizá-lo e evitar infiltrações indesejáveis de superfície;
4- Bentonita pelotizada no espaço anular do poço a partir do selo de cimento até acima da seção filtrante (em profundidades específicas para cada caso);
5- Pré-filtro de areia lavada de grãos quartzosos ou pedriscos de quartzo com d_{50} de 0,60 a 0,80mm colocado no espaço anular, a 0,50 metros acima do filtro – tubo geomecânico ranhurado até a base.

Os perfis construtivos dos poços de monitoramento e amostragem instalados são apresentados em figuras específicas, quando da descrição de cada área de enfoque e no Anexo 2.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

3.4.2 – LIMPEZA E DESENVOLVIMENTO DOS POÇOS

As operações de limpeza e desenvolvimento dos poços de monitoramento tiveram o objetivo de remover partículas eventualmente presentes no interior do poço, a exemplo dos sedimentos originários da perfuração, assim como a remoção de finos no entorno do trecho filtrante/pré-filtro. Para tal manobra, foi utilizada uma bomba elétrica *Twister* de 12V com vazão da ordem de 10 L/minuto, cujo crivo é disposto próximo ao fundo do poço, efetuando-se um bombeamento controlado, observando-se o comportamento do nível d'água, sob pequeno rebaixamento, até que a água apresente aspecto límpido, sem partículas em suspensão.

3.4.3 – MEDIÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para a determinação do nível de água subterrânea nos poços de monitoramento utilizou-se um medidor eletrônico de nível d'água, composto por um cabo elétrico revestido por uma fita (trena) com marcação milimétrica conectado a um sensor de aço inox em sua extremidade inferior. O conjunto cabo/sensor é então introduzido dentro do poço e quando o sensor toca o nível d'água, automaticamente o equipamento emite um sinal sonoro, sinalizando pois quando o nível d'água do poço é atingido.

Como procedimento usual, após cada medição, o cabo e o sensor são descontaminados com detergente tipo Extran e solução de água destilada, a fim de evitar qualquer eventual contaminação cruzada durante as operações consecutivas dos poços de amostragem e monitoramento.

Como procedimentos sistemáticos são efetuados os levantamentos topográficos detalhados da área, utilizando uma estação total, contemplando as medições de cota da boca dos poços, e respectivas coordenadas geográficas, em UTM. Permitindo-se assim, subsidiar a elaboração do mapa potenciométrico da área de estudo em pauta.

3.4.4 – VERIFICAÇÃO DE FASE LIVRE

A identificação de fase livre, eventualmente presente, é efetuada mediante uso de um *bailer* de plástico rígido transparente, especialmente desenvolvido para esta operação, de modo a facilitar a visualização de alguma substância menos densa que a água, característica de hidrocarbonetos (LNAPL – light non aqueous phase liquid), parcialmente miscíveis com a água do poço de monitoramento ou furo de sondagem. O *bailer* é inserido na coluna d´água do poço até aproximadamente os primeiros 60 centímetros do seu nível d'água, profundidade em que a água é coletada para verificação da presença de sobrenadantes. Após cada operação, o *bailer* é devidamente limpo e descontaminado com solução Extran e água destilada, e sua corda trocada entre cada verificação consecutiva realizada nos diferentes poços. Caso o *bailer* fique impregnado com algum material sobrenadante, o mesmo é descartado.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

3.4.5 – ENSAIOS DE PERMABILIDADE (SLUG-TEST)

Como procedimento sistemático, os ensaios de permeabilidade (condutividade hidráulica, “k”) são somente efetuados após as operações de purga, medições dos parâmetros físico-químicos *in loco* e amostragem de água para análises.

Para os ensaios tipo *Slug Test* foi empregado o equipamento *Mini Diver*, desenvolvido pela Schlumberger, para este tipo de ensaio. O sistema de aquisição de dados é programado no campo para realizar e armazenar leituras no intervalo de 1s, de modo a registrar com maior fidelidade toda a curva de rebaixamento ou recuperação do NA – nível d’água.

Durante o ensaio a variação do NA é monitorada, e quando é atingida a sua recuperação com magnitude de 80% a 100% (nível d’água inicial), o ensaio é encerrado, retirando-se o equipamento. Antes de uma nova operação realiza-se uma limpeza e descontaminação dos cabos e sonda piezométrica, de modo a evitar contaminação cruzada entre as operações consecutivas executadas nos poços de teste.

Ao final do dia ou do turno, as leituras são descarregadas em um *laptop* e mediante um programa específico do sistema de aquisição de dados, as leituras de cada teste são identificadas, avaliadas quanto à qualidade do sinal resultante do ensaio realizado e finalmente gravadas em arquivos separados para cada ensaio ou poço, no formato ASCII, para tratamento posterior no escritório.

O tratamento dos dados do *slug test* foi realizado pelo método de HVORSLEV e apresentados no Anexo 5, onde encontram-se os gráficos interpretados com seus respectivos valores de condutividade hidráulica (k), calculados segundo a seguinte equação:

$$k = \left| \left\{ [r^2 . \ln (L / R)] / [2 . L . T_L] \right\} \right|$$

Onde:

k = Condutividade Hidráulica;
r = Raio do Poço;
L = Comprimento saturado do Filtro;
R = Raio do Furo;
T_L = Time Lag (h_t / h_0=0.37).

Os cálculos de fluxo foram efetuados utilizando a lei de DARCY, em que o fluxo unitário (**Q_{unit}**) e a velocidade real de fluxo da água (**v_r**) no aqüífero são estimados mediante o cômputo das seguintes expressões:

Q_{unit} = k i A, onde:

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

k: coeficiente de permeabilidade médio calculado a partir dos ensaios de campo (m/s);
i: gradiente hidráulico, calculado a partir das cargas hidráulicas dos poços de monitoramento;
A: área unitária (m^2), perpendicular ao fluxo;

O fluxo unitário representa a quantidade de água que passa através de seções transversais, unitárias, perpendiculares ao fluxo. Caso essa água apresente algum tipo de contaminante, pode-se calcular o balanço de massa a partir do fluxo unitário.

A velocidade real de fluxo admite um determinado valor de porosidade efetiva no domínio da zona rasa do aqüífero livre, e indica a velocidade na qual um composto conservativo, por advecção, irá se deslocar no meio, mediante a seguinte expressão:

$$v_r = (Q_{unit}/A)/ n_{ef} = k\, i / n_{ef}$$, onde:

n_{ef} é a porosidade efetiva.

O valor de n_{ef} igual a 0,10 (10%) foi aqui adotado a partir de dados bibliográficos, considerando-se o litotipo predominante do aqüífero argilo-arenoso, conforme mostrado no Quadro 05. Segundo Custodio & Lamas. (1976), os métodos de campo utilizados para a determinação da porosidade efetiva são os mais representativos em meio não consolidado, já que as medições são realizadas no aqüífero em seu estado natural, enquanto que os métodos de laboratório podem não resultarem representativos devido à alteração do estado natural dos sedimentos, inconsolidados, quando da sua amostragem para ensaio.

VALORES TÍPICOS *						
Tipos de Solo	**N** (porosidade total)			**n_{ef}** (porosidade efetiva)		
	Méd.	**Máx.**	**Min.**	**Méd**	**Máx**	**Min.**
Aluviões	0,25	0,40	0,20	0,15	0,35	0,05
Cascalho	0,30	0,40	0,25	0,25	0,35	0,15
Areia	0,35	0,45	0,20	0,25	0,35	**0,10**
Silte	0,40	0,50	0,35	**0,10**	0,20	0,02
Argila	0,45	0,60	0,40	0,02	**0,10**	0,0

***** Custodio,E.G. & Llamas,M.R. 1976

Quadro 05 – **Valores de porosidade total e porosidade efetiva.**

No Anexo 5 consta o memorial de cálculo para fluxo unitário **(Q_{unit})**, velocidade real de fluxo **(V_r)** e gradiente hidráulico, utilizando a lei de Darcy, através do método usual de triangulação de poços. Para melhor entendimento do memorial de cálculo apresentado no Anexo 5, são apresentadas as seguintes expressões para o cálculo do gradiente hidráulico **(i)**:

$$\vec{i} = \vec{i}_x + \vec{i}_y$$, onde:

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

$$i_x = \partial h / \partial x \text{ e } i_y = \partial h / \partial y$$, onde:

h: Carga Hidráulica Total;
X_m e Y_m: Coordenadas dos Poços;
i_x e **i_y :** componentes x, y dos Gradientes Hidráulicos dos poços.

3.4.6 – LEVANTAMENTOS HIDROQUÍMICOS

3.4.6.1 – AMOSTRAGEM DE ÁGUA SOB BAIXA VAZÃO

A operação sistemática de amostragem de água subterrânea possui dois objetivos básicos:

(i) determinar as características físico-químicas da água subterrânea *in loco;*
(ii) coletar amostras representativas do aqüífero para determinações das concentrações químicas em laboratório, dos diversos parâmetros hidroquímicos previamente selecionados, em conformidade com os objetivos do estudo.

Como anteriormente comentado (item 3.4.2) antes da amostragem de água, os poços são desenvolvidos para assegurar que o impacto dos procedimentos da perfuração seja o mínimo possível e que as amostras de água subterrânea sejam representativas do meio aqüífero.

A coleta da água subterrânea é efetuada com pelo menos 7 (sete) dias após a operação de limpeza, seguindo a metodologia de amostragem a baixa vazão (Puls & Barcelona, 1996) com rebaixamento controlado, conforme recomendações da ASTM D 4.448-01 (*low flow sampling*). Esta técnica de amostragem tem sido utilizada mais recentemente no Brasil; consiste basicamente na micropurga das águas nos poços de monitoramento, extraindo-se sua água estagnada, por bombeamento lento, assegurando então, a coleta de água representativa da zona aqüífera associada ao lençol freático.

Verificando que o nível d'água dos poços alcançou profundidades maiores que 4m, as amostragens de água são realizadas através do método da purga mínima que é realizada empregando-se uma bomba de bexiga descartável, com capacidade da ordem de 100–300 mL/minuto, conectada a uma célula de fluxo tipo MP-20 DT com *datalogger*.

Esta bomba, em função da sua baixa vazão, extrai a água dos poços sob pouca turbulência, o que diminui a possibilidade de modificação das características físico-químicas da água durante a sua extração. Deste modo, a purga é conduzida

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

buscando-se a estabilização do fluxo, de tal modo que o rebaixamento do nível d'água não exponha demasiadamente a zona filtrante do poço.

Com este procedimento procura-se evitar a extração de grandes volumes de água, bem como também evitar conseqüências indesejáveis da purga tradicional, a qual promoveria o aumento da turbidez e a aeração da amostra d'água, assim como a precipitação de metais dissolvidos e a remoção parcial dos compostos orgânicos voláteis, o que afetaria dessa maneira, a composição química e representatividade da amostra.

O término da purga, através do método utilizado de baixa vazão, se verifica mediante o registro da estabilização dos parâmetros físico-químicos medidos em concomitante com o bombeamento (5 em 5 minutos), tais sejam o pH, potencial redox (Eh), oxigênio dissolvido (OD), a condutividade elétrica (CE), turbidez e temperatura. A estabilização destes parâmetros determina o instante pelo qual se pode iniciar a coleta, vindo então indicar que a água que está sendo extraída do poço é diretamente originária do aqüífero captado *in place*, e, portanto representativa.

A citada operação da purga do poço, atende a norma técnica NBR13895 ABNT, tendo sido utilizada a célula de fluxo modelo MP20, fabricada pela QED *Environmental Systems.* Dentre os parâmetros físico-químicos monitorados durante a purga, a turbidez em particular, apresenta-se em geral com valores relativamente elevados nos primeiros minutos, seguindo-se a sua redução contínua até cerca de 30 minutos de bombeamento.

Com a estabilização destes parâmetros, é iniciada a amostragem, enchimento dos frascos e conservação das amostras, de acordo com a metodologia desenvolvida por Puls & Barcelona (1996). Vale ressaltar que durante o processo de amostragem, os frascos são mantidos em recipiente com gelo, no intuito de preservação dos compostos orgânicos e inorgânicos a serem analisados: VOC, TPH/HPA/SVOC, parâmetros complementares (ânions maiores: HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-} e série nitrogenada: NO_3^-, NO_2^-,NH_4^+), fosfato (P em PO_4^{3-}), metais totais: Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Ba, Hg, Pb, Sb, Be, Se e Ag (sem filtragem) e solúveis (filtragem em papel milipore de 0,45µm); cátions maiores (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+); e especialmente para o contexto específico desta área PCBs, Pesticidas, Dioxinas e Furanos.

Nos procedimentos para amostragem e ensaios hidrogeológicos dos poços contemplaram-se os seguintes itens:

1. Inspeção do poço e áreas adjacentes para garantir a segurança, verificação de danos e evidências de vandalismo que possam comprometer a qualidade da água a ser amostrada;
2. Limpeza, teste e calibração dos equipamentos para determinações físico-químicas de campo (*in loco*);
3. Bombeamento inicial do poço com monitoramento do pH, CE, Eh, OD, turbidez e Temperatura, de 5 em 5 minutos;
4. Monitoramento do NA;

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

5. Registro das leituras em formulário específico;
6. Amostragens c/ uso dos respectivos frascos de coleta, conforme especificações;
7. Em toda a operação de amostragem, foi feita a utilização de luvas de látex para procedimentos cirúrgicos, de modo a evitar contato direto com a água de amostragem;
8. Em momento algum, é permitido fumar próximo ao local de amostragem;
9. Durante o enchimento dos frascos, as tampas são mantidas de cabeça para baixo de modo a evitar deposição de poeira e contaminação externa;
10. Durante a amostragem, não deve haver contato direto de mãos, tubos e peças com a boca e a tampa dos frascos;
11. Desmontagem, limpeza e descontaminação dos equipamentos.

Foram utilizados os seguintes frascos e técnica de preservação por composto analisado:

- 2 frascos de vidro de 40mL (vial´s) preservados c/Tiossulfato de sódio + HCl, para análises de BTEX e VOC;
- 1 frasco de vidro âmbar de 1L sem preservante para análise de parâmetros orgânicos semivoláteis (PAH, TPH e SVOC);
- 2 frascos de polietileno de 1L sem preservante para analisar Alcalinidade, Cl, NO_3, orto-PO_4, SO_4 e TDS;
- 1 frasco de polietileno de 1L preservado com HNO_3 para análise de metais totais;
- 1 frasco de polietileno de 1L preservado com HNO_3 para análise de metais dissolvidos, amostra filtrada em campo;
- 1 frasco de polietileno de 1L preservado com H_2SO_4 para analisar Orto-fosfato;

É pertinente mencionar que para o encaminhamento das amostras de água para análises em laboratório, estas foram armazenadas em caixas térmicas com gelo, refrigeradas a uma temperatura de 4^oC.

O tubo de polietileno com ¼“ utilizado em cada poço é descartado ao final de cada coleta. A descontaminação da bomba é sistematicamente efetuada logo após o fim da amostragem de cada poço, como anteriormente citado. Como procedimento, faz-se circular álcool, água com Extran (detergente não-fosfatado) e por fim água destilada, a fim de remover possíveis resíduos de contaminação na mangueira da bomba peristáltica.

Os equipamentos, portáteis para medição dos parâmetros físico-químicos no campo, são sistematicamente verificados e calibrados utilizando soluções-padrão de qualidade, com rastreamento NIST/RBC, sempre ao início de cada dia de amostragem, com a finalidade da obtenção mais fidedigna possível dos parâmetros *in loco*.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

3.6- GEOQUÍMICA E HIDROQUÍMICA

3.6.1- EXTRAÇÃO E DIGESTÃO DAS AMOSTRAS

Para análises de TPH e HPA's, as amostras de água foram extraídas com solventes ultrapuros segundo o método EPA 3510C (extração líquido-líquido) e as amostras de solo e ou sedimento com solventes ultrapuros segundo o método EPA 3550B (extração por ULTRA-SOM).

Para análises de metais as amostras de água foram submetidas à digestão ácida segundo o método 3030D (Standard Methods) e de modo análogo, o solo e ou sedimento foi submetido ao método 3050B (USEPA SW-846).

Para as análises de BTEX, tanto as amostras de água quanto às de solo e ou sedimento não são submetidas à extração e nem digestão, sendo utilizado por cromatografia gasosa acoplada ao o Head Space automático 5021/8021 (USEPA SW-846).

3.6.2- TPH, HPA e BTEX – MÉTODOS ANALÍTICOS

A análise de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo – TPH é obtendo-se uma alíquota de 15g de amostra sólida fortificada com solução de C20-D42 e C24-D50 com concentração conhecida e rastreável, sendo extraída com Diclorometano em banho de ultra-som. Para as amostras líquidas, 1000 mL são fortificados com solução de surrogate e extraídos em funil de separação com 3 alíquotas de 50 mL de Diclorometano. O concentrado é injetado em coluna capilar OV-1 de 30m e 0,25mm de diâmetro interno.

Para a determinação e análise crítica do cromatograma, no qual são obtidos os HRP – Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo, identificação dos n-alcanos, pristano e fitano, e também a MCNR – Mistura Complexa Não Resolvida, com elevação da linha de base do cromatograma, as amostras dos litotipos são extraídas pela técnica de Ultra-Som (método 3550 da SW-846), utilizando como solvente o diclorometano, concentrado e injetado no GC/FID com uma coluna HP-1 Metil Siloxane 30m x 0,53 mm x 2,65 µm de filme. Este procedimento tem como referência o método 8015D.

A análise de Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares – HPA´s incluindo Metilnaftaleno e Etilnaftaleno, nas amostras dos litotipos encontrados e da água, é determinada pela técnica de Cromatografia Líquida de Alta Performance – HPLC, tendo como referência o método 8310 da USEPASW- 846.

As amostras de solo e ou sedimento são extraídas pela técnica de Ultra-Som, método 3550 da SW-846. Se necessário, a eliminação de interferentes é realizada pelo método de *cleanup* em coluna de sílica-gel (método 3630), concentrado e injetado no cromatógrafo líquido com os detectores UV (Ultra Violeta) e FLD (Fluorescência), simultaneamente.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Na preparação das amostras de água foi aplicada extração do tipo líquido-líquido e também utilizado o diclorometano como solvente. Para separação dos HPA´s foi utilizada uma coluna de fase reversa ODS com partículas de 5 µm, com as dimensões de 250x4,6mm, como fase móvel Água/Acetonitrila.

Para as determinações de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, p,m-Xilenos e o-Xileno, nas amostras de solo / sedimento e água, foi utilizado o método de Cromatografia Gasosa com detector FID, tendo como referência o método 8015D da USEPA SW-846. As amostras são introduzidas no cromatógrafo gasoso pela técnica de preparação Headspace automático, método de referência 5021 da SW-846. A separação das substâncias é realizada por uma coluna capilar HP-VOC 105m x 0,53 mm x 3µm de filme.

3.6.3- COMPOSTOS INORGÂNICOS – MÉTODOS ANALÍTICOS

3.6.3.1- AMOSTRAS GEOQUÍMICAS

A determinação tem como referência o método **3050B** da USEPA SW-846, de digestão ácida, onde 1 a 2g da amostra são digeridos com solução de ácido nítrico 1:1. Em seguida adiciona-se ácido nítrico concentrado para a oxidação sob refluxo e peróxido de hidrogênio a 30% para completa oxidação. Após o resfriamento, é adicionado ácido clorídrico para dissolução dos metais e em seguida amostras estão prontas para as leituras dos metais pela técnica de ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*), método de referência **6010C** da USEPA SW-846.

O método consiste na determinação multi-elementar pelo ICP-AES usando o sistema ótico, com detector simultâneo e vista dupla axial e radial no plasma. A amostra digerida é nebulizada (aerosol), que é transportada para a torcha do plasma. Os espectros são produzidos pela radiofreqüência indutiva acoplada ao plasma, e as intensidades das linhas de emissão são monitoradas pelo sistema óptico.

a)TOC e Matéria Orgânica

A determinação da quantidade de TOC baseia-se na sua oxidação a CO_2 por íons dicromato, em meio fortemente ácido. A quantidade de íons Cr III reduzidos é feita indiretamente por titulação dos íons de dicromato em excesso com a solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal, sendo o valor expresso em % Carbono. A matéria orgânica é calculada multiplicando o resultado de TOC pelo fator 1,724. A metodologia citada acima tem como referência, os métodos descritos pelo AC.

b)Análises de Arsênio e Selênio

As amostras, cerca de 1 a 2 gramas secas, são digeridas com ácido nítrico/peróxido de hidrogênio/ácido clorídrico de acordo o método 3050B da USEPA SW-846. O arsênio é reduzido ao estado trivalente com solução de iodeto de potássio. O Arsênio

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

trivalente é convertido ao hidreto volátil com hidrogênio produzido pela reação da acidificação do borohidreto de sódio em fluxo contínuo de gerador de hidreto, onde é detectado por espectrofotometria de absorção atômica.

O selênio também é digerido em conjunto com o arsênio e a redução para selênio no estado IV com HCl a quente, após a redução a quantificação do selênio é semelhante ao do arsênio, ou seja, por geração de hidretos em fluxo contínuo, este procedimento tem como referência o método 3114 do STM.

c)Análise de Mercúrio

As amostras depois de secas a 60ºC são digeridas com água régia, oxidada pelo permanganato de potássio, após a oxidação o excesso de oxidante é reduzido com solução de cloridrato de hidroxilamina. A redução do mercúrio ao estado elementar é feita com solução de cloreto estanho II e quantificação do mercúrio é feita no espectrofotômetro de absorção atômica pela técnica de vapor a frio, tendo como referência o método 7471B da USEPA SW-846 e método 3112B do STM.

3.6.3.2- AMOSTRAS HIDROQUÍMICAS

A digestão dos metais nas amostras de água tem referência o método 3030F do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20th Edition. As amostras são digeridas com os ácidos HNO_3 e HCl concentrados. Após a digestão os metais quantificados pela técnica de ICP-AES, método de referência 3120B. Os metais solúveis são previamente filtrados em membrana de porosidade 0,45 µm antes da digestão ácida. As linhas de emissão óptica são as mesmas citadas na tabela 01.

a) Antimônio

A determinação de antimônio na matriz água é utilizada a técnica de Forno de Grafite-Espectrofotometria de Absorção Atômica- GFAAS, método de referência 3113B do STM.

b) Análises de Arsênio e Selênio

A digestão das amostras de água para Arsênio e Selênio é feita através da mistura de HNO_3, H_2SO_4 e ácido perclórico, a partir a redução do arsênio e selênio é semelhante ao método de solo, sendo o método de referência o 3114B do *Standard Methods* por gerador de hidretos/AAS.

c) Análise de Mercúrio

Para as amostras de água a digestão é semelhante ao do solo, no lugar da água régia é adicionado ácido sulfúrico e ácido nítrico. A quantificação do mercúrio também é feita pela técnica de Gerador de vapor a frio/AAS. A referência do *Standard Methods* é o método 3112 B. do STM.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

d) Orto-Fosfato

A determinação do orto-fosfato é quantificado pela reação do reagente molibdato de amônia e tartarato antimonil de potássio com ortofosfato presente na amostra formando o ácido fosfomolibdico, no qual é reduzido pelo ácido ascórbico formando um complexo azul de molibdênio, cuja intensidade formada é lida em espectrofotômetro a 880nm, método de referência 4500-P E do STM.

e) Nitrato

A determinação de nitratos é baseada na redução dos íons nitrato para nitritos pelo cádmio, e sua quantificação é feita pela reação dos íons NO_2^- com o reagente NEDA, método de referência 4500-NO_3^- F do STM.

f) Cloreto

Foi utilizada a volumetria, com nitrato de mercúrio II, método de referência 4500-Cl^- C do STM.

g) Alcalinidade a HCO_3^-

Foi utilizada a técnica volumetria potenciométrica com solução de ácido sulfúrico padronizado até pré-determinado, método de referência 2320B do STM.

h) Sulfatos

Os íons sulfatos em águas foram quantificados pela técnica turbidimetria, método de referência 4500-SO_4^{2-}.

i) Sólidos Totais Dissolvidos

Foi utilizada a técnica de filtração e gravimetria, na qual a amostra é filtrada em membrana de fibra de vidro, e uma alíquota do filtrado é evaporado em banho-maria Os sólidos obtidos após evaporação são pesados em balança analítica, sendo o método 2540 Solids B do STM usado como referência.

3.6.4 – COMPOSTOS DENSOS

Para o contexto da área foram analisados os seguintes compostos de PCBs e Pesticidas: Alaclor, Aldrin, Dieldrin, Atrazina, Bentazona, Clordano (isômeros), 2,4 D, DDT (isômeros), Endossulfan, Endrin, Glifosato, Heptacloro, Heptacloro Epóxido, Hexaclorobenzeno, Lindano, Metolacloro, Metoxicloro, Molinato, Pendimetalina, Pentaclorofenol, Permetrina, Propanil, Simazina, Trifluralina, além de Dioxinas e Furanos.

Foram escolhidos também compostos complementares que podem indicar a presença dos PCBs e Pesticidas.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

3.6.4.1- ANÁLISE DE PESTICIDAS (USEPA 8270B)

Uma alíquota de 15g de amostra sólida é fortificada com solução de surrogate para análise de SVOC de concentração conhecida e rastreável, e extraída com 3 alíquotas de 50mL com Diclorometano em banho de ultra-som. No caso das amostras líquidas, 1000 mL são fortificados com solução de surrogate e extraídos em funil de separação com 3 alíquotas de 60 mL de Diclorometano.

O extrato orgânico é concentrado a 1 mL e adiciona-se solução de SVOC deuterados, que atuam como padrões internos. O concentrado é injetado em coluna de fase DB-5MS de 30m e 0,25mm de diâmetro interno e 0,25 □m de espessura do filme

3.6.4.2-ANÁLISE DE PESTICIDAS CLORADOS (USEPA 8081C)

Uma alíquota de 15g de amostra sólida é fortificada com solução de surrogate para análise de Pesticidas e PCB de concentração conhecida e rastreável, e extraída com 3 alíquotas de 50mL com Diclorometano em banho de ultra-som. No caso das amostras líquidas, 1000 mL são fortificados com solução de surrogate e extraídos em funil de separação com 3 alíquotas de 60 mL de Diclorometano.

O extrato orgânico é concentrado a 5 mL e adicionado Hexano e concentração final de 1mL. O concentrado é injetado em coluna de fase OV-5 de 30m e 0,53mm de diâmetro interno e 1,50 μm de espessura do filme e confirmação em coluna de fase OV-1701 de 30m 0,53mm de diâmetro interno e 1,0 μm de espessura do filme.

3.6.4.3-ANÁLISE DE GLIFOSATO (USEPA 547)

Uma alíquota de 10g de amostra sólida é extraída com água ultra-pura sob agitação por aproximadamente 30 minutos. O extrato obtido é filtrado em membrana de 0,45μm e submetida a derivatização com FMOC, no caso das amostras líquidas, são filtradas e submetida a derivatização. O extrato obtido é analisado em um sistema cromatográfico líquido (HPLC) com bomba quaternária e amostrador automático climatizado, forno de coluna, detector de fluorescência e ultra-violeta com arranjo de diodos (PDA) e coluna de fase reversa C-18, 150mm x 4,6mm x 3,5μm.

3.6.4.4-ANÁLISE DE DIOXINAS E FURANOS (USEPA 8290)

Em uma alíquota de 5g de amostra sólida é adicionado padrão interno 13C12 contendo os 16 congêneres de PCDD/F deuterados de concentração conhecida e rastreável. Essas amostra são extraídas por Soxhlet por aproximadamente 100 ciclos utilizando Tolueno como solvente. No caso das amostras líquidas, é adicionado padrão interno em 1000 mL de amostra e aplicado filtração e extração com sistema de fase sólida.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

O extrato orgânico obtido é analisado por cromatografia gasoso de alta resolução HRGC/HRMS.

3.6.5- LIMITES DE DETECÇÃO

Os limites de detecção dos compostos orgânicos, metais e parâmetros complementares estão dispostos nas Tabelas que contem os resultados analíticos de solo e água.

3.6.6- VALORES ORIENTADORES DOS LIMITES DE INTERVENÇÃO

Foram adotados neste trabalho, como valores orientadores, os valores sugeridos pela Lista Holandesa 2000, Lista da CETESB - 2005, Lista Alemã – 1994, Canadá Federal – 1991, lista da FIEMA 2004 e os Limites de Potabilidade adotados pelo Ministério da Saúde – Portaria 518 (2004) . Tais valores orientadores, adotados pelas listas de referência, consideram como parâmetros médios de solo, aqueles cujos teores de argila e matéria orgânica, são da ordem de 25% a 10%.

4- RESULTADOS

4.1- CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A caracterização geológica da área foi realizada através da integração dos dados obtidos pelas descrições das sondagens, observações de campo, seções de radar, seções de SEVME.

Fotos tiradas de afloramentos, Figura 06 localizados em áreas circunvizinhas contribuíram para a elaboração do modelo geológico conceitual da área, nota-se que a composição predominante dos sedimentos que compõem as camadas do arcabouço sedimentar da área é areno-argilosa, areno-siltosa e arenosa. O solo da área possui coloração amarela, a textura varia entre siltosa á arenosa, podendo ser classificado como latossolo amarelo. Observam-se também sedimentos com coloração avermelhada, o que corresponde a uma superfície de laterização, ocorrendo em várias camadas, sendo mais predominantes nas camadas mais arenosas.

A caracterização geológica da área é ilustrada na Figura 07, mostrando a coluna estratigráfica simplificada obtida com a integração dos resultados. Foram descritas duas unidades principais, além do solo que recobre a área, com os topos e bases definidas a partir da interpretação das seções de GPR (2D), SEVME (2D), e sondagens, sendo que o nome destas unidades a partir dos sedimentos predominantes que a compõem.

A Figura 08 apresenta o mapa de levantamento das seções GPR 2D (100 MHz), que teve por objetivo, o conhecimento do meio físico, o que possibilitou a interpretação

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

radar-estratigráfica para a área. Destacam-se nesta figura as seções de radar: L-01 e L-02 (Figuras 09 e 10) selecionadas de modo a exemplificar, geologicamente, as unidades sedimentares mapeadas neste trabalho.

Todos os dados geofísicos foram devidamente amarrados às sondagens efetuadas na área, foram perfuradas 8 sondagens, todas além de fornecer dados para subsidiar a interpretação geológica foram completadas como poços de monitoramento.

A geologia da área corresponde a sedimentos do Grupo Barreiras sendo caracterizada por camadas alternadas de sedimentos areno-argilosos, areno-siltosos e arenosos, conformando estratos lenticulares, métricos, de areia, silte e argila. O Solo é constituído por intemperismo dos sedimentos do Grupo Barreiras, caracterizado principalmente por sedimentos areno-argilosos, sobrejacentes às unidades líticas ciclotêmicas constituídas por (i) sedimentos areno-argilosos e areno-siltosos e (ii) na base por sedimentos arenosos.

A coluna radar-estratigráfica correspondente é aqui apresentada, podendo-se distinguir a radarfacie correspondente a cada uma das unidades líticas identificadas. Nas seções L-01 e L-02, Figuras 09 e 10, respectivamente, podem-se observar os truncamentos do sinal GPR para os horizontes radar-estratigráficos mapeados, referentes às seguintes interfaces:

- O Solo que constitui a superfície topográfica atual da área;
- Unidade areno-argilosa e areno-siltosa 1;
- Unidade arenosa 2.

A seguir são descritas estas unidades lito-estratigráficas mapeadas, da base para o topo.

a)Unidade Arenosa 2

A unidade é constituída por camadas de sedimentos de composição arenosa, com granulometria variando de fina á muito grossa, os sedimentos possuem tonalidade variando de vermelho á cinza. Esta unidade possui porções laterizadas e concreções ferruginosas em sua composição.

De acordo com as seções de GPR 2D os refletores que constituem esta unidade possuem alta amplitude, geometria variando de paralelos a sub-paralelos, em alguns pontos nota-se a refletores truncados. O topo é uma suave discordância com a unidade superior, Areno-argilosa e Areno-siltosa 1, a base desta unidade não pode ser definida em razão do alcance do imageamento do radar.

De acordo com as seções SEVME a resistividade aparente possui valores variando de 100 á 800 Ω.m, podendo atingir valores maiores que 3000 Ω.m, os baixos valores

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

se devem à saturação de água enquanto que os altos valores estão relacionados a não saturação de água nos poros dos sedimentos.

b) Unidade Areno-argilosa e Areno-siltosa 1

A unidade é caracterizada principalmente por camadas sedimentares areno-argilosas e areno-siltosas, e também por lentes argilosas, siltosas, argilo-arenosas e silto-argilosas. A granulometria dos grãos varia de muito fina à muito grossa, a tonalidade varia de vermelho escuro à cinza. Esta unidade também apresenta concreções ferruginosas e porções laterizadas em sua constituição.

As seções de GPR 2D mostram que os refletores que constituem esta unidade possuem amplitude média, a geometria varia de paralelos a sub-paralelos, o padrão interno dos refletores é ondulado. O topo é concordante com o solo, e a base é uma suave discordância sobre a unidade Arenosa 2.

De acordo com as seções SEVME a resistividade aparente possui valores variando de 10 a 1200 Ω.m. Esta variação está relacionada à presença de água, as zonas saturadas apresentam valores de resistividade menores que da zona não saturada.

c) Solo

O solo, representando a porção mais exposta ao intemperismo, corresponde à porção superior do terreno caracterizado por um relevo variando de plano a suavemente ondulado. De acordo com as suas características texturais, estruturais e cor, o solo pode ser classificado como latossolo amarelo.

O solo é constituído por grãos cuja granulométrica varia de argilo-arenosa á areno-argilosa, e a coloração varia de bege á marrom.

O solo, como se pode observar nas seções de GPR 2D, possui um sinal de radar, bem marcado e contínuo. Seus refletores apresentam-se paralelos e possuem alta amplitude de onda e um elevado contraste, quando comparado aos refletores das demais unidades. A razão desta maior amplitude para o solo é que esta unidade apresenta-se com alta porosidade associada a uma reduzida variação granulométrica, além de se encontrar fora da zona saturada.

Na Figura 12 observa-se a presença de uma zona condutiva posicionada entre 480 e 700m, esta zona com baixa resistividade menor que 60 Ω.m não reflete a resistividade dos sedimentos do Grupo Barreiras observada nas demais seções, com valores de 400 Ω.m até 1000 Ω.m. Esta variação de resistividade mostra que existe um forte contraste entre a condutividade elétrica da água subterrânea em montante (início da seção) daquela observada em fluxo jusante.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

A interpretação Radar-Estratigráfica foi realizada utilizando conceitos comuns em uma interpretação Sismo-Estratigráfica, onde são empregados critérios que envolvem além dos conceitos geológicos, a geometria dos refletores, bem como as suas relações de contato. Além da técnica de GPR a interpretação geológica foi apoiada também na interpretação das seções SEVME, fornecendo informações sobre os contrastes de resistividade da área, que estão relacionadas principalmente a variação da zona saturada e não saturada. A integração destes resultados possibilitou a elaboração de um modelo geológico para área, ilustrado na Figura 13.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Foram coletadas amostras de solo para análise geoquímica durante a perfuração dos poços de monitoramento, aqui denominados pela sigla PM e SL, Figura 14. As amostras foram coletadas em três profundidades pré-definidas: a 0,20m de profundidade, metade da profundidade do nível d´água, aqui chamada de profundidade intermediária, e sobre a franja capilar. No total foram coletadas 33 amostras de solo para análises geoquímicas.

4.2.1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS

4.2.1.1- TPH, HPA e BTEX

Neste trabalho foram analisados os compostos orgânicos de TPH, HPA (Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluorentano, Pireno, Benzo(a)Antraceno, Criseno, Benzo(b)Fluorentano, Benzo(k)Fluoranteno, Benzo(a)Pireno, Indeno(1,2,3,-cd)Pireno, Dibenzo(a,h)Antraceno e Benzo(g,h,i)Perileno), e BTEX (Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno, o-Xileno e m,p-Xileno). A Tabela 01 (a) apresenta os resultados analíticos obtidos nas amostras coletadas.

Nenhum dos compostos citados acima apresentou teores acima dos limites de intervenção para as listas de referência adotadas.

4.2.1.2 – COMPOSTOS COMPLEMENTARES

Os Compostos Complementares: Cianeto, Fenóis, Fluoreto, Fósforo Total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Kjeldahl Total, Nitrogênio Amoniacal, Sulfeto e Sulfactantes; foram diretamente solicitados pelo órgão ambiental IEMA, e foram definidos considerando o Termo de Referência. A Tabela 02 (a) apresenta os resultados analíticos obtidos nas amostras de solo coletadas.

.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Nitrogênio Kjeldahl Total

O Nitrogênio Kjeldahl é a soma do Nitrogênio Amoniacal e o Nitrogênio Orgânico, sendo que o Nitrogênio Amoniacal NH_3 e o NH_4^+. As Figuras 15, 16 e 17 apresentam os resultados analíticos para as amostras coletadas a 0,2m, profundidade intermediária, e sobre a franja capilar.

Fluoreto

O Fluoreto (F^{-1}) foi encontrado em toda a área, mas os maiores teores foram detectados próximo às bacias de estabilização, como pode ser visto nas Figuras 18, 19 e 20.

Nitrato

As Figuras 21, 22 e 23 apresentam os resultados analíticos para as amostras coletadas a 0,2m, profundidade intermediária e sobre a franja capilar.

Cloreto

Os pontos com teores elevados de Cloreto estão concentrados nos pontos de coleta dos poços de monitoramento PM-33 e PM-34, Figuras 24, 25 e 26.

Nitrogênio Amoniacal

O Nitrogênio Amoniacal é a soma do composto amônia (NH_3) e do íon amônio (NH_4^+), as amostras de solo apresentaram concentrações de Nitrogênio Amoniacal variando entre abaixo do limite de detecção e 15,7ppm. As Figuras 27, 28 e 29 apresentam os resultados analíticos para as amostras coletas a 0,2m, profundidade intermediária e sobre a franja capilar.

Fenóis

O Fenol, também chamado de hidroxibenzeno, é uma função orgânica caracterizada por uma ou mais hidroxilas ligadas á um anel aromático a sua fórmula molecular é C_6H_5OH. Na área em estudo todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção laboratorial.

Sulfactantes

Na área em estudo todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção laboratorial.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.2.1.3 – METAIS

Neste trabalho foram analisados os metais: Vanádio, Manganês, Ferro Total, Níquel, Cobre, Zinco, Arsênio, Cádmio, Bário, Mercúrio, Chumbo, Antimônio, Berilo, Selênio e Prata. A Tabela 03(a) apresenta os resultados analíticos para os metais analisados.

Dentre os compostos inorgânicos analisados não foram foi encontrado nenhum deles em teores acima do limite de detecção do laboratório.

4.2.1.4 – PCBs e GLIFOSFATO

Os compostos conhecidos pela abreviatura PCBs (bifenilas policlorados) constituem um grupo de produtos químicos conhecidos como pesticidas organoclorados, sendo distinguidos dos demais organoclorados pelo grupo bifenila em sua fórmula. Neste trabalho foram analisados os seguintes PCBs: PCB-28 (2,4,4´ -triclorobifenilo), PCB-52 (2,2´,5,5´-tetraclorobifenilo), PCB-101 (2,2´,4,5,5´-pentaclorobifenilo), PCB-138 (2,2´,3,4,4´,5´-hexaclorobifenilo), PCB-153 (2,2´,4,4´,5,5´-hexaclorobifenilo) e PCB-180 (2,2´,3,3´,4´,5,5´-heptaclorobifenilo).

Os Glifosfatos são pesticidas organofosforados, pertencentes ao grupo dos fosfonatos. A fórmula química dos organofosforados é representada por um átomo central de Fósforo pentavalente no qual estão conectados: um átomo de oxigênio ou enxofre unidos por uma dupla ligação, dois grupos metoxi ($-OCH_3$) ou etoxi ($-OCH_2CH_3$), e um grupo radical mais longo. No caso do Glifosfato um dos quatro oxigênios está ausente, sendo substituído por uma Glicina.

A Tabelas 04 (a) apresenta os resultados analíticos para os PCBs e Gifosfato analisados. Nenhum dos PCBs analisados e Glifosfato foram encontrados em teores acima dos limites de detecção (0,06 ppb para os PCBs e 0,03 ppm para o Glifosfato).

4.2.1.5 – PESTICIDAS

Os Pesticidas analisados foram Organoclorados (Heptacloro, Aldrin, Lindano, Heptacloroepoxido, Endosulfan, a-Clordano, g-clordano, DDE, Dieldrin, Endrin, DDD, DDT, Metoxicloro, Alaclor, Hexaclorobenzeno, Metolaclor, Pentaclorofenol, 2,4D e Bentazona) e Nitrogenados (Molinato, Trifularina, Simazina, Atrazina, Pendimetalina, Propanil e Permetrina).

A Tabela 05 (a) apresenta os resultados analíticos para os pesticidas Organoclorados e nitrogenados analisados. Nenhum dos pesticidas Organoclorados e Nitrogenados analisados foram detectados em teores acima dos limites de detecção (0,06 ppb para os Organoclorados e 0,02 ppm para os Nitrogenados).

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.2.3.6- DIOXINAS e FURANOS

A Tabela 06 (a) apresenta os resultados analíticos para os compostos pertencentes ao grupo das dioxinas (1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD, 1,2,3,4,7,8-HexaCDD, 1,2,3,7,8-HexaCDD, 1,2,3,7,8,9-HexaCDD, 1,2,3,7,8-PentaCDD, 2,3,7,8-TetraCDD e Octa-CDD) e furanos (1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF, 1,2,3,4,7,8-HexaCDF, 1,2,3,6,7,8-HexaCDF, 1,2,3,7,8,9-HexaCDF, 1,2,3,7,8-PentaCDF, 2,3,4,6,7,8-HexaCDF, 2,3,4,7,8-PentaCDF, 2,3,7,8-TetraCDF, Octa-CDF), , para as análises realizadas em amostras de solo coletadas nos poços de monitoramento (PM). A tabela apresenta resultados em valores analíticos absolutos (ppb), em valores estabelecidos por um fator equivalente de toxicidade internacional, TEQ, que classifica a toxicidade relativa de cada uma das dioxinas e furanos com respeito à do 2,3,7,8-TetraCDD, ao qual é arbitrariamente atribuído o valor de 1,0. Também são discriminados os valores de TEQ para a Organização Mundial de Saúde (WHO). Os valores de TEQ são elaborados principalmente a partir do *Canadian Environmental Protection Act Priority Substance List*.

As Figuras 30 a 39 apresentam os pontos onde foram localizadas dioxinas e furanos em amostras coletadas a 0,2m da superfície. As Figuras 40 e 41 mostram os pontos com os resultados em amostras coletadas em profundidade intermediária, enquanto que a Figura 42 apresenta a contaminação sobre a franja capilar.

4.3 - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A área de estudo está localizada próxima a uma região portuária, ocupando uma superfície com cerca de 0,225km^2. O relevo local é representado por uma superfície relativamente plana, mas com um vale na porção central da área, conformando uma zona natural para descargas das águas superficiais.

Como subsídio a presente caracterização hidrogeológica foram instalados 11 poços de monitoramento, com filtros posicionados para captação de água na zona aqüífera de circulação rasa, em horizonte do nível freático. A distribuição dos poços de monitoramento e o posicionamento dos filtros foram escolhidos, buscando-se melhor representatividade para análises hidroquímicas, tendo em vista que as possíveis cargas contaminantes de: PCBs, Pesticidas, Dioxinas e Furanos, são mais densos que a água, enquanto que os hidrocarbonetos: TPH, HPA e BTEX são menos densos que a água.

A Figura 47 apresenta o modelo hidrogeológico conceitual da área, caracterizado pela ocorrência de um aqüífero livre, do tipo granular, constituído por depósitos sedimentares clásticos do Grupo Barreiras, encontrando-se o nível freático relativamente raso, da ordem de 4-8 m.

A zona vadosa ou de aeração, relativamente pouco espessa (4m a 8m) é representada pelo solo e sedimentos areno-siltosos e areno-argilosos (unidade 1), a

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

qual constitui-se no meio transmissor das águas pluviais de infiltração mediante a sua percolação vertical descendente. Os sedimentos do Grupo Barreiras saturados de água, encontram-se dispostos em camadas e lentes arenosas, areno-argilosas e areno-siltosas, com permeabilidades horizontais diferenciadas e sob condições de aqüífero poroso, livre – nível freático à pressão atmosférica.

Do ponto de vista hidrogeológico-ambiental, a ocorrência de camadas sub-superficiais de sedimentos com frações argilosas, aliada a uma zona vadosa relativamente espessa, constitui fator favorável e significativo quanto à atenuação e/ou retenção de eventuais compostos químicos, que tenham sido acidentalmente liberados na superfície, o que poderia diminuir consideravelmente a vulnerabilidade à contaminação do aqüífero local.

No caso dos Pesticidas, PCBs, Dioxinas e Furanos, em um sistema água-solo, são mais densos que a água, desta forma são comumente conhecidos como DNAPL (*dense non-aqueous phase liquid*) ou fase liquida não aquosa densa. Os DNAPLs representam um grande problema ambiental por diversas razões: baixa viscosidade, podendo movimentar com facilidade em sub-superfície; elevada densidade, acelerando a sua penetração na zona saturada; baixa tensão superficial no contato com água, o que facilita a sua penetração em zonas fraturadas; alta volatilidade; solubilidade absoluta reduzida, tornando a sua remoção da água subterrânea um difícil processo; solubilidade relativa elevada, possibilitando que frações reduzidas causem contaminações; são difíceis de ser encontrados no solo, pois os materiais não retardam a sua penetração até o aqüífero; e, possuem baixa degradação.

4.3.1 PIEZOMETRIA E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

O mapa da Figura 44 apresenta a distribuição das equipotenciais e linhas de fluxo, elaboradas a partir dos dados de cota do nível d´água subterrânea (NA). Para os poços PM-33, PM-34 e PM-39, as medições ocorreram no dia 9 de agosto de 2007. Foram feitas medidas de NA durante a manhã e à tarde de todos estes poços, durante os dias 7,8 e 9 de agosto. Não foram encontradas variações significativas nos níveis medidos. Para os demais poços foram utilizados os dados medidos na 1ª campanha de amostragem, em 28 de julho de 2007, para estes poços foram feitas medidas de NA durante a manhã e à tarde, durante os dias 23, 24, 25, 26, 27 e 28 de julho

Os maiores valores de carga hidráulica encontram-se nos pontos piezométricos situados na porção ocidental-meridional da área de estudo, coincidindo com as zonas topograficamente mais elevadas. A carga hidráulica varia entre os pontos mais a montante e mais a jusante, de 4,26 m (PM-33) a 0,86 m (PM-15), resultando em um desnível de 3,4 m. Reportando-se ao mapa piezométrico da Figura 44, verifica-se um padrão parcialmente radial para o fluxo das águas subterrâneas, segundo as direções principais W-E, NW-SE e SW-NE. Na faixa meridional da área, o escoamento subterrâneo se dá no sentido NW-SE, enquanto que na sua faixa setentrional-ocidental o fluxo tem sentido SW-NE, e na porção central da área ocorre

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

descarga natural sentido W-E. O fluxo SW-NE está influenciado pela obra de ampliação do Portocel, ocasionando um cone de rebaixamento.

Os valores do coeficiente de permeabilidade (**k**), determinados a partir de ensaios de campo do tipo *Slug Test*, apresentaram variação de três ordens de grandeza na área estudada, entre 3,5 x 10^{-7} m/s (SL-06) e 4,37 x 10^{-4} m/s (PM-16), sugerindo uma variação textural do aqüífero local. O valor médio, calculado na base logarítmica 10, foi de 6,02 x 10^{-5} m/s. Em termos médios, observa-se que os valores de condutividade hidráulica deste aqüífero são relativamente médios (10^{-5} m/s). Espacialmente, observa-se que a área com condutividade hidráulica em torno de 10^{-4} m/s está localizada sob uma faixa próxima à praia. Na porção ocidental e setentrional, observa-se uma condutividade hidráulica em variando de 10^{-5} m/s á 10^{-7} m/s – Figura 45.

Foram calculados gradientes hidráulicos (**i**) para os dois fluxos principais: para o fluxo SW-NE com gradiente de 0,0102; e para o fluxo NW-SE foi de 0,0171, Figura 46. O fluxo unitário ($\mathbf{Q_{unit}}$)de água calculado utilizando a lei de Darcy, variou entre 0,314 m^3/mês/m^2 (PM-33, PM-34 e PM-39) e 0,854 m^3/mês/m^2 (PM-21, PM-19 e PM-20). A velocidade real de fluxo ($\mathbf{v_r}$), considerando uma porosidade efetiva de 10%, variou entre 3,14 m/mês e 8,54 m/mês, respectivamente, nos mesmos conjuntos de poços acima referidos, Figura 46.

4.4 - CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

4.4.1 - CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS

As Figuras 48 a 50 apresentam os diagramas de Schoeller, Piper e Stiff para as águas subterrâneas da área de estudo.

Observam-se, nos diagramas de Piper e Schoeller, uma dispersão de valores de concentração dos íons maiores constituintes.

De um modo geral, as águas apresentam como íons principais bicarbonato e o cloreto. Com relação aos cátions, observa-se que o cálcio e o sódio são os elementos principais em todas as amostras analisadas. As águas podem ser classificadas como cloretadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas.

A distribuição areal dessas águas indica a presença de uma zona de mistura de águas continentais com águas marinhas, revelando a existência de uma cunha salina posicionada em profundidades entre 25m e 35m na porção oriental da área. Todavia, as águas cloretadas-sódicas observadas na porção ocidental da área não estão relacionadas a tal cunha salina, uma vez que a mesma deve estar posicionada entre 110 e 140m de profundidade nessa região. Enquanto que as águas encontradas na porção central da área são bicarbonatadas cálcicas.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.4.2 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Durante a amostragem de água subterrânea, foram determinados os seguintes parâmetros físico-químicos no campo: pH, condutividade elétrica (CE), Temperatura, potencial redox (Eh), turbidez e oxigênio dissolvido (OD), estes dados são aqui integrados e apresentados em mapas esquemáticos de distribuição de isovalores para cada um dos parâmetros considerados.

O pH apresentou valores entre 5,08 no SL-06 e 7,45 no PM-16, com valores médios de 6,07, denotando o caráter próximo á neutro das águas subterrâneas locais, Figura 34. A distribuição dos valores de pH neutro e próximo a neutro, valores entre 6,0 a 7,5, estão distribuídos ao longo de toda a área. Os valores de pH levemente ácidos, entre 5,08 e 6,0, são encontrados em uma faixa na porção oriental-setentrional da área (PM-20 e SL-06) e em uma porção ocidental-meridional (PM-01 e SL-01)– Figura 51.

A condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas apresentou valores entre 307 µS/cm (SL-06) e 33300 µS/cm (PM-34), com um valor médio de 1094 µS/cm, Figura 52. Sua distribuição apresenta a tendência de um aporte de uma água subterrânea de alta condutividade elétrica, que ao longo do fluxo decai consideravelmente, aumentando nas proximidades da praia, de crescimento a partir da porção ocidental até a praia, verificando a evolução, em conformidade com o escoamento subterrâneo mostrado pela piezometria.

O potencial redox (Eh), Figura 53, apresentou valores entre 121 mV e 535 mV, nos PM-39 e PM-20, respectivamente, com valor médio de 317 mV. Sua distribuição geográfica na área do Terminal apresenta-se similar à dos valores de OD-oxigênio dissolvido, Figura 54, conforme o esperado, em conformidade com a tendência de diminuição do potencial redox em concomitante com o aumento do pH.

Por sua vez, os teores de OD variaram entre 0,10 mg/L no SL-06 e 3,23 mg/L no PM-19, apresentando os menores teores no fluxo á montante, sendo que ao longo do fluxo ocorre uma acréscimo de oxigênio, e posteriormente uma redução nas proximidades da praia– Figura 54.

A temperatura da água varia de 24,21° á 26,99°, respectivamente nos PM-20 e PM-21, observa-se que as temperaturas mais elevadas são encontradas nas águas de fluxo montante, havendo um gradativo resfriamento destas águas ao longo do fluxo subterrâneo, aumentando apenas nas proximidades da praia, Figura 55.

A turbidez das águas subterrâneas varia de 0,6 NTU á 140,0 NTU, respectivamente nos PM-33 e PM-34. Os maiores valores são encontrados nas águas á fluxo montante, Figura 56.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.4.3 – ANÁLISES HIDROQUÍMICAS

As Tabelas 07(a), 07(b), 07(c), 07(d), 07(e), 07(f) e 07(g) apresentam os resultados das análises hidroquímicas realizadas nas amostras coletadas nos poços de monitoramento – PM. As análises realizadas foram de: TPH, HPA, BTEX, Compostos Complementares, Metais Totais, Metais Solúveis, PCBs, Glifosfato, Dioxinas, Furanos e Parâmetros Hidroquímicos Complementares. Além das Listas de Referencia da CETESB, Holandesa e Canadá, também foi utilizada como referência a Portaria 518 do Ministério da Saúde que determina os limites de potabilidade da água.

4.4.3.1 – TPH, HPA e BTEX

Neste trabalho foram realizadas análises hidroquímicas dos seguintes compostos orgânicos: TPH, HPA (Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluorentano, Pireno, Benzo(a)Antraceno, Criseno, Benzo(b)Fluorentano, Benzo(k)Fluoranteno,Benzo(a)Pireno,Indeno(1,2,3,-cd)Pireno,Dibenzo(a,h)Antraceno e Benzo(g,h,i)Perileno), e BTEX (Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno, o-Xileno e m,p-Xileno).

A Tabela 07 (a) apresenta os resultados analíticos para os compostos orgânicos analisados realizados em amostras coletadas dos poços de monitoramento. Nenhum dos compostos analisados apresentou teores acima dos limites de intervenção para as listas de referência adotadas.

4.4.3.2 – COMPOSTOS COMPLEMENTARES

Os Compostos Complementares: Cianeto, Clorato, Fenóis Totais, Fluoreto, Fósforo Total, Sulfeto, Sulfeto de Hidrogênio (ou Ácido Sulfídrico) e Sulfactantes aniônicos; foram diretamente solicitados pelo órgão ambiental IEMA, e foram definidos considerando o Termo de Referência.

A Tabela 07 (b) apresenta os resultados analíticos das análises hidroquímicas realizadas nos poços de monitoramento e amostras superficiais, respectivamente, para os compostos complementares analisados. Dos compostos analisados apenas o Ácido Sulfídrico foi encontrado em concentração acima do limite de potabilidade (0,05 ppm) estipulado pelo Ministério da Saúde, como pode ser visto na Figura 57.

4.4.3.3 – METAIS TOTAIS E SOLÚVEIS

Foram analisados os seguintes metais: Vanádio, Manganês, Ferro Total, Níquel, Cobre, Zinco, Arsênio, Cádmio, Bário, Mercúrio, Chumbo, Antimônio, Berilo, Selênio, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio e Prata.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

A Tabela 07 (c) apresenta os resultados analíticos para os metais analisados, em poços de monitoramento e águas superficiais respectivamente.

Dentre todos os pontos amostrados e dentre todos os metais analisados (totais e solubilizados), apenas os metais: Chumbo (Pb), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Sódio (Na) apresentaram teores acima dos valores máximos de potabilidade estabelecido pelo MS, que são 0,01 ppm, 0,3 ppm, 0,1 ppm, e 200 ppm respectivamente. Sendo que para o Pb esse mesmo limite corresponde ao limite de intervenção da lista CETESB 2005.

O Quadro 07 apresenta as amostras e água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento e as amostras superficiais com concentrações acima dos limites de potabilidade estabelecido pelo MS e de intervenção da CETESB 2005.

A distribuição da pluma de Chumbo, valores acima de 0,01 ppm, está distribuída em duas regiões principais na área em estudo, uma localiza-se na porção setentrional à fluxo montante em direção ao fluxo jusante da água subterrânea, e outra localizada na porção meridional oriental, somente à fluxo montante, Figura 58.

O Ferro é encontrado em teores acima do limite de potabilidade do Ministério da Saúde, 0,03 ppm, em quase toda a área estudada, como podem ser visto na Figura 59. A pluma distribui-se conforme a piezometria da área, estando as maiores concentrações localizadas a fluxo montante, com tendência de redução ao longo do fluxo subterrâneo.

A pluma de manganês, (acima de 0,1ppm) está distribuída, assim como o ferro, em conformidade com a piezometria da área. As concentrações acima de 0,1 ppm estão localizados nas regiões central da área e à fluxo montante, Figura 60.

A pluma de sódio, valores acima 200 ppm, está localizada à fluxo montante e também próximo ao mar, Figura 61. Estas duas plumas não possuem relação entre si, uma está relacionada a possível vazamento oriundo da bacia de resfriamento, enquanto que a outra está relacionada a influência da cunha salina.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

	Chumbo (Pb)	Ferro (Fe)	Manganês (Mn)	Sódio (Na)
Limite de Potabilidade MS	0,01ppm	0,30ppm	0,10ppm	200 ppm
Limite de Intervenção CETESB	0,01ppm	sem limite estabelecido		
Poço de Monitoramento	Chumbo (Pb)	Ferro (Fe)	Manganês (Mn)	Sódio (Na)
PM-01	<0,0100	0,7440	0,0272	47,0000
PM-15	0,0151	0,0480	0,0199	21,7000
PM-16	<0,0100	0,1410	<0,0100	260,0000
PM-19	0,0233	0,9220	0,1750	42,4000
PM-20	0,0163	10,3000	0,3480	11,2000
PM-21	0,0181	1,9500	0,0626	52,1000
PM-34	<0,0100	1,3500	0,1400	341,0000
PM-35	0,0264	0,9750	0,0677	539,0000
PM-39	<0,0100	3,1500	0,4770	62,6300
SL-01	0,0591	8,7800	0,0114	171,0000
SL-06	0,0328	3,7600	0,5090	20,7000

Quadro 07 – **Águas subterrâneas e com concentrações de Pb, Fe, Mn e Na acima dos Limite de Potabilidade do Ministério da Saúde e CETESB 2005**.

4.4.3.4 – PCBs e GLIFOSFATO

Neste trabalho foram analisados os seguintes PCBs: PCB-28 (2,4,4´ -triclorobifenilo), PCB-52 (2,2´,5,5´-tetraclorobifenilo), PCB-101 (2,2´,4,5,5´-pentaclorobifenilo), PCB-138 (2,2´,3,4,4´,5´-hexaclorobifenilo), PCB-153 (2,2´,4,4´,5,5´-hexaclorobifenilo) e PCB-180 (2,2´,3,3´,4´,5,5´-heptaclorobifenilo), e também Glifosfato.

A Tabelas 07 (d) apresenta os resultados analíticos para o Glifosfato e PCBs analisados em poços de monitoramento e águas superficiais respectivamente.
Nenhum dos PCBs analisados e Glifosfato foram encontrados em teores acima dos limites de detecção (0,001 ppb para os PCBs e 0,02 ppm para o Glifosfato).

4.4.3.5 – PESTICIDAS

Os Pesticidas analisados foram Organoclorados (Heptacloro, Aldrin, Lindano, Heptacloroepoxido, Endosulfan, a-Clordano, g-clordano, DDE, Dieldrin, Endrin, DDD, DDT, Metoxicloro, Alaclor, Hexaclorobenzeno, Metolaclor, Pentaclorofenol, 2,4D e Bentazona) e Nitrogenados (Molinato, Trifularina, Simazina, Atrazina, Pendimetalina, Propanil e Permetrina).

As Tabelas 07 apresentam os resultados analíticos para os pesticidas analisados em poços de monitoramento e águas superficiais respectivamente. Nenhum dos pesticidas Organoclorados e Nitrogenados analisados foram detectados em teores acima dos limites de detecção (0,001 ppb para os Pesticidas Organoclorados e 0,05 ppm para os Pesticidas Nitrogenados).

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.4.3.6 – CLORETO, SULFATO, NITRATO

Os cloretos, sulfatos e nitratos foram analisados como dentro de um conjunto de compostos complementares sugeridos pelo IEMA. A Tabela 07 (b) apresenta os resultados analíticos para os compostos complementares em poços de monitoramento.

O cloreto foi encontrado em concentração acima do limite de potabilidade, 250 ppm, nos seguintes poços de monitoramento: PM-16, PM-33 e PM-34; com as respectivas concentrações: 400,33 ppm, 458,7 ppm e 560,69. Foi possível delimitar duas plumas distintas, uma próxima a praia que está relacionada à influência da cunha salina e outra localizada a fluxo montante das águas subterrâneas que não pode ser associada à zona de interface salina por estar localizada a fluxo montante das águas subterrâneas, como pode ser visto na Figura 62.

O sulfato foi encontrado em concentração acima do limite de potabilidade, 250 ppm, somente no poço de monitoramento PM-34, com a concentração de 443,81 ppm. Este poço está localizado à montante da área, como pode ser visto na Figura 63.

O Nitrato foi encontrado em concentração acima do limite de potabilidade, 10 ppm, somente no poço de monitoramento PM-34, com a concentração de 20,49 ppm. Este poço está localizado à montante do fluxo de águas subterrâneas, como pode ser visto na Figura 63.

4.4.3.6 – DIOXINAS E FURANOS

A Tabela 07 (g) apresenta os resultados analíticos para os compostos pertencentes ao grupo das dioxinas (1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD, 1,2,3,4,7,8-HexaCDD, 1,2,3,7,8-HexaCDD, 1,2,3,7,8,9-HexaCDD, 1,2,3,7,8-PentaCDD, 2,3,7,8-TetraCDD e Octa-CDD) e furanos (1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF, 1,2,3,4,7,8-HexaCDF, 1,2,3,6,7,8-HexaCDF, 1,2,3,7,8,9-HexaCDF, 1,2,3,7,8-PentaCDF, 2,3,4,6,7,8-HexaCDF, 2,3,4,7,8-PentaCDF, 2,3,7,8-TetraCDF, Octa-CDF), para as análises realizadas em amostras de água coletadas nos poços de monitoramento (PM e SL). A tabela apresenta resultados em valores analíticos absolutos (ppb), em valores estabelecidos por um fator equivalente de toxicidade internacional, TEQ, que classifica a toxicidade relativa de cada uma das dioxinas e furanos com respeito à do 2,3,7,8-TetraCDD, ao qual é arbitrariamente atribuído o valor de 1,0. Também são discriminados os valores de TEQ para a Organização Mundial de Saúde (WHO). Os valores de TEQ são elaborados principalmente a partir do *Canadian Environmental Protection Act Priority Substance List*.

As dioxinas encontradas foram 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD e Octa-CDD, o furanos encontrados foram 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF e Octa-CDF). Como pode ser visto no Quadro 08:

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

	DIOXINAS		FURANOS	
	1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	Octa-CDD	1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	Octa-CDF
Limite de Detecção (ppq)	4,00	20,00	8,00	20,00
Poço de Monitoramento				
PM-01	<4,00	<20,00	27,7	109
PM-15	<4,00	<20,00	11,4	53,5
PM-19	10,1	44	<8,00	<20,00
PM-20	18	75,6	10,5	<20,00
PM-21	<4,00	<20,00	11,6	<20,00
SL-01	<4,00	25,6	<8,00	<20,00

Quadro 08 – **Dioxinas e Furanos em concentrações absolutas em ppq**.

As Figuras 65 a 68 mostram as plumas de contaminação por dioxinas e furanos, a origem da contaminação na água subterrânea destes compostos é antrópica.

4.4.4 – ACEPTORES DE ELÉTRONS

A atenuação natural dos compostos orgânicos são reações mediadas por bactérias existentes no meio ambiente, a partir de reações de oxidação e redução envolvendo a transferência de elétrons do contaminante orgânico para um aceptor de elétrons. O oxigênio é um aceptor de elétrons para o metabolismo aeróbico, enquanto que o nitrato, ferro férrico, sulfato e o dióxido de carbono podem funcionar como aceptores de elétrons alternativos para os metabolismos anaeróbicos. Esta transferência de elétrons libera energia que é utilizada para a vida e crescimento das bactérias envolvidas no processo. A energia bioquímica associada com as degradações alternativas, anaeróbicas, pode ser representada pelo potencial redox dos aceptores de elétrons alternativos: quanto mais positivo o potencial redox mais energeticamente favorável é a reação. Apesar de haver uma preferência de utilização dos seguintes aceptores de elétrons: oxigênio, nitrato, ferro férrico, manganês, sulfato e dióxido de carbono, na prática, os organismos mais eficientes, melhores adaptados ao meio, se desenvolvem mais rapidamente que os outros, consumindo os aceptores de elétrons específicos mais rapidamente.

Deste modo, conhecendo-se as concentrações de fundo de nitrato, ferro férrico e sulfato, pode-se comparar com as concentrações nas plumas de compostos orgânicos e avaliar a capacidade de biodegradação do aqüífero em questão.

As concentrações de nitrato (NO_3^-) variaram entre < 0,1 ppm, e 20,5 ppm no poço PM-34, resultando num valor médio de 4,39mg/L. Deste modo, observa-se que as

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

concentrações de fundo do íon nitrato são baixas, contribuindo pouco no processo de degradação natural. Partindo da linha de fluxo do escoamento subterrâneo, observa-se que os íons de nitrato disponíveis são rapidamente consumidos.

Com base nas concentrações médias e máximas de ferro dissolvido, observadas nas amostras, pode-se concluir que o ferro ferroso está participando como um importante doador de elétrons nas reações de degradação dos compostos orgânicos, pois apresentou valor médio elevado, de 2,9 ppm e valor máximo de 10,3 ppm no PM-20. No processo de degradação desses compostos orgânicos, ocorre, pois o consumo de oxigênio e a liberação de gases como CH_4 e CO_2, chegando ao final do processo, na mobilização de metais como Fe^{2+} e Mn^{2+}. Este ambiente hidroquímico apresenta similaridade com as zonas III, IV e V de Eaganhouse et al. (1993, in: Deutsch, W., 1997) em que os teores de Fe^{2+} aqui encontrados na água, corroboram com a hipótese acima.

Considerando a seqüência natural de degradação, o íon sulfato seria o próximo doador de elétrons disponível. As concentrações de sulfato variaram entre 10,78 ppm no PM-15 e 443,81 mg/L no PM-34, resultando num valor médio de 92,41 ppm. Deste modo, o sulfato pode ser um importante doador de elétrons e auxiliar no processo de degradação dos organoclorados, desde que as bactérias mediadoras estejam presentes no meio em concentrações adequadas.

Observando a variação espacial das concentrações de cloreto nas águas subterrâneas, nota-se a presença de duas anomalias principais: uma no PM-16 com 400,33 ppm e outra nos PM-33 e PM-34 com 458,70 ppm e 560,69 ppm, respectivamente. Acredita-se que a primeira esteja relacionada à zona de mistura da cunha salina e que a segunda esteja associada com a degradação natural de compostos organoclorados a partir da seguinte reação modelo:

$$\mathbf{R\text{-}Cl + H_2 \rightarrow R\text{-}H + H^+ + Cl^-}$$

Deste modo, para cada mol de cloreto removido de um composto organoclorado, ao se degradar, geraria 1 mol de cloreto e 1 mol de H+, aumentando, portanto a acidez da água, bem como as concentrações de cloreto livre.

O Ferro (Fe), assim como o Manganês (Mn), apresenta valores acima de intervenção em vários pontos. Os sedimentos terciários que constituem o substrato geológico da área em apreço, apresentam em sua constituição níveis de seixos e grãos de crosta ferruginosa, os quais se constituem as fontes prováveis de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) na água subterrânea, em função do ambiente hidrogeoquímico propício a sua solubilização.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.4.4.1 – COMPORTAMENTO DO CHUMBO

Após a incorporação do chumbo na água, proveniente do ar ou da lixiviação do solo, o metal se divide rapidamente entre o sedimento e a fase aquosa, dependendo do pH da água e dos sais nela dissolvidos, além da presença de agentes complexantes orgânicos.

Em pH > 5,4, a solubilidade total do chumbo é de aproximadamente 30 µg/L em águas duras, isto é, com altos teores de cálcio dissolvido e de aproximadamente 500 µg/L em águas moles, isto é, com baixos teores de cálcio (ATSDR, 1993). Íons de sulfato, se presentes em águas moles, limitam a concentração de chumbo na solução pela formação de sulfato de chumbo ($PbSO_4$). Acima do pH 5,4, os carbonatos de chumbo ($PbCO_3$ e $Pb_2(OH)_2CO_3$) também limitam a sua concentração (ATSDR, 1993).

Utilizando o programa PHREEQC para modelagem geoquímica das amostras de água subterrânea, foi possível calcular a atividade de cada espécie de Pb dissolvido na água subterrânea, bem como os respectivos índices de saturação dos prováveis minerais formados ou existentes na fase sólida na área de estudo. O Quadro 09 apresenta as principais espécies de Pb formadas em cada amostra de água e sua porcentagem de ocorrência.

ID	pH	Pb mg/L	%$Pb(CO3)_2$-2	Pb^{+2}	Si_ Anglesita $PbSO_4$	si_Pb(OH)2	Si_ Cerrusita $PbCO_3$
PM-01	5,63	0,010	0,2%	4,1%	-1,6447	-3,7066	0,2413
PM-15	6,91	0,015	35,1%	0,2%	-3,1452	-2,4649	0,8363
PM-16	7,45	0,010	50,8%	0,1%	-3,0423	-1,8519	0,6104
PM-19	6,43	0,023	6,6%	1,0%	-1,6891	-2,4934	1,0647
PM-20	5,2	0,016	0,0%	4,6%	-0,9047	-4,3987	0,0826
PM-21	6,09	0,018	2,2%	1,6%	-1,4505	-2,9653	0,7968
PM-33	6,11	0,010	3,1%	0,8%	-1,3619	-3,4283	0,5594
PM-34	6,04	0,026	2,1%	0,5%	-0,7344	-3,2177	0,9901
PM-39	6,72	0,010	9,5%	0,9%	-1,7908	-2,2875	0,7544
SL-01	5,8	0,059	1,4%	1,2%	-0,6931	-3,2048	1,1375
SL-06	5,08	0,033	0,0%	15,5%	-0,1523	-3,7131	0,0815

Quadro 09 – Principais complexos de Pb dissolvidos nas amostras de água subterrânea, calculado a partir da modelagem geoquímica utilizando o programa PHREEQC **V.2.12.5.**

De acordo com Quadro 09, observa-se que várias amostras apresentam índice de saturação próximo de zero, indicando um equilíbrio geoquímico com os minerais Cerrusita, Anglesita e $Pb(OH)^2$. No caso da preexistência destes minerais no meio lítico da zona não saturada ou da zona aqüífera, uma pequena concentração natural destes minerais – conforme detectado nas amostras geoquímicas – poderia explicar

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

a presença do Chumbo na água, em razão do ambiente hidrogeoquímico local de baixo pH e baixa alcalinidade.

O Gráfico 1 apresenta os índices de saturação dos complexos formados pelo Chumbo. Considerando os complexos formados a Cerrusita é encontrado acima da faixa de equilíbrio indicando que há um excesso deste mineral, enquanto que os outros estão em faixas próximas ao equilíbrio.

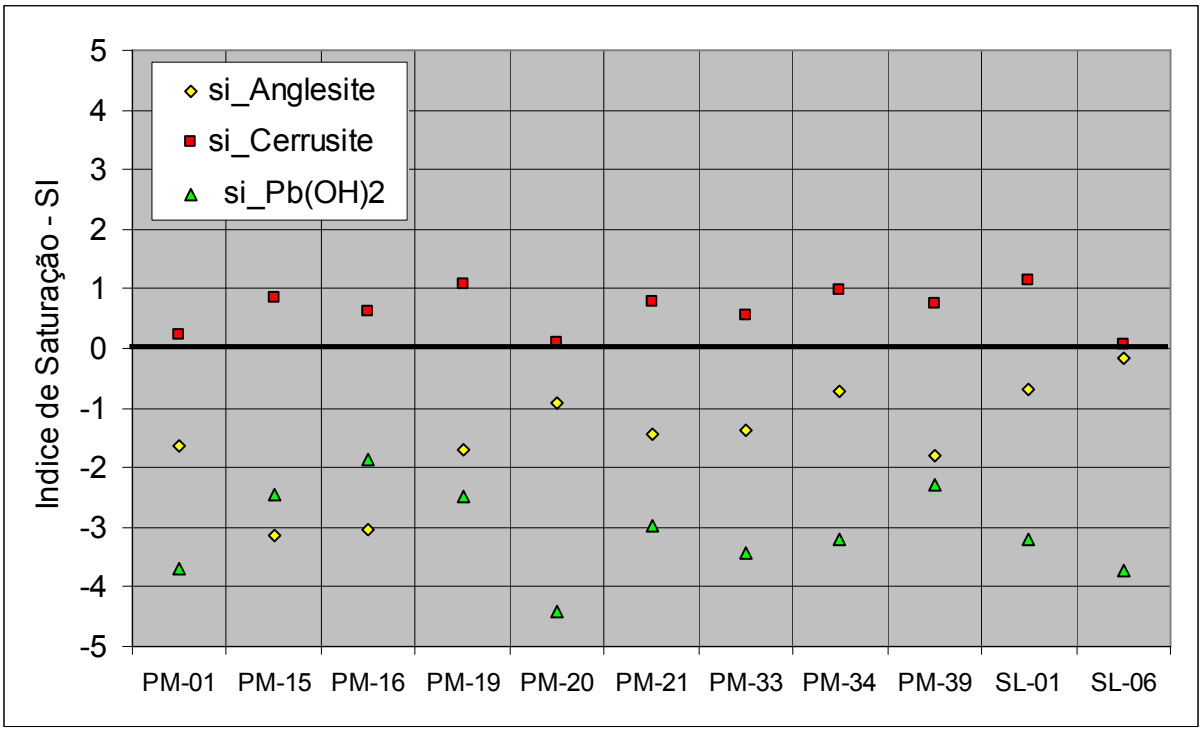


Gráfico 1 – Índice de saturação das espécies dominantes de Pb para as amostras de água subterrânea.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

4.5 – ANÁLISE DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQÜÍFEROS

O termo vulnerabilidade de um aqüífero à contaminação é utilizado para representar as características intrínsecas que determinam a sua susceptibilidade em ser adversamente afetado por uma carga de contaminante (FOSTER, 1987).

A vulnerabilidade de um aqüífero é função dos seguintes fatores:

- Inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes;
- Capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aqüífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante;

A interação destes componentes de vulnerabilidade com a carga contaminante no subsolo, leva em conta os seguintes fatores:

- O modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular, a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;

- A classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência.

No Quadro 10 são discriminados os principais fatores que controlam a vulnerabilidade de um aqüífero.

COMPONENTES DA VULNERABILIDADE DO AQÜÍFERO À CONTAMINAÇÃO	DADOS HIDROGEOLÓGICOS	
	IDEALMENTE REQUERIDOS	NORMALMENTE DISPONÍVEIS
Inacessibilidade hidráulica	➢ grau de confinamento do aqüífero; ➢ profundidade do nível freático ou do aqüífero; ➢ conteúdo de unidade da zona não-saturada; ➢ condutividade hidráulica vertical do aquiperm* ou aqüitardo**;	➢ tipo de contaminante; ➢ profundidade da água subterrânea.
Capacidade de atenuação	➢ distribuição dos tamanhos dos grãos e fissuras do aqüiperm ou aqüitardo; ➢ mineralogia do aqüiperm ou matriz do aqüitardo.	➢ Grau de consolidação e fissuração do aqüiperm ou aqüitardo; ➢ Característica litológica do aqüiperm ou aqüitardo.
*Aqüiperm: termo aqui utilizado para definir estratos não-saturados sobre o nível freático, que permite um livre movimento vertical de infiltração. **Aqüitardo: termo aqui utilizado para definir estratos semi-permeáveis com interface de topo ou de base com um aqüífero semi-confinado.		

Quadro 10–Fatores relacionados a vulnerabilidade do aqüífero à contaminação.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Dentre estes fatores que determinam a vulnerabilidade natural dos aqüíferos, na presente avaliação, são contemplados os seguintes parâmetros básicos principais, os quais podem ser facilmente obtidos de levantamentos hidrogeológicos, empregando-se o método proposto por FOSTER & HIRATA (1993), conforme esquematicamente mostrado na Figura 40:

- O tipo de ocorrência da água subterrânea;
- As características dos estratos acima da zona saturada, em termos litológicos e grau de consolidação;
- A profundidade do nível freático ou teto do aqüífero confinado.

Embora reduzidas, essas três características contêm, qualitativamente, a maioria dos parâmetros considerados no Quadro 08 com a sua indexação em três fases discretas de análise, dentro de um intervalo de 0 a 1.

Do exposto, e levando-se em conta as características hidrogeológicas anteriormente descritas, são apresentados os seguintes resultados para a área de estudo:
Aqüífero Aluvial, granular, livre – associado aos depósitos aluviais constituído por sedimentos areno-argilosos e argilo-arenosos:
- índice de ocorrência da água subterrânea ..... 1,00 (efeito de aqüitardo)
- índice de consolidação e litologia 0,58
- índice de profundidade da água subterrânea 0,70
- **vulnerabilidade do aqüífero**:..... 1,00 x 0,58 x 0,7 ≈ 0,406.....**Moderada**.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

5 – CONCLUSÕES

O modelo geológico para a área compreende os sedimentos areno-argilosos e argilo-arenosos do Grupo Barreiras, sendo definidos na área, além do solo, duas unidades principais: Unidade Areno-argilosa e areno-siltosa 1, Unidade Arenosa 2.

O sinal GPR para os horizontes das camadas sedimentares mostrou-se razoável, e possibilitando as individualizações das unidades propostas, permitindo claramente a distinção dos refletores que estabelecem as relações de contato e geometria do padrão interno das unidades.

As seções SEVME possuem padrões representativos para as unidades sedimentares propostas: observa-se que nas unidades onde há predominância de sedimentos arenosos sobre os sedimentos argilosos, os valores de resistividade aparente é relativamente menor do que nas unidades onde os sedimentos argilosos predominam sobre os arenosos.

Foram encontrados Dioxinas e Furanos em amostras de solo coletadas a 0,2 metros de profundidade, profundidade intermediária e sobre a franja capilar. Já que as amostras com Dioxinas e Furanos foram detectadas em grande maioria nas amostras coletadas a 0,2m de profundidade e reduzindo nas amostras mais profundas, é possível que a forma com que estes compostos atingiram o solo seja por aerossol.

O modelo hidrogeológico conceitual da área caracteriza-se pela ocorrência de um aqüífero livre, do tipo granular, associado a depósitos sedimentares clásticos do Grupo Barreiras. A carga hidráulica varia entre os pontos mais a montante e mais a jusante, de 4,26 m (PM-33) a 0,86 m (PM-15), resultando em um desnível de 3,4 m. Reportando-se ao mapa piezométrico da Figura 44, verifica-se um padrão parcialmente radial para o fluxo das águas subterrâneas, segundo as direções principais W-E, NW-SE e SW-NE. Na faixa meridional da área, o escoamento subterrâneo se dá no sentido NW-SE, enquanto que na sua faixa setentrional-ocidental o fluxo tem sentido SW-NE, e na porção central da área ocorre descarga natural sentido W-E. O fluxo SW-NE está influenciado pela obra de ampliação da Portocel, ocasionando um cone de rebaixamento.

As plumas de Chumbo, localizadas na porção setentrional a fluxo montante, e na porção meridional oriental, a fluxo jusante da água subterrânea, sugerem que a origem deste chumbo pode estar associada aos sedimentos do Grupo Barreiras, já que foi calculado que parte deste metal está sob a forma de Cerrusita, e que variações no pH podem liberar Pb^{+2}.

O Ferro foi encontrado em concentração acima do limite de potabilidade do Ministério da Saúde, 0,03ppm, em quase toda a área estudada, incluindo a amostra do poço de monitoramento definido como background.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

A pluma de manganês está distribuída, assim como o ferro, em conformidade com a piezometria da área, estando as concentrações acima de 0,1ppm localizadas na região central e meridional da área.

As plumas de sódio e cloreto estão posicionadas nas proximidades da praia e a fluxo montante, pode-se afirmar que não há relação entre as duas plumas. A pluma localizada próximo à praia está sobre influência marinha, enquanto que a pluma localizada na porção a fluxo montante indica uma resposta do meio físico a uma possível influência antrópica. Em zonas onde há contaminação por compostos orgânicos ocorre uma atenuação natural do meio, liberando cloreto, sódio, nitrato e sulfato.

A respeito dos Pesticidas, mesmo não tendo sido detectado nas amostras de água analisadas, a sua presença na porção basal do aquífero não deve ser descartada.

As fases dissolvidas de dioxinas (1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD e Octa-CDD) e furanos (1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF e Octa-CDF), encontradas em amostras de águas subterrâneas coletadas em poços de monitoramento localizados à fluxo montante, indicam que fase densa (DNAPL) está localizada em zonas mais profundas. Estes compostos são densos, ou seja, tendem a escoar verticalmente até alcançar alguma barreira geológica, como uma rocha selante. O que foi encontrado foi apenas a fase dissolvida, que representa apenas um rastro da fase densa (DNPL) deixada nos poros dos sedimentos.

Para uma maior segurança, recomenda-se um monitoramento regular das águas subterrâneas locais, pois são classificadas como não potáveis devido à presença de compostos como Pb, H_2S, Na e Cl acima dos valores máximos de potabilidade do Ministério da Saúde, e também pela presença da fase dissolvida das dioxinas e furanos. Portanto não podem ser utilizadas para fins de abastecimento.

Recomenda-se a realização de uma análise de risco na área para avaliar os impactos destes compostos para a saúde humana.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10004. 2004. Norma Brasileira – Resíduos Sólidos – Classificação.

ABNT NBR 10007. 2004. Norma Brasileira – Amostragem de Resíduos Sólidos.

ABNT NBR 13895. 1997. Norma Brasileira – Poços de Amostragem e Monitoramento.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2002. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Designation: E 1739 – 95.

ASTM, 2001. Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells. D-4448-01. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

ATSDR, 1993. Toxicological profile for lead. Agency for toxic substances and disease registry. Atlanta 307 p.

Canadian Council of Ministers of Environment (CCME) 1996. A protocol for derivation of environmental and human health soil quality guidelines. Winnipeg

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2000. Canada-wide Standards for Petroleum Hydrocarbons. Scientific Rationale. Technical Supporting Document.

Canadian Council of Ministers of Environment (CCME). 2002. Canadian Environmental Quality Guidelines. Update 2.

CETESB – Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 2001a. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Relatório Técnico. Relatório Técnico.

CETESB – Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 2001b. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneos no Estado de São Paulo. Relatório Técnico.

Chapelle, F.H., 1993. Ground-Water Microbiology and Geochemistry. John Wiley&Sons, Inc., New York, 1993, 424p.

Canter, L.W.; Knox, R.C. and Fairch ILD, D.M., 1985. Groundwater Quality Protection. Lewis Publishers, 1vol.

Custódio, E.G. & Llamas, M.R,1976. Hidrologia Subterránea, Barcelona, Espanha. Ediciones Omega, 2v., 2.359p.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Ferraz, C. M. L. & Valadão, R. C., 2005. Barreiras: Formação ou Grupo? (Contribuições da análise geomorfológica do litoral sul da Bahia e das "Chapadas" do Jequitinhonha). Disponível em http://www.abequa2005.geologia.ufrj.br/nukleo/pdfs/0114_artigo_caio_ferraz_versao_final_.pdf.

Health Canada. 2003. Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part II: Health Canada Toxicological Reference Values (TRVs). Version 1.0. October 3, 2003.

Hem, J. D.., 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. USGS-United States Geological Survey-supply paper 2254; third edition,1985 (also published in 1986 and 1989).

FOSTER, S. & HIRATA, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. (Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Akie Iritani). Boletim do Instituto Geológico, n. 10, 92 p.

FaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C. 1994.Hazardous Waste Management. McGraw-Hill, New York, Inc. USA. 1.146p

GUAGLIANONI, L. G. ; PIRES, E. C. . Compostos Organoclorados Em Efluentes da Indústria de Papel e Celulose Se Degradam Anaerobiamente?. In: 19 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. Anais do 19 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - em CD-ROM. Foz do Iguaçu

Logan, J. 1965. The interpretation of chemical analyses of water. U.S. Agency for International Development, Recife, Brazil, March 1965. 1v., 87 p. Edição traduzida pela SUDENE, Recife, 1965.

Morais, R. M. O.; Mello, C. L.; Costa, F. O.; Ribeiro, C. S., 2005. Estudo faciológico de depósitos Terciários (Formações Barreiras e Rio Doce) aflorantes na porção emersa da Bacia do Espírito Santo e na região emersa adjacente à porção norte da Bacia de Campos. Disponível em http://www.abequa2005.geologia.ufrj.br/nukleo/pdfs/0291_rute_morais.pdf

Martins, P.P. & Scudino, P.C.B. 1988. Potencial redox (Eh), pH, isótopos ambientais e metais traços na optimizacão de levantamentos hidrogeoquímicos para prospecção mineral e poluição de aqüíferos. Anais, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 41, n.1-4, p.261-291. III Simpósio Brasileiro de Geoquímica, Ouro Preto, 1985.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

Newell et all. 2002. Calculation and use of first-order rate constants for monitored natutal attenuation studies. Ground Water Issue, EPA/540/S-02/500 NOVEMBER 2002, 28 pages.

PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS DO LESTE, 2000. MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL- SECT DE RECURSOS HÍDRICOS (DF), RURALMINAS(MG)-FUNARBE-UFV (MG). ITEM 5 – HIDROGEOLOGIA. Belo Horizonte (MG).

Portaria 518, 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde, Brasília (DF).

Puls, R.W. and M.J. Barcelona, 1996. GROUNDWATER ISSUE PAPER: Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures; U.S. Environmental Protection Agency, EPA/540/S-95/504, 12 pp.

Scudino, P.C.B., 1997. Técnicas de prospecção hidrogeológica aplicadas à poluição de aqüíferos. Simpósio de Recursos Hídricos do Brasil e Meio Ambiente. ABAS, Rio de Janeiro, outubro/1997.

Scudino, P.C.B.2002. Gênese das Águas – Hidroquímica das Águas Subterrâneas. II Simpósio de Águas Minerais. ABAS-MG. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Caxambu (MG), 2002.

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A. July 1989.

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1992a. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part B. Development of Risk Based Preliminary Remedial Goals December 1991.

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1992b. A Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term. Publication 9285.7-081. Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Disponível em: http://www.deq.state.ms.us/newweb/opchome.nsf/pages/HWDivisionFiles/$file/uclmean.pdf

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1996. Soil screening guidance: Technical background document. Washington, DC : EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response, 168p. (EPA/540/R-95/128)

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1997. Exposure Factors Handbook. August. US Environmental Protection Agency Region III (US EPA Region III).

US Environmental Protection Agency (US EPA). 2002. *Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites.* Office of Emergency and Remedial Response U.S. Environmental Protection AgencyWashington, DC 20460. December, 2002.

US Environmental Protection Agency (US EPA). 2003. EPA National Primary Drinking Water Standards - San Francisco, CA 2003 Disponível em http://www.epa.gov/safewater

US Environmental Protection Agency (US EPA). 2004. EPA Region 9 Preliminary Remediation Goals (PRG's) - San Francisco, CA 2004 Disponível em http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/index.htm.

US Environmental Protection Agency (US EPA), SW-846 Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods, versão 2. third edition.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. (STM). Edited by: Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton.

Rua do Campo, 80 - Vale do Sereno - Nova Lima - MG - Cep: 34000-000
Tel/ Fax: 55-31-2104-7171 - e-mail: georadar@georadar.com.br - www.georadar.com.br