



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
GEOLOGIA AMBIENTAL, HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL EM ÁREA DE
PEDREIRAS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO
DE FEIRA DE SANTANA – BA

JOÃO LUIS BEHRENS FERREIRA OLIVEIRA

SALVADOR

2018

**INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL EM ÁREA DE
PEDREIRAS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO
DE FEIRA DE SANTANA – BA**

João Luis Behrens Ferreira Oliveira

Orientador : Iracema Reimão Silva

Co-orientador : Luiz Rogério Bastos Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

SALVADOR

2018

JOÃO LUIS BEHRENS FERREIRA OLIVEIRA

**INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL EM ÁREA DE
PEDREIRAS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO
DE FEIRA DE SANTANA – BA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

DISSERTAÇÃO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:

Dr. Luiz Rogério Bastos Leal
Co-Orientador – IGEO/UFBA

Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos
Examinador Externo – CPRM

Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento
Examinador Interno IGEO/UFBA

Salvador – BA

2018

Dedicatória

A minha mãe, Sandra Behrens, por toda cobrança e árdua batalha para minha formação profissional e intelectual.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Programa de Pós Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia e a Fapesb (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia). Agradeço a Equipe da Geocia Ambiental, Geofsite e SENAI por todas colaborações realizadas. Meus orientadores Iracema Reimão e Luiz Rogério, meus profundos agradecimentos. Rogério Porciuncula pelos ensinamentos. Denilton Salomão pela grande ajuda e compreensão. Agradeço ainda aos que contribuíram para a formatação e correções do formato final do projeto, principalmente, Aníbal Ramos. Aos meus familiares, em especial Sandra Behrens, Luis Alberto, Tereza Behrens e Kátia Behrens, essa vitória vai pra vocês. Agradeço também a coordenadora do programa, Simone C. P. Cruz, e aos meus advogados da Lopes, Brust e Rocha. E Deus, sempre presente em nossas vidas.

RESUMO

O município de Feira de Santana enfrenta problemas envolvendo políticas de gestão ambiental, dentre eles, pode-se destacar as relacionadas às áreas de mineração e disposição de resíduos sólidos urbanos. As atividades mineradoras causam impactos significativos ao meio ambiente; os principais impactos identificados em “lavras a céu aberto” estão relacionados ao meio físico-biótico, dentre os quais se destacam a erosão, desmatamento, poluição visual, contaminação dos solos e recursos hídricos, etc. Devido à intensa intervenção antrópica e alteração das características ambientais na região das pedreiras de Feira de Santana, as atividades de mineração acarretam o surgimento de áreas degradadas no final da exploração. A área em estudo possui a Pedreira Rio Branco, em atividade, e a pedreira Nova Esperança que foi desativada sem um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. É nessa pedreira desativada que a problemática das atividades minerárias se cruza com a problemática da gestão de resíduos sólidos urbanos, pois na extinta cava dessa pedreira foi instalado um lixão. A disposição final adequada de resíduos sólidos urbanos se inicia com a escolha de locais favoráveis do ponto de vista ambiental, logo quando o lixo é disposto sem um estudo necessário e mal gerenciado acaba por gerar problemas ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública. A contaminação por chorume em áreas de lixões e aterros quase sempre se faz presente, necessitando de metodologias eficientes para o diagnóstico, remediação e monitoramento. Diante desse cenário, este trabalho expõe dados do mapeamento geológico-estrutural realizado em parceria com a empresa Geocia Ambiental e resultados da interpretação de dados hidroquímicos e análise de seções e interpretações geoeletricas realizadas pela empresa Geofsite em região a jusante da Pedreira Nova Esperança no município de Feira de Santana, Bahia. O estudo geofísico de eletrorresistividade através das seções geoeletricas PG 10 e PG 15 permitiu uma avaliação indireta, em profundidade, da área. O PG 10 apresentou predominantemente altas resistividades, mostrou um possível contato com rochas do embasamento cristalino desde a superfície e existência de falhas e/ou fraturas que podem servir de condutos para chorume e/ou possíveis contaminantes. No PG 15 foram visualizadas zonas de resistividades muito baixas, tendo sido interpretadas como possíveis cavas da extinta pedreira, devido ao formato arredondado que estão apresentadas. Nesse perfil não foi possível detectar as rochas do embasamento nem falhas e fraturas, comportamento esse que pode indicar percolação de fluídos condutivos. Também foram realizados, pela equipe do SENAI, ensaios físico-químicos e microbiológicos de água subterrânea em poços de monitoramento da área de trabalho (PZ Norte, Sul e Poço Volvo). De forma geral, foram encontradas anomalias de determinados parâmetros na maioria dos poços (Alcalinidade, Coliformes Totais, Condutividade, Sólidos Totais, Cloreto) e alguns metais; Fe e Mn, no PZ Sul, e, Mn no Poço da Volvo. Muitos desses resultados foram interpretados como anomalias condutivas que podem estar relacionadas à possíveis bolsões de chorume, também, visualizados na interpretação da seção geoeletrica. Os resultados obtidos foram comparados com resultados obtidos por Santos (2004), e, dessa forma, possibilitaram uma análise temporal da área em estudo, mostrando que grande parte dos parâmetros analisados apresentou atenuação com o fator tempo, porém se mostram persistentes nos poços analisados.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, lixão, aterro sanitário, pedreiras, investigação geoambiental.

ABSTRACT

The municipality of Feira de Santana faces problems involving environmental management policies, among which one can highlight those related to the areas of mining and urban solid waste disposal. Mining activities cause significant impacts to the environment; the main impacts identified in "open pit" are related to the physical-biotic environment, among which are erosion, deforestation, visual pollution, contamination of soils and water resources, etc. Due to the intense anthropic intervention and alteration of the environmental characteristics in the quarry region of Feira de Santana, mining activities lead to the appearance of degraded areas at the end of the exploration. The study area has the Rio Branco Quarry, in activity, and the Nova Esperança quarry that was deactivated without a Degraded Areas Recovery Plan. It is in this disused quarry that the problem of mining activities crosses with the problem of solid urban waste management, because in the extinct pit of this quarry was installed a dump. The final disposal of urban solid waste begins with the choice of environmentally friendly sites, so when waste is disposed of without a necessary and poorly managed study, it generates environmental, social, economic and public health problems. Sludge contamination in landfills and landfills is almost always present, requiring efficient methodologies for the diagnosis, remediation and monitoring. In this scenario, this work presents data from the geological-structural mapping carried out in partnership with the company Geocia Ambiental and results of the interpretation of hydrochemical data and analysis of sections and geoelectrical interpretations carried out by Geofsite in a region downstream of the Pedreira Nova Esperança in the municipality of Feira de Santana, Bahia. The geophysical study of electroresistance through the geoelectric sections PG 10 and PG 15 allowed an indirect in-depth evaluation of the region. The PG 10 presented predominantly high resistivities, showed a possible contact with crystalline basement rocks from the surface and existence of faults and / or fractures that can serve as conduits for leachate and / or possible contaminants. In PG 15 very low resistivity zones were visualized, and were interpreted as possible cavas of the extinct quarry, due to the rounded shape that are presented. In this profile, it was not possible to detect basement rocks or faults and fractures, which may indicate conductive fluid percolation. Physical-chemical and microbiological tests of groundwater were also carried out by the SENAI team in the work area monitoring wells (PZ Norte, Sul and Volvo Well). In general, anomalies of certain parameters were found in most wells (Alkalinity, Total Coliforms, Conductivity, Total Solids, Chloride) and some metals; Fe and Mn in the South PZ, and Mn in the Volvo Well. Many of these results were interpreted as conductive anomalies that may be related to the possible pockets of slurry, also, visualized in the interpretation of the geoelectric section. The results obtained were compared with results obtained by Santos (2004), and, thus, enabled a temporal analysis of the study area, showing that most of the analyzed parameters presented attenuation with the time factor, but were persistent in the wells analyzed.

Keywords: urban solid waste, landfill, quarries, geoenvironmental research.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	8
CAPÍTULO 2 - ARTIGO: INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL EM ÁREA DE PEDREIRAS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE FEIRA DE SANTANA – BA.....	12
CAPÍTULO 3 – CONCLUSÕES.....	39
ANEXO A- REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOLOGIA USP. SÉRIE CIENTÍFICA.....	40

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Segundo Rodrigues *et al*, 2013 as ações antrópicas são capazes de alterar o meio ambiente, independente da região na qual estejam inseridas. Não existe nenhuma espécie de desenvolvimento sem que hajam estas ações, sendo, desta forma, importante o seu controle e a concomitante recuperação das áreas impactadas. Em áreas de exploração mineral os impactos no meio ambiente podem ser de diferentes grandezas, podendo causar danos de grande proporção. Para tentar minimizar tais efeitos, inerentes a estas e outras atividades, empresas e órgãos vêm adotando ações de gestão ambiental e uma delas têm se demonstrado bastante eficiente, são as ações dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). É neste contexto que a Gestão Ambiental surge, para tentar minimizar os impactos gerados, de forma a garantir que os planos e projetos exigidos pelos órgãos ambientais sejam executados (Rodrigues *et al*, 2013).

O desenvolvimento também está relacionado ao aumento da geração de resíduos. Dessa maneira, segundo Ferreira (2014?) o lixo gerado em meio urbano tornou-se um desafio tanto para a gestão quanto para a sociedade, pois se trata de um problema que abrange aspectos que relacionam tanto sua produção quanto suas áreas de deposição. Para Marega (2011) o aumento acelerado da taxa de natalidade e, conseqüentemente, da população mundial, além do crescimento desordenado das cidades criaram sérios problemas ambientais, por conseqüência tornou-se necessário criar políticas públicas para tentar amenizar a degradação ambiental, ampliando a necessidade de novas tecnologias para o tratamento e áreas para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Porém, devido às políticas de ordenamento territorial e gestão ambiental pouco eficientes, e, muitas vezes, inexistentes, locais técnica e geologicamente inapropriados são utilizados para a disposição final dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos, podendo resultar na instalação de passivos ambientais nessas áreas, como por exemplo, a contaminação do solo, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da degradação de ecossistemas locais, etc (D'Almeida & Vilhena, 2000). É neste contexto que insere-se o trabalho realizado, pois um lixão foi instalado na cava de uma pedreira no município de Feira de Santana.

A problemática envolvendo as atividades minerárias e degradação do meio ambiente, dessa forma, chocou-se com os problemas causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, facilitando assim a possível instalação de passivos ambientais na área em estudo. A região em análise atualmente ainda possui atividades minerárias e realiza recepção de resíduos sólidos urbanos.

De modo geral a contaminação dos aquíferos nessas regiões de descarte inadequado de resíduos é um dos principais impactos ambientais gerados. De acordo com Alves (2012), a água subterrânea contaminada passa ao longo do tempo e espaço, por muitos processos biogeoquímicos que variam conforme as características do lixiviado (chorume) e da hidrogeologia local.

A ABNT NBR 15849 (2010) define o lixiviado ou chorume como o “líquido resultante da infiltração de águas pluviais no maciço de resíduos, da umidade dos resíduos e da água de constituição de resíduos orgânicos liberada durante sua decomposição no corpo do aterro sanitário”. A formação do lixiviado, a partir da degradação dos resíduos, depende da combinação de uma série de processos físico-químicos, químicos e biológicos.

De acordo com Qasim & Chiang (1994), esses fatores podem ser: 1) climatológicos e correlatos (precipitação pluviométrica anual; relevo, escoamento superficial; infiltração; evapotranspiração e temperatura; 2) fatores relativos aos resíduos sólidos (composição; densidade e teor de umidade

inicial); 3) fatores relativos ao tipo de disposição (características de permeabilidade do aterro; idade, profundidade e tempo de maturação do aterro). Também devem ser considerados as características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas locais, forma de operação do aterro, topografia, disposição das células, etc.

Girodo (2008) descreve que a utilização de cavas de minas desativadas oferecem diversas vantagens, entre elas:

- A existência de uma escavação prévia pode se constituir num volume apropriado para estocagem de resíduos, sem necessidade de haver maciços investimentos em obras civis;
- Muitas escavações mineiras ocorrem acima do nível d' água subterrânea, diminuindo o eventual impacto no aquífero;
- Normalmente encontram-se estéreis de mina ou rejeitos de usina nas adjacências o que permite cobrir os resíduos (urbanos ou industriais estocados);
- As grandes minas desativadas geralmente encontram-se ligadas à rede viária da região e que pode ser usada para o transporte dos resíduos;
- A maioria das minas desativadas (nem todas) situam-se longe de áreas residenciais;
- As velhas minas desativadas comumente dispõem de informações geológica e hidrogeológica (Girodo, 2008);

Em relação à área de estudo, não foram realizados estudos ambientais e nem adotadas técnicas de engenharia para disposição dos resíduos, logo, às vantagens citadas acima, mesmo que consideradas positivas, tornaram-se entraves à recepção de resíduos, pois a região não se encontrava em zona geológica favorável (rochas cristalinas extremamente fraturadas) e não foi devidamente preparada.

Conforme a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil, 50,8% dos resíduos sólidos destinam-se a lixões, 22,5% a aterros controlados e 26,7% a aterros sanitários. Somente no Brasil, são produzidos cerca de 240 mil toneladas de lixo todos os dias, sendo que apenas 2% de tudo isso segue para reciclagem. A região das Pedreiras em estudo é marcada pela existência de um lixão/Aterro Controlado e de aterros sanitários.

Para nivelar as informações desse artigo, alguns termos precisam ser definidos. Para isso, serão utilizados os conceitos de Ecodesenvolvimento (2010):

Lixão: O termo lixão corresponde a uma área de disposição final de resíduos sólidos sem nenhuma preparação anterior do solo. Institucionalizados ou clandestinos, esses locais recebem volumes diários de lixo que são amontoados sem nenhum estudo prévio geológico/hidrogeológico, análise de risco, impermeabilização com manta e camadas de argila, destinação dos resíduos gerados, etc. Dessa forma esses ambientes acabam tornando-se vulneráveis à poluição causada pela decomposição do lixo, tanto no solo, quanto nos aquíferos e no ar. A maior parte dos resíduos depositados entra em processo natural de decomposição, gerando chorume e gás metano, que a depender da geologia local pode penetrar no solo contaminando diretamente o aquífero, ou, como no estudo de caso aqui realizado, ultrapassar as fraturas existentes na formação cristalina local e causar uma possível contaminação. Já o biogás resultante da decomposição do lixo e formado por gases como metano, gás carbônico (CO₂) e vapor d' água, é liberado diretamente para a atmosfera – sem antes passar por nenhum tipo de tratamento.

Aterro Controlado: locais intermediários entre o lixão e o aterro sanitário. Trata-se geralmente de antigas células onde os resíduos eram “jogados” sem nenhum controle e que foram remediadas e passaram a reduzir os impactos ambientais e a gerenciar o recebimento de novos resíduos. Esses locais recebem cobertura de argila e grama e fazem a captação dos gases e do chorume. O biogás é capturado e queimado e parte do chorume é recolhida para a superfície. Os aterros controlados são cobertos com terra ou sedimentos diariamente, fazendo com que o lixo não fique exposto e não atraia animais.

Aterro Sanitário: espaços preparados para a deposição final de resíduos sólidos gerados pela atividade antrópica. Esses locais são planejados para serem sustentáveis, evitando contaminações do solo e aquífero, além de captar e tratar os gases e líquidos resultantes do processo de decomposição. As células são impermeabilizadas com mantas de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e camadas de material argiloso e o chorume é drenado e depositado em um poço, para tratamento futuro. O biogás é drenado e pode ser queimado em *flaires* ou aproveitado para geração de energia. Por ser coberto por terra diariamente não há proliferação de pragas urbanas (ratos, urubus, baratas, etc).

De acordo com Geocia Ambiental (2016), a partir da década de 80, diversos projetos de lei, decretos e resoluções foram e vem sendo estabelecidos nas mais diversas esferas políticas. Essas leis tem a finalidade de tentar regulamentar todas as etapas que envolvem os resíduos, desde sua produção, transporte e correta destinação final. Ainda de acordo com o autor, os primeiros resultados positivos dessas ações surgiram apenas no final dos anos 90 e os resultados mais importantes apenas nos anos 2000: Resolução CONAMA nº404/2008 (Brasil, 2008), que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos, Lei Federal nº12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e Lei Estadual nº12.932/2014 (Política Estadual de Resíduos Sólidos) (Bahia, 2014).

Segundo Santos (2004) um dos principais fatores que iniciaram a política de resíduos sólidos com a finalidade de regulamentar a problemática envolvendo o lixo foi devido à instalação de passivos ambientais e vários incidentes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas no Brasil. Como exemplos, têm-se: lixão na cidade de São Carlos (Gadotti, 1997); os aterros de Muribeca e Aguazinha na região metropolitana do Recife, (Jucá, 2002), o aterro municipal de Tatuí, São Paulo e o lixão/aterro controlado municipal de Feira de Santana (Santos, 2004).

Na literatura científica, podem-se encontrar inúmeros trabalhos de investigação geoambiental em lixões e aterros sanitários, utilizando análises geoquímicas de solo, água subterrânea e chorume para avaliação da condição ambiental da área do sítio e entorno e utilização de métodos geofísicos, principalmente o método de eletrorresistividade (ER). De acordo com Porciuncula (2016), ao longo dos anos, os métodos geofísicos tem se mostrado eficientes na avaliação e caracterização de problemas ambientais, e amplamente utilizados na investigação e monitoramento de contaminação subterrânea. Ainda de acordo com o autor estes surgem como uma eficiente e importante ferramenta para o estudo do meio geológico-geotécnico, com a vantagem da não invasão ao terreno, versatilidade de aplicações e rapidez na avaliação de grandes áreas.

Bortolin (2012) descreveu o chorume como um contaminante extremamente agressivo que pode atacar os metais contidos nos resíduos, liberando íons que se agregam aos materiais geológicos. Ainda de acordo com o autor, locais contaminados por chorume, como lixões e aterros, contêm eletrólitos ricos em íons, favorecendo, assim, a condução de corrente elétrica na forma iônica. Assim, contaminações por chorume em subsuperfície podem ser detectadas pelo método eletrorresistivo, pois nesses locais os valores de resistividade são mais baixos (Bortolin, 2012). Dentre alguns trabalhos realizados, pode-se destacar:

Bernardes (1999) realizou a caracterização geofísica e geoquímica da área de disposição de resíduos sólidos do Aterro Controlado do Jockey Clube no Distrito Federal. Cavalcanti (2013) realizou a aplicação de métodos geoeletricos no aterro Jockey com a finalidade de delineamento da pluma de contaminação.

Santos (2004) utilizou a geofísica para melhor conhecimento do comportamento hidrogeológico do lixão do município de Feira de Santana, Bahia. Foram realizados perfis geofísicos eletromagnéticos com objetivo de mapear as fraturas existentes na região em estudo. Também foi realizada análise geoquímica dos poços de monitoramento, dessa forma, os dados obtidos por Santos em 2004 foram

imprescindíveis para realização de análise temporal de alguns dos poços de monitoramento da região em estudo, levando em consideração os diferentes cenários e os 15 anos de extinção do Aterro Municipal Nova Esperança.

Este trabalho tem como objetivo geral realização de campanha de amostragem temporal para caracterização da qualidade das águas na porção oeste do município de Feira de Santana. Mais precisamente em área de influência das pedreiras Rio Branco, extinta pedreira Nova Esperança (atual Lixão desativado Nova Esperança) e aterros sanitários em atividade.

Os objetivos específicos foram:

- Análise dos resultados e interpretações obtidas pela empresa Geofsite Geologia e Geofísica Ltda. através dos caminhamentos elétricos dipolo-dipolo;
- Monitoramento e análise temporal (2004-2017) físico-químico dos poços PZ-01 Norte, PZ-01 Sul e Poço da Volvo.
- Promover a integração de dados geológicos, estruturais, geofísicos, hidrogeológicos e hidroquímicos para caracterização dos impactos ambientais causados aos recursos hídricos subterrâneos e estudo do fluxo subterrâneo da região.

Este trabalho avalia e discute os resultados da aplicação do método de Eletrorresistividade pela empresa Geofsite, por meio da técnica de caminhamento elétrico, método dipolo-dipolo; e, análise dos resultados da água subterrânea dos poços de monitoramento PZ Norte, PZ Sul e Poço da Volvo, na determinação qualitativa e quantitativa da região das Pedreiras do município de Feira de Santana.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. F. C., BERTOLO, R. A. Geoquímica de águas subterrâneas impactadas por aterros de resíduos sólidos, São Paulo, v.26, p. 43-64, fev/jun. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro. 2010. 24 p.
- BAHIA, Lei Estadual nº12.932, de 07 de janeiro de 2014. Política Estadual de Resíduos Sólidos. Diário Oficial do Estado: Bahia, 7 jan. 2014.
- BERNARDES, R. S.; PASTORE, E. L.; PEREIRA, J. H. F.; Caracterização geofísica e geoquímica da área de disposição de resíduos urbanos “Aterro do Joquei Clube” em Brasília – DF. Revista do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, n III – 070, p. 1969-1980, ano 1999.
- BORTOLIN, J. R. M. *Monitoramento temporal da pluma de contaminação do aterro controlado de Rio Claro (SP) por meio do método da eletrorresistividade*. 2009. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro.

BORTOLIN, J.R.M.; MALAGUTTI FILHO, W. Monitoramento temporal da pluma de contaminação no aterro de resíduos urbanos de Rio Claro (SP) por meio do método geofísico da eletrorresistividade. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, v. 12, n.3, p. 99-113, dez. 2012.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008. *Diário Oficial da União*: Brasília, v. 220, p. 93, nov. 2008.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa nacional de saneamento básico – 2000*. 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

CAVALCANTI, M. M. (2013) Aplicação de métodos geoeletricos no delineamento da pluma de contaminação nos limites do aterro controlado do Jockey Clube de Brasília. 128p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Aplicada) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

D’ALMEIDA, M. L. O & VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

ECODESENVOLVIMENTO. EcoD Básico: Lixão, Aterro controlado e Aterro Sanitário. Disponível em <<http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/ecod-basico-lixao-aterro-controlado-e-aterro>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

FERREIRA, C. L. L., SILVA, A. A. R. O lixo no município de Feira de Santana: problemas e soluções, Feira de Santana, v.1, p. 1-11, 2014(?).

GADOTTI, R. F. (1997) Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao “lixão” da cidade de São Carlos. 144 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

GEOCIA AMBIENTAL LTDA. Relatório técnico geofísico e ambiental no Aterro Sanitário, Feira de Santana. P. 127, 2016.

GIRODO, A. C. Cavas de minas para disposição de resíduos (Possibilidades e Restrições), Belo Horizonte, v. 1, p. 1-70, out. 2008.

JUCÁ, J. F.T. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Braga. *Anais...* 2002. [Rio de Janeiro]: ABES, 2002.

SANTOS, C. B.:. Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana – Ba, 2004. 188f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

MAREGA, A. C. P. Lixo urbano, um problema social e responsabilidade de todos. Disponível em < <http://www.cenedcursos.com.br/meio-ambiente/lixo-urbano-problema-social/> >. Acesso em: 12 dez. 2017.

QASIM, S. R., CHIANG, W. 1994, Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment. CRC Press, Boca Raton, FL.

PORCIUNCULA, R. J., LIMA, O. A. L., LEAL, L. R. B. Método Geoelétrico – Potencial instrumento para auxílio da gestão do solo e dos recursos hídricos subterrâneos: Estudos de caso, Alagoinhas, Bahia. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016.

RODRIGUES, V. F. A.; RODRIGUES, J. C.; NUNES, V. J. 2013. Gestão Ambiental em Mineradora – Feira de Santana – BA. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador, Bahia, 2013.

CAPÍTULO 2

INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL EM ÁREA DE PEDREIRAS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE FEIRA DE SANTANA – BA

RESUMO

O município de Feira de Santana enfrenta problemas envolvendo políticas de gestão ambiental, dentre elas, pode-se destacar as relacionadas às áreas de mineração e disposição de resíduos sólidos urbanos. As atividades mineradoras causam impactos significativos ao meio ambiente; os principais impactos identificados em “lavras a céu aberto” estão relacionados ao meio físico-biótico, dentre os quais se destacam a erosão, desmatamento, poluição visual, contaminação dos solos e recursos hídricos, etc. Devido à intensa intervenção antrópica e alteração das características ambientais na região das pedreiras de Feira de Santana, as atividades de mineração acarretam o surgimento de áreas degradadas no final da exploração. A área em estudo possui a Pedreira Rio Branco, em atividade, e a pedreira Nova Esperança que foi desativada sem um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. É nessa pedreira desativada que a problemática das atividades minerárias se cruza com a problemática da gestão de resíduos sólidos urbanos, pois na extinta cava dessa pedreira foi instalado um lixão. A disposição final adequada de resíduos sólidos urbanos se inicia com a escolha de locais favoráveis do ponto de vista ambiental, logo quando o lixo é disposto sem um estudo necessário e mal gerenciado acaba por gerar problemas ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública. A contaminação por chorume em áreas de lixões e aterros quase sempre se faz presente, necessitando de metodologias eficientes para o diagnóstico, remediação e monitoramento. Diante desse cenário, este trabalho expõe dados do mapeamento geológico-estrutural realizado em parceria com a empresa Geocia Ambiental e resultados da interpretação de dados hidroquímicos e análise de seções e interpretações geoeletricas realizadas pela empresa Geofsite em região a jusante da Pedreira Nova Esperança. O estudo geofísico de eletrorresistividade através das seções geoeletricas PG 10 e PG 15 permitiu uma avaliação indireta em profundidade da região. O PG 10 apresentou predominantemente altas resistividades, mostrou um possível contato com rochas do embasamento cristalino desde a superfície e existência de falhas e/ou fraturas que podem servir de condutos para chorume e/ou possíveis contaminantes. No PG 15 foram visualizadas zonas de resistividades muito baixas, tendo sido interpretadas como possíveis cavas da extinta pedreira, devido ao formato arredondado que estão apresentadas. Nesse perfil não foi possível detectar as rochas do embasamento nem falhas e fraturas, comportamento esse que pode indicar percolação de fluídos condutivos. Também foram realizados, pela equipe do SENAI, ensaios físico-químicos e microbiológicos de água subterrânea em poços de monitoramento da área de trabalho (PZ Norte, Sul e Poço Volvo). De forma geral, foram encontradas anomalias de determinados parâmetros na maioria dos poços (Alcalinidade, Coliformes Totais, Condutividade, Sólidos Totais, Cloreto) e alguns metais; Fe e Mn, no PZ Sul, e, Mn no Poço da Volvo. Muitos desses resultados foram interpretados como anomalias condutivas que podem estar relacionadas à possíveis bolsões de chorume, também, visualizados na interpretação da seção geoeletrica. Os resultados obtidos foram comparados com resultados obtidos por Santos (2004), e, dessa forma, possibilitaram uma análise temporal da área em estudo, mostrando que grande parte dos parâmetros analisados apresentou atenuação com o fator tempo, porém se mostram persistentes nos poços analisados.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, lixão, aterro sanitário, pedreiras, investigação geoambiental.

ABSTRACT

The municipality of Feira de Santana faces problems involving environmental management policies, among which one can highlight those related to the areas of mining and urban solid waste disposal. Mining activities cause significant impacts to the environment; the main impacts identified in "open pit" are related to the physical-biotic environment, among which are erosion, deforestation, visual pollution, contamination of soils and water resources, etc. Due to the intense anthropic intervention and alteration of the environmental characteristics in the quarry region of Feira de Santana, mining activities lead to the appearance of degraded areas at the end of the exploration. The study area has the Rio Branco Quarry, in activity, and the Nova Esperança quarry that was deactivated without a Degraded Areas Recovery Plan. It is in this disused quarry that the problem of mining activities crosses with the problem of solid urban waste management, because in the extinct pit of this quarry was installed a dump. The final disposal of urban solid waste begins with the choice of environmentally friendly sites, so when waste is disposed of without a necessary and poorly managed study, it generates environmental, social, economic and public health problems. Sludge contamination in landfills and landfills is almost always present, requiring efficient methodologies for the diagnosis, remediation and monitoring. In this scenario, this work presents data from the geological-structural mapping carried out in partnership with the company Geocia Ambiental and results of the interpretation of hydrochemical data and analysis of sections and geoelectrical interpretations carried out by Geofsite in a region downstream of the Pedreira Nova Esperança in the municipality of Feira de Santana, Bahia. The geophysical study of electroresistance through the geoelectric sections PG 10 and PG 15 allowed an indirect in-depth evaluation of the region. The PG 10 presented predominantly high resistivities, showed a possible contact with crystalline basement rocks from the surface and existence of faults and / or fractures that can serve as conduits for leachate and / or possible contaminants. In PG 15 very low resistivity zones were visualized, and were interpreted as possible cavas of the extinct quarry, due to the rounded shape that are presented. In this profile, it was not possible to detect basement rocks or faults and fractures, which may indicate conductive fluid percolation. Physical-chemical and microbiological tests of groundwater were also carried out by the SENAI team in the work area monitoring wells (PZ Norte, Sul and Volvo Well). In general, anomalies of certain parameters were found in most wells (Alkalinity, Total Coliforms, Conductivity, Total Solids, Chloride) and some metals; Fe and Mn in the South PZ, and Mn in the Volvo Well. Many of these results were interpreted as conductive anomalies that may be related to the possible pockets of slurry, also, visualized in the interpretation of the geoelectric section. The results obtained were compared with results obtained by Santos (2004), and, thus, enabled a temporal analysis of the study area, showing that most of the analyzed parameters presented attenuation with the time factor, but were persistent in the wells analyzed.

Keywords: urban solid waste, landfill, quarries, geoenvironmental research.

INTRODUÇÃO

Segundo Rodrigues *et al*, 2013 as ações antrópicas são capazes de alterar o meio ambiente, independente da região na qual estejam inseridas. Não existe nenhuma espécie de desenvolvimento sem que hajam estas ações, sendo, desta forma, importante o seu controle e a concomitante recuperação das áreas impactadas. Em áreas de exploração mineral os impactos no meio ambiente podem ser de diferentes grandezas, podendo causar danos de grande proporção. Para tentar minimizar tais efeitos, inerentes a estas e outras atividades, empresas e órgãos vêm adotando ações de gestão ambiental e uma delas têm se demonstrado bastante eficiente, são as ações dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). É neste contexto que a Gestão Ambiental surge, para tentar minimizar os impactos gerados, de forma a garantir que os planos e projetos exigidos pelos órgãos ambientais sejam executados (Rodrigues *et al*, 2013).

O desenvolvimento também está relacionado ao aumento da geração de resíduos. Dessa maneira, segundo Ferreira (2014) o lixo gerado em meio urbano tornou-se um desafio tanto para a gestão quanto para a sociedade, pois se trata de um problema que abrange aspectos que relacionam tanto sua produção quanto suas áreas de deposição. Para Marega (2011) o aumento acelerado da taxa de natalidade e, conseqüentemente, da população mundial, além do crescimento desordenado das cidades criaram sérios problemas ambientais, por consequência tornou-se necessário criar políticas públicas para tentar amenizar a degradação ambiental, ampliando a necessidade de novas tecnologias para o tratamento e áreas para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Porém, devido às políticas de ordenamento territorial e gestão ambiental pouco eficientes, e, muitas vezes, inexistentes, locais técnica e geologicamente inapropriados são utilizados para a disposição final dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos, podendo resultar na instalação de passivos ambientais nessas áreas, como por exemplo, a contaminação do solo, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da degradação de ecossistemas locais, etc (D’Almeida & Vilhena, 2000). É neste contexto que insere-se o trabalho realizado, pois um lixão foi instalado na cava de uma pedreira no município de Feira de Santana.

A problemática envolvendo as atividades minerárias e degradação do meio ambiente, dessa forma, chocou-se com os problemas causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, facilitando assim a possível instalação de passivos ambientais na área em estudo. A região em análise atualmente ainda possui atividade minerária e realiza recepção de resíduos sólidos urbanos.

De modo geral a contaminação dos aquíferos nessas regiões de descarte inadequado de resíduos é um dos principais impactos ambientais gerados. De acordo com Alves (2012), a água subterrânea contaminada passa ao longo do tempo e espaço, por muitos processos biogeoquímicos que variam conforme as características do lixiviado (chorume) e da hidrogeologia local.

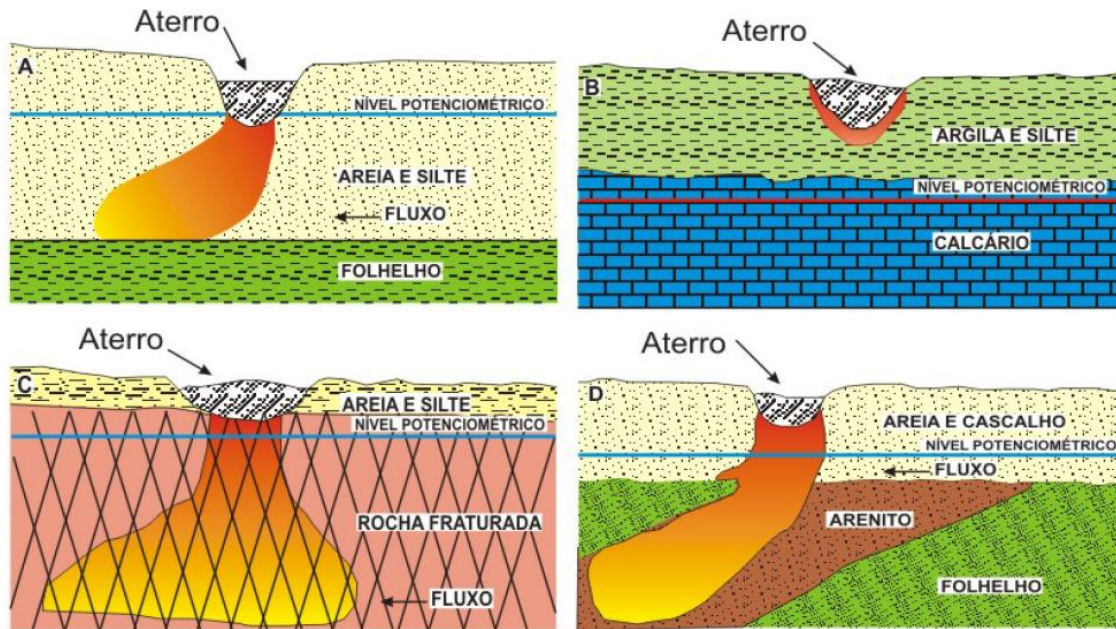
A ABNT NBR 15849 (2010) define o lixiviado ou chorume como o “líquido resultante da infiltração de águas pluviais no maciço de resíduos, da umidade dos resíduos e da água de constituição de resíduos orgânicos liberada durante sua decomposição no corpo do aterro sanitário”. A formação do lixiviado, a partir da degradação dos resíduos, depende da combinação de uma série de processos físico-químicos, químicos e biológicos.

De acordo com Qasim & Chiang (1994), esses fatores podem ser: 1) climatológicos e correlatos (precipitação pluviométrica anual; relevo, escoamento superficial; infiltração; evapotranspiração e temperatura; 2) fatores relativos aos resíduos sólidos (composição; densidade e teor de umidade inicial); 3) fatores relativos ao tipo de disposição (características de permeabilidade do aterro; idade, profundidade e tempo de maturação do aterro). Também devem ser considerados as características

hidrogeológicas e hidrogeoquímicas locais, forma de operação do aterro, topografia, disposição das células, etc.

Santos (2004) demonstrou na Figura 1, a relação entre diferentes unidades e estruturas geológicas e o possível transporte de contaminantes do aterro para o aquífero, sendo a situação geológica da região de estudo no município de Feira de Santana representada pelo exemplo ilustrado em C, ou seja, o aterro está instalado em uma área de rochas cristalinas pré-cambrianas fraturadas com nível freático profundo.

Figura 1: Relação entre diferentes estruturas geológicas e o transporte de contaminantes a partir de um Aterro de Resíduos. A – Aterro instalado sobre areia e silte; B – Aterro sobre pacote argilo-arenoso; C – Aterro sobre rochas fraturadas (Esta é a situação geológica do Aterro de Feira de Santana); D – Aterro instalado sobre substrato arenoso com camadas inclinadas.



Fonte: Santos (2004).

Girodo (2008) descreve que a utilização de cavas de minas desativadas oferecem diversas vantagens, entre elas:

- A existência de uma escavação prévia pode se constituir num volume apropriado para estocagem de resíduos, sem necessidade de haver maciços investimentos em obras civis;
- Muitas escavações mineiras ocorrem acima do nível d' água subterrânea, diminuindo o eventual impacto no aquífero;
- Normalmente encontram-se estéreis de mina ou rejeitos de usina nas adjacências o que permite cobrir os resíduos (urbanos ou industriais estocados);
- A maioria das pedreiras desativadas situa-se longe de áreas residenciais;
- As velhas pedreiras desativadas comumente dispõem de informação geológica e hidrogeológica;

Em relação à área de estudo, não foram realizados estudos ambientais para desativação da pedreira Nova Esperança e não foram adotadas técnicas de engenharia para instalação de área de disposição de resíduos nesta cava, logo, às vantagens citadas acima, mesmo que consideradas positivas, tornaram-se entraves à recepção de resíduos, pois a região não se encontrava em zona geológica favorável (rochas cristalinas extremamente fraturadas) e não foi devidamente preparada.

Conforme a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil, 50,8% dos resíduos sólidos destinam-se a lixões, 22,5% a aterros controlados e 26,7% a aterros sanitários. Somente no Brasil, são produzidos cerca de 240 mil toneladas de lixo todos os dias, sendo que apenas 2% de tudo isso segue para reciclagem. A região das Pedreiras em estudo é marcada pela existência de um lixão/Aterro Controlado e de aterros sanitários.

De acordo com Geocia Ambiental (2016), a partir da década de 80, diversos projetos de lei, decretos e resoluções foram e vem sendo estabelecidos nas mais diversas esferas políticas. Essas leis tem a finalidade de tentar regulamentar todas as etapas que envolvem os resíduos, desde sua produção, transporte e correta destinação final. Ainda de acordo com o autor, os primeiros resultados positivos dessas ações surgiram apenas no final dos anos 90 e os resultados mais importantes apenas nos anos 2000: Resolução CONAMA nº404/2008 (Brasil, 2008), que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos, Lei Federal nº12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e Lei Estadual nº12.932/2014 (Política Estadual de Resíduos Sólidos) (Bahia, 2014).

Segundo Santos (2004) um dos principais fatores que iniciaram a política de resíduos sólidos com a finalidade de regulamentar a problemática envolvendo o lixo foi devido à instalação de passivos ambientais e vários incidentes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas no Brasil. Como exemplos, têm-se: lixão na cidade de São Carlos (Gadotti, 1997); os aterros de Muribeca e Aguazinha na região metropolitana do Recife, (Jucá, 2002), o aterro municipal de Tatuí, São Paulo e o lixão/aterro controlado municipal de Feira de Santana (Santos, 2004).

Na literatura científica, pode-se encontrar inúmeros trabalhos de investigação geoambiental em lixões e aterros sanitários, utilizando análises geoquímicas de água, solo, efluentes e vegetação para avaliação da condição ambiental da área do sítio e entorno e métodos geofísicos, principalmente o método de eletrorresistividade (ER). De acordo com Porciuncula (2016), ao longo dos anos, os métodos geofísicos tem se mostrado eficientes na avaliação e caracterização de problemas ambientais, e amplamente utilizados na investigação e monitoramento de contaminação subterrânea. Ainda de acordo com o autor, estes surgem como uma eficiente e importante ferramenta para o estudo do meio geológico-geotécnico, com a vantagem da não invasão ao terreno, versatilidade de aplicações e rapidez na avaliação de grandes áreas.

Bortolin (2012) descreveu o chorume como um contaminante extremamente agressivo que pode atacar os metais contidos nos resíduos, liberando íons que se agregam aos materiais geológicos. De acordo com o autor, locais contaminados por chorume, como lixões e aterros, contêm eletrólitos ricos em íons, favorecendo, assim, a condução de corrente elétrica na forma iônica. Assim, contaminações por chorume em subsuperfície podem ser detectadas pelo método eletrorresistivo, pois nesses locais os valores de resistividade são mais baixos (Bortolin, 2012). Dentre alguns trabalhos realizados, pode-se destacar:

O trabalho de Elis (1998) descreve as possibilidades de aplicação dos métodos geofísicos elétricos no estudo de áreas de disposição de resíduos e suas limitações na contaminação gerada. Os resultados indicam o método de Eletrorresistividade como a ferramenta mais indicada aos objetivos propostos, principalmente, devido à grande versatilidade, facilidade e rapidez na aquisição de dados em campo.

Bernardes (1999) realizou a caracterização geofísica e geoquímica da área de disposição de resíduos sólidos do Aterro Controlado do Jóquei Clube no Distrito Federal. Cavalcanti (2013) realizou a aplicação de métodos geoeletricos no referido aterro (Jóquei Clube) com a finalidade de delineamento da pluma de contaminação.

Santos (2004) utilizou a geofísica para melhor conhecimento do comportamento hidrogeológico do “lixão” do município de Feira de Santana, Bahia. Foram realizados perfis geofísicos eletromagnéticos

com objetivo de mapear as fraturas existentes na região em estudo. Os resultados acerca do comportamento rúptil da área obtidos durante mapeamento geológico-estrutural coincidem com os de Santos (2004) e foram de grande importância para locação dos perfis geofísicos e análise do fluxo subterrâneo que pode ser visualizado no Mapa Potenciométrico da região (Figura 6). Também foi realizada análise geoquímica das águas dos poços de monitoramento, dessa forma, os dados obtidos por Santos em 2004 foram imprescindíveis para realização de análise temporal de alguns dos poços de monitoramento da região em estudo, levando em consideração os diferentes cenários e os 15 anos de extinção do Aterro Municipal Nova Esperança.

Este trabalho avalia e discute os resultados da aplicação do método de Eletorresistividade pela empresa Geofsite, por meio da técnica de caminhamento elétrico, método dipolo-dipolo; e, análise dos resultados da água subterrânea dos poços de monitoramento PZ Norte, PZ Sul e Poço da Volvo, na determinação qualitativa e quantitativa da região das Pedreiras do município de Feira de Santana.

ÁREA ESTUDADA

O município de Feira de Santana localizado no nordeste brasileiro situa-se a cerca de 100 km, da cidade de Salvador (BA), praticamente incluso no Polígono das Secas cobrindo uma área de aproximadamente 1.332,95 km² (Rocha et al,1994).

Segundo Santo (2003) a formação do município teve início no século XVIII. A partir de 1931 iniciou-se um intenso processo de transformação e urbanização, e, conseqüentemente, aumento do crescimento populacional. Ainda de acordo com a autora esse processo ocorreu de forma desordenada, pois o plano diretor só surgiu em 1968, quando o município já estava estruturado de forma negativa, pois o desenvolvimento de Feira de Santana não foi acompanhado por um plano que adequasse à ocupação humana dos meios naturais existentes no local. Dessa forma pode-se afirmar que desde o seu surgimento, houve a ocupação e o uso inadequado do solo.

A área de estudo, localizada na zona Oeste do município de Feira de Santana, compreende a chamada “região das pedreiras” do município. Pode-se visualizar na área a Pedreira Rio Branco Ltda., em atividade, e a extinta Pedreira Nova Esperança, desativada no final da década de 80 e cuja cava foi utilizada para implantação do Lixão Municipal Nova Esperança (desativado aproximadamente no ano de 2003). Também, são visualizados na região, áreas de disposição de resíduos sólidos, em atividade, que funcionam como Aterros Sanitários. A região localiza-se próximo a centros urbanos comerciais e residenciais do município, nas proximidades da Avenida Eduardo Froes da Mota, conhecida como anel de contorno.

Resumindo, na área de estudo as atividades observadas tanto no passado quanto no presente referem-se à pedreiras e zonas de disposição de resíduos. Dessa forma, apesar do trabalho possuir um âmbito regional, o foco maior é justamente na área em que a problemática das atividades minerárias chocou-se com a problemática envolvendo a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos – o extinto Lixão Municipal Nova Esperança, instalado na cava da Pedreira Nova Esperança, e que localiza-se no extremo leste da região de estudo (zona montante).

A Pedreira Rio Branco, que atua na produção de britas e agregados, possui atualmente 2 processos em fase de pesquisa e 1 processo em fase de concessão de lavra junto ao DNPM (Sistema de Informações Geográficas da Mineração - SIGMINE). Desde o ano de 2001 já lavra na região por meio de Guia de Utilização, porém obteve concessão da Portaria de Lavra apenas no ano de 2005.

Geocia Ambiental (2016) informa que em relação à disposição de resíduos, com o crescimento do volume de lixo produzido pelo município, a prefeitura no final dos anos 80, fez uma apropriação de parte de um terreno na área de estudo para implantação de um aterro na cidade, iniciando assim sua política de resíduos sólidos, sobretudo porque houve a ampliação do seu distrito industrial (Centro

Industrial do Subaé). Entretanto, Santos (2004) diz que a implantação do Aterro Municipal Nova Esperança, como era chamado inicialmente, ocorreu de forma inadequada com ausência da impermeabilização de base, o que é indispensável devido seu posicionamento geológico, sotoposto ao substrato de rochas fraturadas. Ainda hoje, existe fuga de chorume da área e bacias de chorume na região do lixão municipal.

De acordo com Santos (2004), o Aterro Municipal Nova Esperança de Feira de Santana foi instalado, no ano de 1989, numa antiga cava de pedreira sem qualquer impermeabilização de base e operou durante cerca de 15 anos como “Lixão”, sem quaisquer técnicas de engenharia e/ou cuidado com o meio ambiente, tendo recebido inclusive os resíduos industriais e das unidades de serviços de saúde do município. Segundo o autor, aproximadamente, a partir do ano de 2003, o aterro recebeu algumas obras de engenharia visando mitigar alguns impactos ao meio ambiente, principalmente aos recursos hídricos da região de Feira de Santana e torná-lo um aterro controlado. Ainda hoje, são realizadas medidas mitigadoras através de processos de requalificação social, remoção de badaneiros, construção de lagoa de chorume na área norte e secagem da lagoa existente na área sul.

O “lixão” Nova Esperança, como era conhecido popularmente, encontra-se desativado a cerca de 15 anos. Depois de tantos anos de funcionamento sem técnicas adequadas e numa região delicada existe grande possibilidade da instalação de passivos ambientais na área, logo, as medidas mitigadoras (criação e secagem de lagoas de chorume, por exemplo) e o monitoramento hidroquímico da área (por meio de condicionantes das licenças ambientais dos empreendimentos atualmente em funcionamento) são contínuos. Na Figura 2 pode-se comparar a área de estudo em relação aos anos de 2002 e 2017.

Segundo Santos (2004), foram recebidos até março de 2004 aproximadamente 2.000.000 (dois milhões) de toneladas de resíduos no Lixão Nova Esperança. Ainda segundo o autor, esse lixão recebia cerca de 500 toneladas de resíduos diariamente, dos quais aproximadamente 290 toneladas de lixo domiciliar (produzido em domicílios e estabelecimentos comerciais), 206 toneladas de lixo público (varrição de ruas, praças, feiras, etc) e 4 toneladas de resíduos de serviço de saúde. Todo esse processo acarretou em um grave dano ambiental na região.

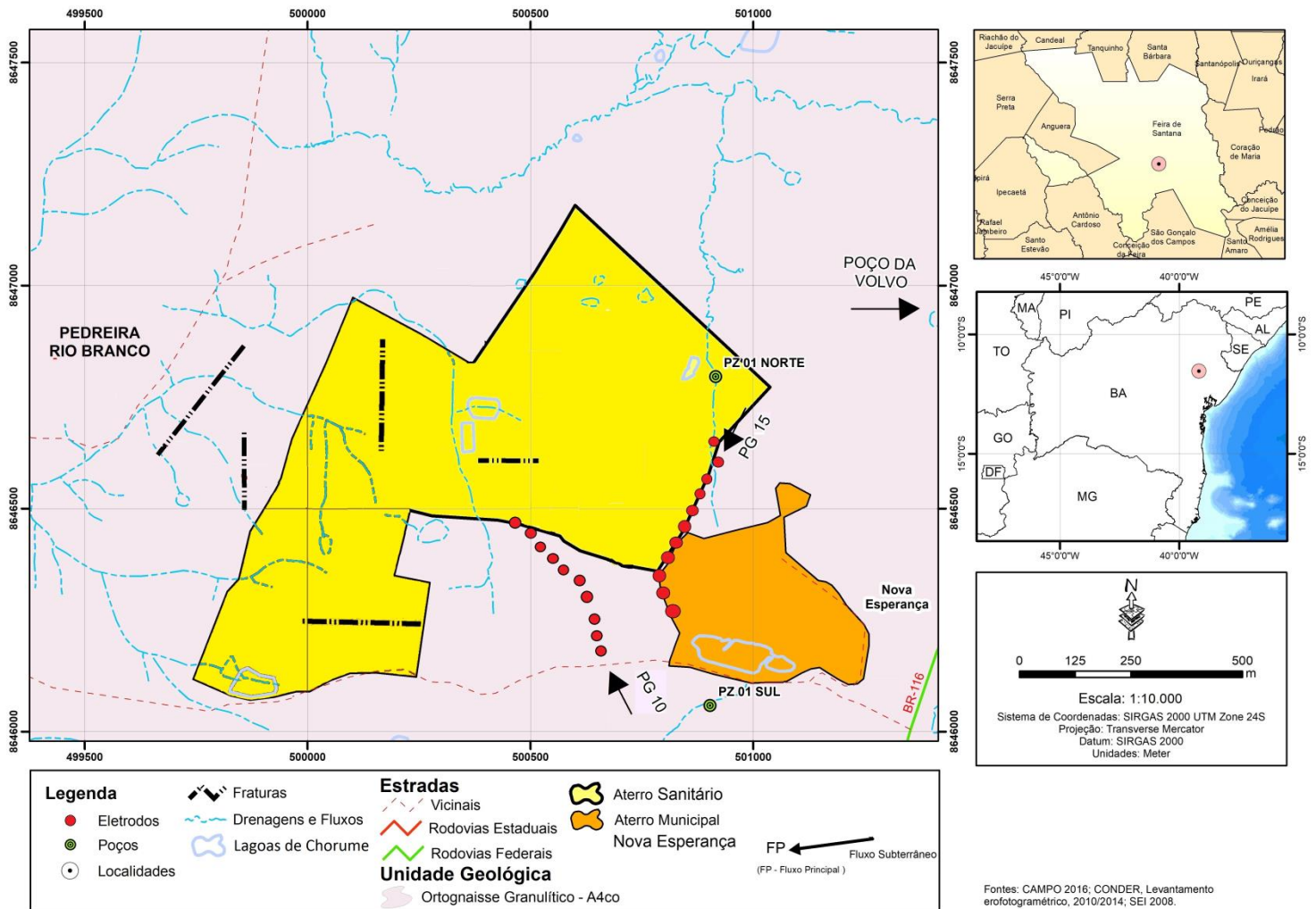
De acordo com Santos (2004), à jusante do Lixão Nova Esperança, a partir do ano 2003 foi instalada áreas de disposição de resíduos sólidos que funcionam como aterros sanitários, que foram construídos segundo as normas de engenharia e obedecendo a legislação ambiental.

A Figura 3 indica a localização e situação atual da região em estudo englobando a Pedreira Rio Branco, Lixão Nova Esperança, Aterros Sanitários em atividade e bairro e entorno local. Também estão demonstrados os perfis geofísicos realizados pela Geofsite e os poços de monitoramento da área em estudo. São demonstrados também as lagoas de chorume existentes na área e drenagens, grande maioria intermitentes, visualizados na região.

Figura 2: Imagem de Satélite temporal (2002-2017) da região em estudo, contemplando o Aterro Municipal Nova Esperança, Pedreira Rio Branco, Aterros Sanitários (instalados após o ano de 2002) e entorno direto/indireto.



Figura 3: Mapa da área em estudo, contemplando entorno direto e indireto (Aterro municipal Nova Esperança, Aterro Sanitário, Pedreira Rio Branco, etc), poços de monitoramento amostrados (PZ Sul, PZ Norte e Poço da Volvo) e Perfis Geoelétricos realizados (PG 10 e PG 15).



Fonte: Modificado de Google Earth.

CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A área em estudo situa-se próxima ao contato do embasamento cristalino com o grupo Barreiras (Figura 4), posicionada em alto topográfico, compondo um divisor de águas, com drenagens que se deslocam para norte e sul e em seguida para o Rio Jacuípe.

Regionalmente ao município de Feira de Santana, os solos são compartimentados em dois grandes conjuntos: os solos mais recentes relacionados com a alteração das rochas do embasamento cristalino e os solos relacionados com a cobertura sedimentar Tércio-Quaternária. Ao primeiro conjunto observa-se solos mais novos e ricos em argila, conforme pôde ser observado durante mapeamento. Em relação aos solos derivados das coberturas sedimentares, estes são mais desenvolvidos, profundos e areno-argilosos. Também podemos observar os solos aluviais presentes próximo às linhas de drenagens, desenvolvidos a partir de camadas depositadas pela ação dos rios, principalmente na região oeste da área de trabalho, onde podemos observar o Riacho das Painelas.

O modelado que pode ser visualizado na área é condicionado a alguns fatores, como por exemplo, o clima e localização da região, características geológicas e estruturais, atuação de processos intempéricos e erosivos, etc. Geomorfologicamente o município de Feira de Santana é composto por pediplanos e tabuleiros (Vieira *et al* 2005)

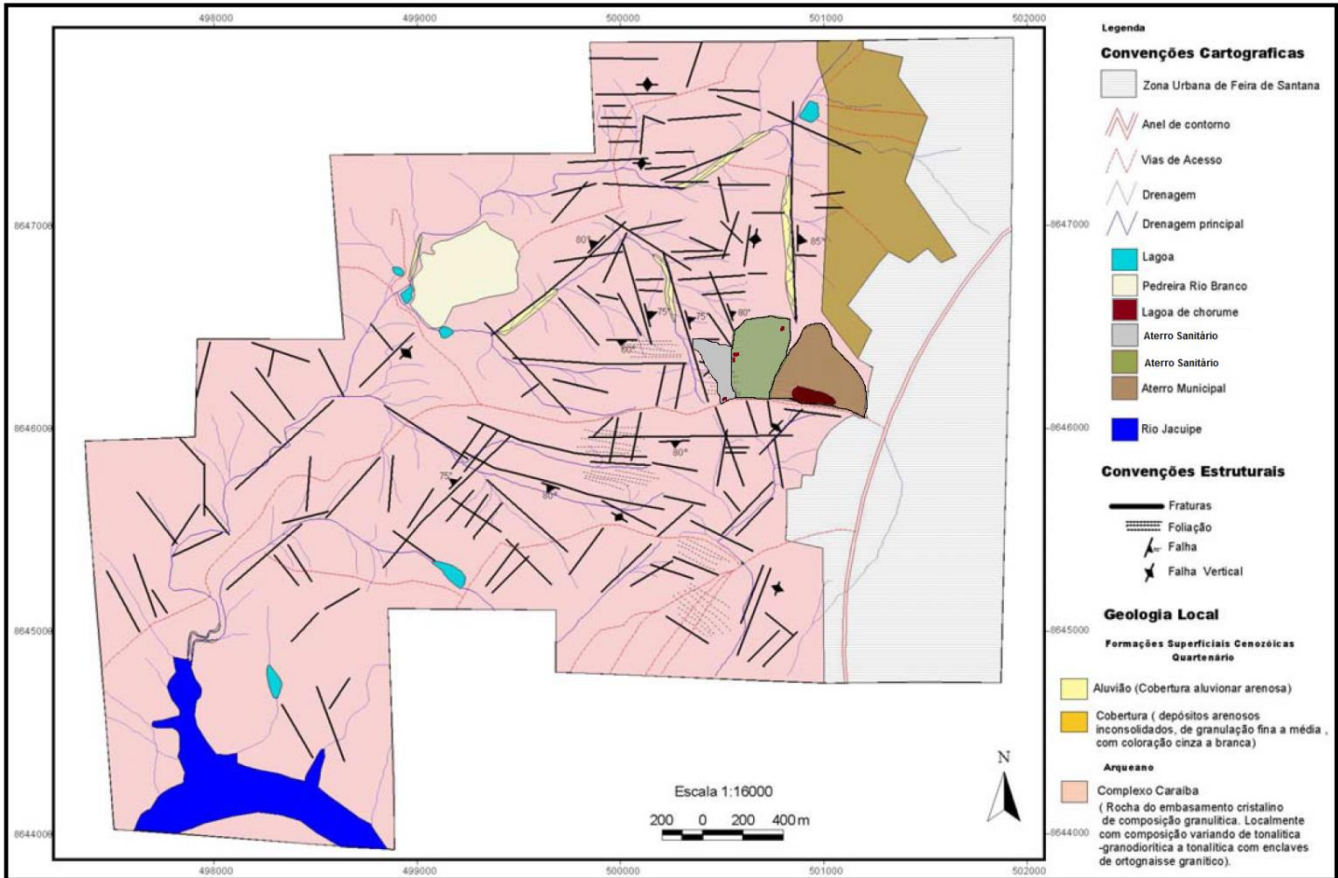
Segundo Geofsite (2016), regionalmente a área pode ser subdividida em dois domínios (Figura 6): o primeiro (Domínio 01) representa um conjunto de serras alinhadas na direção N-S, que, de um modo geral, representam intrusões graníticas indiferenciadas, por vezes sieníticas de idade Pré-Cambriana; o segundo (Domínio 02) representa uma região com topografia relativamente plana, sendo constituída por ondulações suaves sustentadas por rochas do embasamento Pré-Cambriano, conforme reportado por BARBOSA & SABATÉ, 2002. Localmente foi constatado que a área em estudo é constituída por um relevo tabular interpretado como parte integrante do Domínio 02.

Figura 4: Domínio (1) - Serras alinhadas no sentido Norte-Sul; Domínio (2) – Relevo tabular caracterizado por pequenas ondulações suaves. Visada para leste.



Barbosa & Dominguez (1996) subdividiram o substrato geológico da região de Feira de Santana em dois grandes conjuntos litológicos principais: o embasamento cristalino de idade pré-cambriana, variando entre 2,0 – 3,0 Ga e as coberturas sedimentares terciário-quadernárias. De acordo com (Vieira *et al* 2005) predominam no Município de Feira de Santana as rochas cristalinas dos complexos Caraíba e, em menor proporção, Santa Luz, cortadas por rochas granitóides sin a tardi-tectônicos e sienitóides tarditectônicos. Ainda segundo os autores na porção oriental do município destaca-se a ocorrência do grupo Barreiras, recobrando rochas do embasamento cristalino (Figura 5).

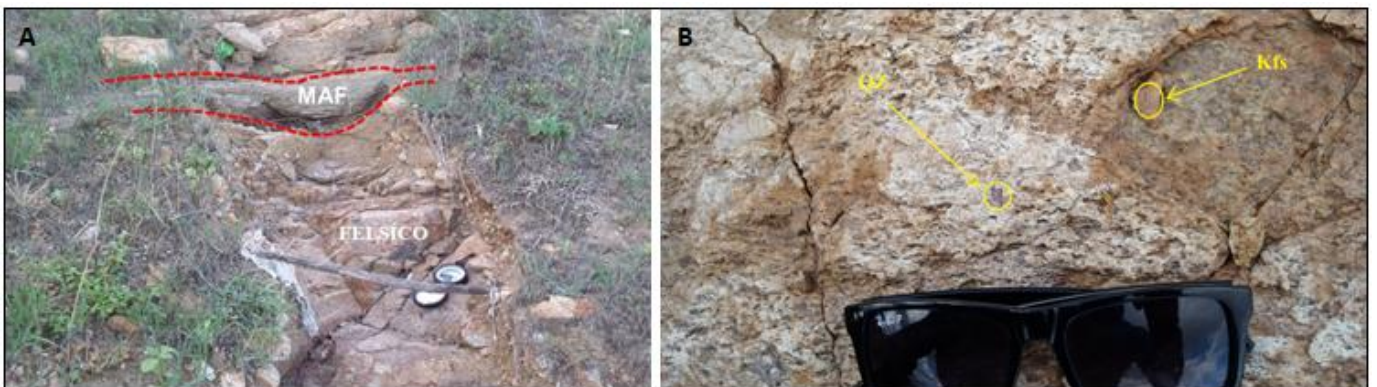
Figura 5: Contexto Geológico da área de trabalho.



Fonte: Modificado de Santos (2004).

O Complexo Caraíba (embasamento cristalino) é constituído por ortogneisses das fácies anfífolito e granulito, enderbitos, charnockitos e charnoenderbítico (Vieira *et al* 2005) e podem ser comumente observados nos escassos afloramentos rochosos existentes na área, que em sua maioria encontram-se na forma de lajedos e também associados a processos erosivos, como lixiviação, ação das águas, chuvas e ventos que acabam formando ravinas ou “linhas” no terreno (sulcos erosionais) (Foto 1A). Eles são encontrados como corpos de composição máfica e corpos de composição félsica/intermediária (Foto 1B).

Foto 1: A) Sulcos erosionais expõem corpos rochosos de diferentes composições; B) Rocha félsica/intermediária.



Fonte: A) Geofsite Geologia e Geofísica Ltda. (2016) / B) Geocia Ambiental Ltda. (2016).

Na porção N da área foram observados afloramentos do embasamento cristalino intemperizado (saprolito), apresentando variações composicionais de corpos variando de máficos à félsicos-intermediários (Foto 2). Composicionalmente predominam grãos quartzosos, e níveis ricos em Ferro, resultante da dissolução de minerais na rocha.

No limite entre o Lixão Municipal Nova Esperança e Aterro Sanitário (Porção central da área de estudo), foram observados afloramentos na forma de lajedos, também intemperizados.

Foto 2: Contato brusco entre rocha alterada máfica e félsica/intermediária.



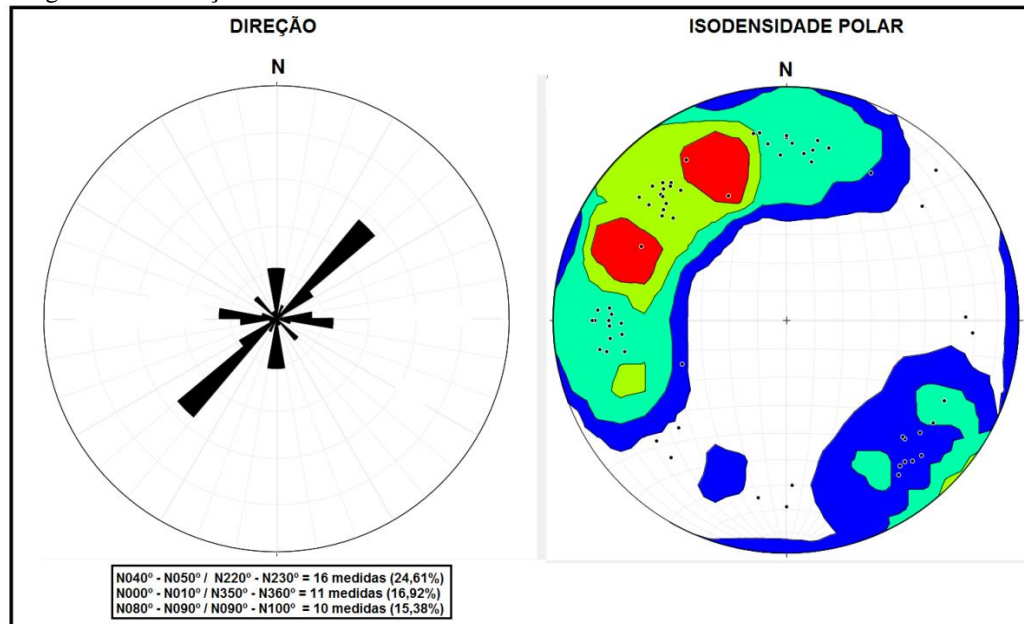
Fonte: Geocia Ambiental Ltda. (2016).

A análise das estruturas na área de estudo permitiu a identificação de pelo menos 3 fases deformacionais distintas. Foi identificada uma primeira fase de caráter dúctil marcada por uma foliação deformacional S_n orientada preferencialmente segundo o trend NW-SE apresentando inflexões para NE, geralmente, de alto ângulo de mergulho. Foram observadas também estruturas como dobras de arrasto e boundinagem nas bandas félsicas, que foram interpretadas como representantes de um segundo estágio de evolução tectônica, ainda de caráter dúctil (Foto 3A). A última fase deformacional observada na área é caracterizada por deformação rúptil e composto por 3 famílias principais de fraturas que truncam a foliação S_n ; sendo elas (Foto 3B):

- 1) Fraturas orientadas segundo o trend N-S;
- 2) Fraturas ortogonais as anteriormente citadas, orientadas E-W;
- 3) Fraturas orientadas na direção NE-SW

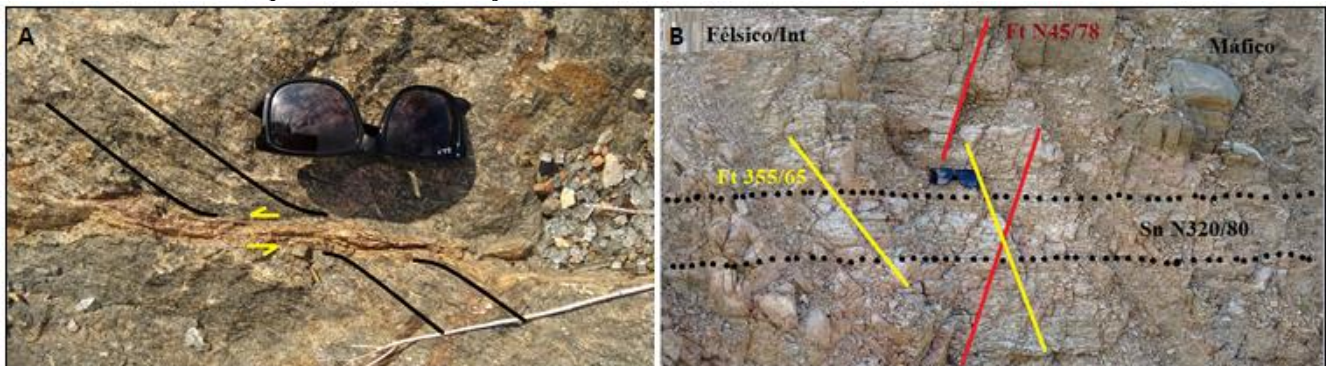
De acordo com os dados obtidos durante o estudo estrutural da região de trabalho, pode-se confeccionar diagramas que permitiram analisar a distribuição espacial das estruturas rúpteis existentes. Os resultados encontrados permitiram observar que predominam 3 famílias segundo as direções N-S, E-W, NE-SW, sendo esta última a principal direção de fraturamento (Figura 6).

Figura 6: Diagramas de Direção e Isodensidade Polar das 65 fraturas medidas.



Os resultados encontrados no mapeamento estrutural realizado foram imprescindíveis para locação dos perfis geoeletricos e análise da potenciometria do aquífero local/regional.

Foto 3: A) Zona de cisalhamento apresentando cinemática sinistral, evidenciado pelo arrasto da foliação Sn; B) Afloramento mostrando contato entre litotipo máfico e félsico/intermediário, onde pôde-se observar as fraturas (trend N-S e NE-SW) que truncam a foliação Sn.

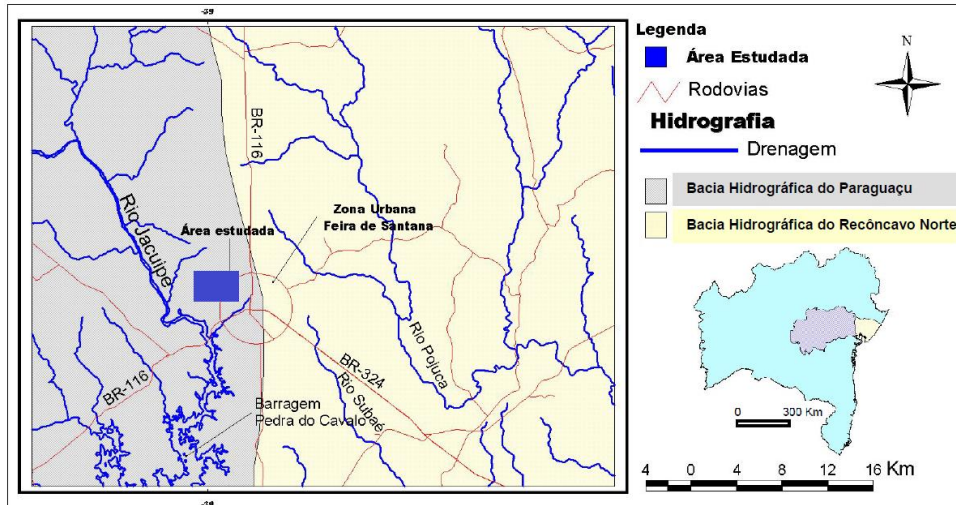


Fonte: Geocia Ambiental Ltda.(2016).

O mapeamento do padrão de fraturamento da área foi indispensável para locação e perfuração dos poços de monitoramento no ano de 2003. Santos (2004) observou através de sondagens realizadas para perfuração de poços que a concentração das principais fraturas com entrada de água exibe diferentes comportamentos nas rochas alteradas e não alteradas da área. Nas rochas alteradas (zona não saturada) foi constatado que a entrada de água ocorre com maior frequência entre as profundidades de 5 a 9 metros. Nas rochas não alteradas também são observadas micro-fraturas com profundidades variáveis, mas as entradas de águas são concentradas em torno de 20 metros.

O município de Feira de Santana situa-se na região Hidrográfica Nacional do Atlântico Leste, regionalmente entre a bacia do Rio Paraguaçu e as bacias do Recôncavo Norte (Figura 7), assentado num planalto que é divisor de águas de três sub-bacias: a do Rio Jacuípe, que pertence a bacia do Paraguaçu a oeste da cidade; a do Rio Pojuca, a leste, e do Rio Subaé ao sul que pertencem ao conjunto das bacias do Recôncavo Norte (Santos, 2004).

Figura 7: Mapa hidrográfico da região de Feira de Santana.



Fonte: SRH (Plano Estadual de Recursos Hídricos – Bahia, 2003).

Além disso, o município possui por volta de 50 lagoas e dezenas de nascentes (Santos, 2004). Mesmo estando protegidas pelo Código Municipal de Meio Ambiente (Lei 1.612/92), grande parte das lagoas existentes encontram-se antropizadas, vítimas do crescimento e exploração urbana não planejados (Ferreira, 2015). O crescimento urbano, industrial e/ou agropecuário de maneira inadequada e sem planejamento pode acarretar em sérios problemas ambientais, afetando diretamente o ciclo hidrológico e hidrogeológico da região (Santos, 2004). A área em estudo, localizada no denominado “Polígono das Secas”, possui clima variando de seco a subúmido com prolongados períodos de estiagem (Vieira *et al* 2005).

A região em estudo está inserida na bacia do rio Paraguaçu, sendo o rio Jacuípe considerado o mais expressivo, escoando a oeste da cidade entre as rochas cristalinas, apresentando ao longo do leito depósitos aluvionares e águas com elevada salinidade (Santos, 2004). Sua nascente encontra-se no município de Morro do Chapéu desaguando no rio Paraguaçu próximo a Conceição de Feira. Trata-se de um curso d'água raso, com leito largo, cujas maiores vazões ocorre entre novembro e abril (Rocha *et al.*, 1994). No entorno da área existem alguns de seus afluentes de regime intermitente e pouco expressivos. São rios bastantes antropizados pelo fato de ter ocupação urbana desordenada na área e algumas atividades impactantes a exemplo das atividades de mineração adotadas pela Pedreira Rio Branco (Figura 3).

A hidrologia da área caracteriza-se pela existência de dois setores diferentes; o primeiro localizado sobre o tabuleiro, formado pelas lagoas e algumas nascentes e o segundo situado sobre o embasamento cristalino, onde a configuração da rede hidrográfica é controlada pelas condições geológicas (depressões, vales bem formados etc) e pela topografia local (Santos, 2004). As drenagens superficiais observadas na área de estudo tendem a fluir secundariamente na direção norte/noroeste em direção a um córrego existente na região, para, a partir daí seguir o fluxo principal da área, na direção oeste/sudoeste (Figura 8).

De uma forma geral, nas proximidades e vias de acesso da região em estudo pode-se visualizar: à norte, o Conjunto habitacional Solar da Princesa, Frigorífico Campo do Gado Novo; à Sul, terrenos de pastagens; à leste; Lixão Nova Esperança, Posto de Gasolina, Empresa Volvo Gutemberg, Bairro Nova Esperança, Anel Viário, à Oeste; Pedreira Rio Branco, e Empresa Baiana de Saneamento Básico (Embasa), e na região central, pode-se observar os Aterros Sanitários (Geocia Ambiental, 2016).

Como se pode perceber, a comunidade local encontra-se em zona que compreende empreendimentos de grande potencial poluidor e degradante, a exemplo dos aterros sanitários, lixões e pedreiras. Além disso, grande parte da área, principalmente a mais próxima aos aterros, não dispõe de saneamento básico. Os efluentes domésticos são dispostos diretamente nos córregos d'água existentes, à exemplo, da Cachoeira Riacho das Panelas e o Riacho Rio Branco. São nesses riachos que a comunidade retira água para consumo geral, assim como, empresas retiram através de carros pipas para uso desconhecido (Geocia Ambiental, 2016).

A hidrogeologia da área em estudo possui um controle estrutural marcante, através de fraturas existentes no embasamento cristalino. Segundo Santos (2004) nestes sistemas de fraturamentos (Figura 4), estão locados os poços de monitoramento (PZ-Sul e PZ-Norte) existentes na área. Além desses existe um poço de monitoramento no entorno indireto (Poço da Volvo). Os dados referentes aos poços analisados são encontrados na Tabela 1.

De acordo com Santos (2004), esses poços de monitoramento foram perfurados no ano de 2003 seguindo dois modelos: 1) Modelo aquífero fissural e 2) Modelo zona não Saturada. No modelo 1 insere-se o poço PZ Norte que possui uma profundidade de 60m, alcançando o aquífero fissural da área (neste caso, o aquífero freático é monitorado podendo possuir uma relação de troca hídrica com o cristalino, já que o poço é profundo). O modelo 2 engloba o PZ-Sul e Poço da Volvo, em que não foi interceptada a zona saturada na sondagem descritiva realizada com construção do poço de monitoramento em até 20m de profundidade. Dessa forma esse poço foi instalado com a finalidade de captar o escoamento superficial na cobertura sedimentar que recobre o embasamento cristalino regional (Ortognaisse granulitizado) sem interferência direta do aquífero fissural.

A partir da análise dos dados dos poços, observou-se que o poço de monitoramento PZ-Norte, localiza-se em zona com menor carga hidráulica, portanto propicia à contribuição das atividades de recepção de resíduos da região, assim como o PZ-Sul, locado, também, à jusante do lixão Municipal Nova Esperança. O Poço da Volvo encontra-se à montante da área de pedreiras e recepção de resíduos, e foi considerado como *background*.

Dessa forma, a partir do mapeamento dos sulcos e redes de drenagem, pode-se alcançar uma figura representativa do fluxo superficial da área (Figura 8); e; a partir da análise das cargas hidráulicas dos poços locados na área de trabalho, de levantamentos bibliográficos e de poços cadastrados no SIAGAS foi possível confeccionar um Mapa Potenciométrico Regional (Figura 9). A partir da análise do mapa pode-se perceber que a área em estudo é um alto piezômetro, com fluxo principal na direção NE-SW (em direção ao Rio Jacuípe), mostrando o alto controle estrutural da área.

Tabela 1: Informações sobre os poços amostrados.

POÇO	PZ NORTE	PZ 01 SUL	POÇO DA VOLVO
COORDENADA GEOGRÁFICA	12°14'27,1''S 38°59'29,7''W	12°14'51,6''S 38°59'30,1''W	12°14'22.95'' S 38°59'07.81'' S
COTA TOPOGRÁFICA	197 m	195 m	218,48m
PROFUNDIDADE	60 m	8,84 m	3,47m
NÍVEL D'ÁGUA	3,11m	0,78 m	1,34m
CARGA HIDRÁULICA	193,89	194,22	217,14

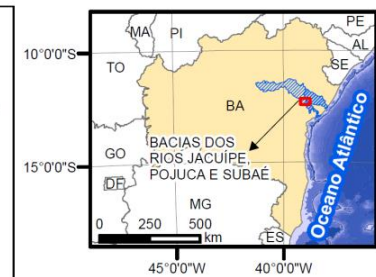
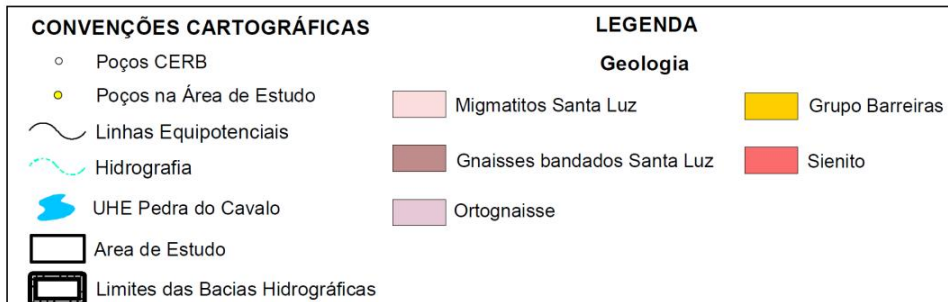
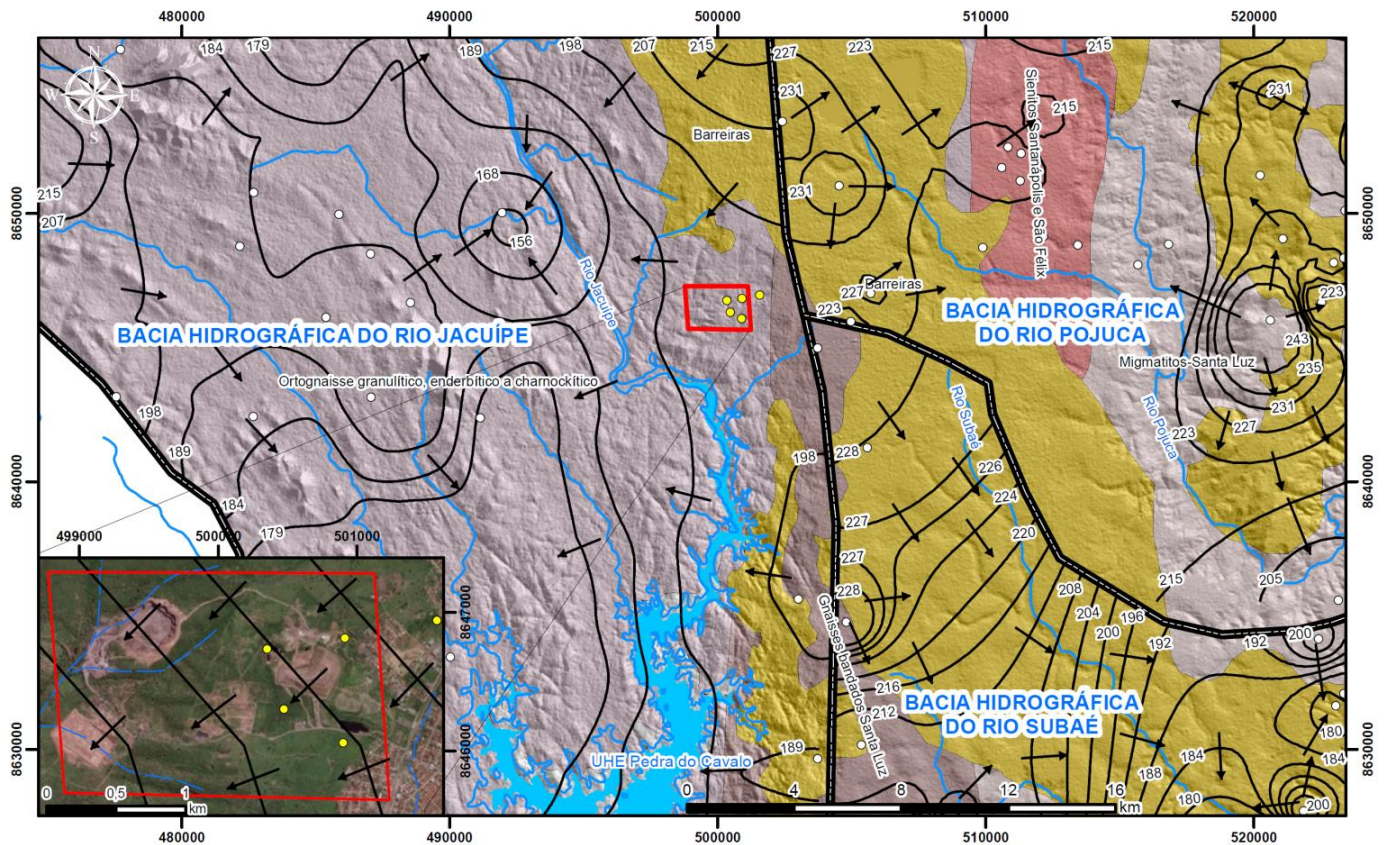
Fonte: Geocia Ambiental Ltda. (2016)

Figura 8: Sentidos de fluxo hídrico da região em estudo.



Fonte: Modificado de Geofsite (2016).

Figura 9: Mapa Potenciométrico Regional contemplando a área de estudo.



METODOLOGIA

A realização deste trabalho envolveu atividades de escritório e levantamento bibliográficos preliminares, além de trabalhos de campo com finalidade de realizar mapeamento geoambiental e amostragem nos poços de monitoramento.

Mapeamento Geoambiental

O levantamento geoambiental ocorreu por meio de vistoria, levantamento geológico e estrutural e inspeção de campo (com duração de 7 dias) e aquisição de dados secundários do local de estudo. Com o objetivo de identificar possíveis fontes de contaminação (locais de fuga de chorume), avaliar a estanqueidade do maciço de resíduos após 15 anos de extinção do lixão municipal e influência das atividades da Pedreira Rio Branco e Aterros Sanitários na região de estudo. Foram realizadas entrevistas com vizinhança a fim de adquirir uma percepção sobre toda a região de influência das pedreiras, aterros sanitários e lixão Nova Esperança e opiniões individuais sobre as questões ambientais, histórico ambiental e operacional da área.

Resumindo, foram reconhecidas todas as atividades com potencial degradantes na região (pedreiras, lixão e aterros, principalmente) e os receptores potenciais e reais, através de: Levantamento de dados sobre o meio físico (investigação detalhada dos principais afloramentos encontrados, com descrição de dados litológicos e estruturais), dados físico-químicos pretéritos dos poços monitorados envolvendo a área em estudo, áreas de preservação, restrições de uso e ocupação, áreas com risco geotécnico ou com históricos de acidentes, atividades mitigadoras atuais da prefeitura junto às regiões identificadas (lixão, aterros sanitários e Pedreira Rio Branco), tipo de resíduos recepcionados; histórico de ocupação do aterro e atividades/processos no local e vizinhança.

Análise Hidroquímica

Com o intuito de verificar a qualidade das águas subterrâneas na área de influência do estudo, são realizadas regularmente campanhas de monitoramento. Dessa forma, foi realizada uma análise/comparativo temporal da região, utilizando dados físicos-químicos dos poços PZ Sul, Norte e Poço da Volvo oriundos de Santos (2004), comparados com resultados de amostragens destes mesmos poços realizados nos anos de 2016 e 2017 pelo SENAI. A amostragem de água dos Poços PZ-01 Sul e Norte foi realizada no dia 31 de Julho do ano de 2017 pelo Laboratório de Metrologia Química e Volumétrica – MQV do SENAI. Durante essa campanha, não foi possível amostrar água do Poço da Volvo, pois este se encontrava seco. Dessa maneira foram utilizados os resultados da campanha realizada pela mesma empresa no ano de 2016.

A coleta das amostras dos poços de monitoramento listados, pelo SENAI, seguiu procedimentos definidos na norma CETESB 6410, exceto pela purga dos poços que ocorreu nos dias anteriores à coleta durante processo de manutenção e limpeza dos poços. Os parâmetros analisados, de modo geral, foram requisitados pela prefeitura e Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA).

Vale-se ressaltar que o poço PZ Norte encontra-se localizado nas proximidades dos aterros sanitários e à jusante do Aterro Municipal Nova Esperança. O PZ-Sul esta alocado em área de pastagem rural, à jusante da extinta pedreira e aterro municipal. O Poço da Volvo, localiza-se no entorno indireto, extremo leste da região em estudo, à aproximadamente 1 quilômetro de distância do aterro municipal (Figura 3). Os resultados hidroquímicos interpretados representam amostras dos poços supracitados.

A qualidade da água subterrânea foi avaliada conforme a legislação pertinente, no caso, a Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, a Resolução 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e águas subterrâneas quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas; e as Portarias 1469/2000 e 2914/2011 do Ministério da Saúde.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudo Geofísico

A investigação geolétrica foi realizada pela empresa Geofsite através da aplicação da técnica de Perfilagem Elétrica Lateral, popularmente conhecida como Caminhamento Elétrico. A aquisição dos dados aconteceu entre os dias 18 e 21 de fevereiro do ano de 2016. A configuração do arranjo utilizada foi do tipo dipolo-dipolo, com espaçamento de 40m entre os dipolos elétricos e até 6 níveis de investigação.

A partir da análise dos resultados e interpretações dos caminhamentos geolétricos realizados pela empresa, foi possível tecer conclusões, recomendações e realizar uma comparação integrada junto aos resultados hidroquímicos e mapeamento, possibilitando uma melhor visualização da situação ambiental da área estudada. Esses resultados foram de grande importância para compor e enriquecer o estudo geoambiental realizado (composto por mapeamento geológico e estrutural, campanha hidroquímica temporal e interpretação dos perfis geolétricos).

No total foram realizados 2 perfis geolétricos com extensão de 320m locados à jusante do Lixão Nova Esperança. De acordo com Geofsite (2016), as linhas foram processadas e invertidas bidimensionalmente, apresentando, dessa forma a geração do modelo geológico-geotécnico da área. Nos perfis geolétricos puderam ser distinguidas diferentes feições e interfaces a partir de interpretação realizada. A legenda das feições encontradas na investigação realizada pela empresa pode ser visualizada a seguir:

- a) Zonas de baixa resistividade (contornadas por linhas pretas tracejadas): Possíveis bolsões de chorume e/ou soluções diversas com alta concentração de íons disseminados;
- b) Zona de alta resistividade (linhas pretas contínuas): Possível base da pedreira ou aterro (topo do substrato), e;
- c) Possíveis zonas de falhas/fraturas, drenagens (linhas tracejadas).

Maiores valores de resistividade elétrica foram interpretados como sendo provenientes do embasamento cristalino local, composto pelos ortognaisses do Complexo Caraíba. A grande variação

nos valores (80-2000 $\Omega.m$) pode ser devido ao fato do embasamento encontrar-se intemperizado em determinadas porções. Informa-se que os perfis geoeletricos gerados são autoexplicativos.

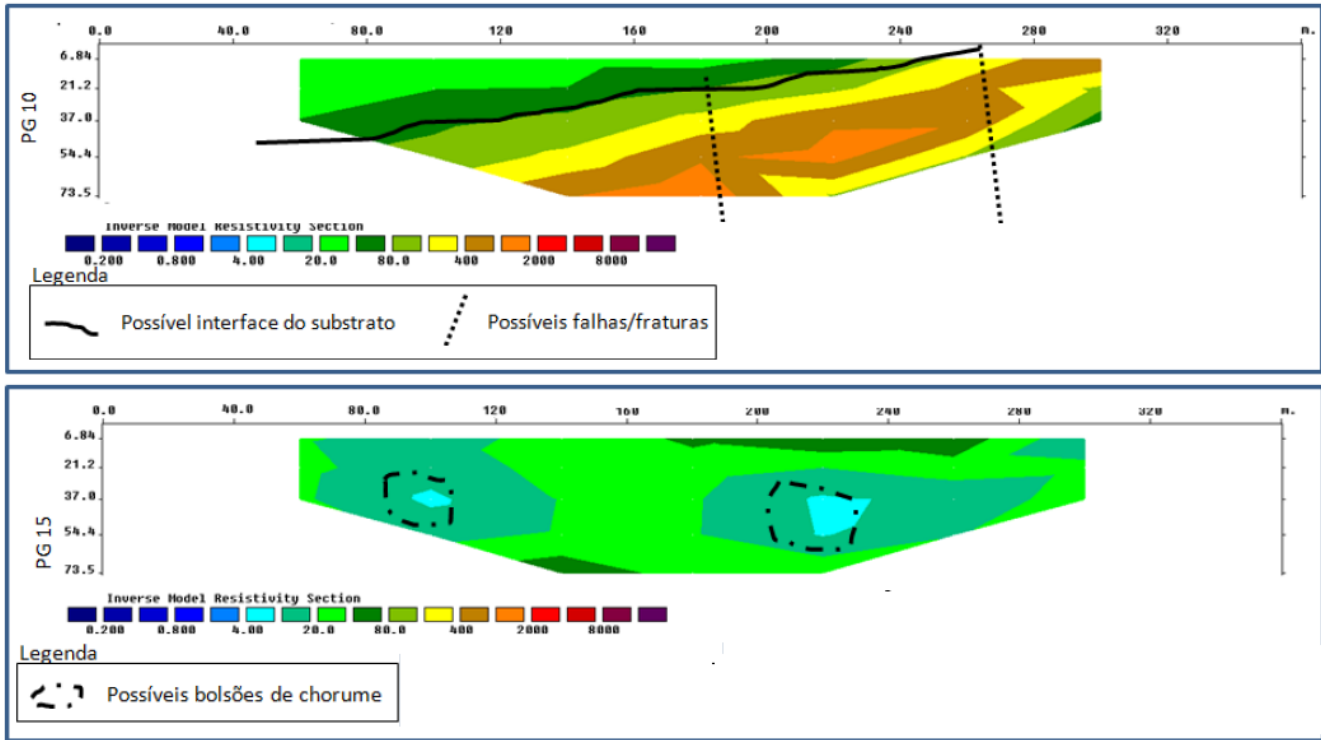
A partir das interpretações e resultados obtidos pela empresa Geofsite, têm-se as considerações dos perfis geoeletricos analisados nesse estudo:

PERFIL PG 10: Esta posicionado na porção centro-sul da área de estudo, disposto segundo o *trend* S-N (Figura 3). Os eletrodos foram alocados com espaçamento de 40 m, produzindo um perfil de aproximadamente 280 m de comprimento e alcançando uma profundidade de cerca de 73,5 m. Predominam, nesse perfil, valores de média a alta resistividade (entre 20 e 2000 $\Omega.m$). A possível interface do substrato (interface entre resíduo e rochas cristalinas) é bem delineada e é observada a presença de possíveis falhas/fraturas na região central e no extremo N do perfil, servindo como possíveis condutos de percolados desde a superfície até altas profundidades. Em campo, na área onde esse perfil foi locado podemos visualizar afloramentos de rochas em superfície. De modo geral, não foram observados indícios de contaminação, mas o que mais chama atenção nesse perfil é que ele reproduz o comportamento estrutural da região em estudo. São fatores como estes que tornam a área bastante delicada e o aquífero com alta vulnerabilidade. (Figura 9).

PERFIL PG 15: Localiza-se na porção SE da área estudada, no limite entre o Lixão Nova Esperança e o Aterro Sanitário, esta linha geoeletrica segue o sentido NE-SW (Figura 3). Os eletrodos foram alocados com espaçamento de 40 m, produzindo um perfil de aproximadamente 280 m de comprimento e alcançando uma profundidade de cerca de 73,5 m. De maneira geral, no perfil predominam baixas resistividades, entre 4 e 20 $\Omega.m$. A possível interface do substrato não pode ser observada, mesmo o método tendo alcançado uma profundidade de 73,5m. Os resultados encontrados nas extremidades do perfil podem ser indicadores de contaminação por possíveis bolsões de chorume, área mais argilosa ou úmida e/ou soluções diversas muito condutivas. Essas zonas de resistividades muito baixas foram interpretadas, devido ao formato encontrado, como possíveis cavas da extinta pedreira e que hoje podem funcionar como condutos para difusão de chorume através da região em estudo. Através de estudos pretéritos da área realizados por Santos (2004) e perfis litológicos dos poços existentes, pode-se afirmar que a profundidade do topo rochoso na área que engloba esse perfil varia entre 50 e 70m, mas não se sabe ao certo a profundidade final da base da extinta pedreira. Mesmo assim, não foi possível detectar o substrato nem falhas/fraturas existentes, dessa forma, pode-se afirmar que esse comportamento sugere percolação de fluídos condutivos. (Figura 9).

Ainda hoje, 15 anos após extinção do Lixão Nova Esperança, observamos pontos de fuga de chorume (Lagoa Norte e Sul do lixão), que corroboram em relação ao resultado geofísico encontrado. Mesmo assim, seria necessário a relação de informações geológicas locais diretas (sondagens invasivas) para respaldar o estudo geofísico aqui descrito. Isto porque pela geofísica ser um método indireto, temos indícios técnicos, mas não se sabe o conteúdo correto desta anomalia identificada: contaminante, zonas argilosas e/ou zonas úmidas comuns na área investigada (Geofsite, 2016). Dessa forma, foi realizado um estudo físico-químico temporal dos poços de monitoramento PZ Norte, Sul e Poço da Volvo.

Figura 9: Perfil Geométrico invertido PG-10 e PG-15.



Fonte: Geofsites (2016).

Análise Hidroquímica

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados das análises do monitoramento realizado no ano de 2004 (PZ-01 Norte Sul e Poço da Volvo), 2016 (Poço da Volvo) e 2017 (PZ-01 Norte e Sul).

A CONAMA 396/08 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas; a Classe 4 desta legislação refere-se a águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas e com uso, sem tratamento, preponderantemente menos restritivo, porém possui somente alguns parâmetros estabelecidos para análise, como os metais (Ferro, Chumbo, e Cromo) e Nitrato. Apesar deste critério de uso da CONAMA 396/08, esta não é adequada para o local, devido à área possuir atividades específicas de grande potencial poluidor como lixão, aterro e pedreira (Senai, 2017). Desta forma, optou-se pelo uso da CONAMA 420/2009 como critério de qualidade para avaliação dos dados de monitoramento dos poços de água subterrânea.

A CONAMA 420/09 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e água subterrânea e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Os valores orientadores utilizados referem-se à Investigação de Água Subterrânea em sítios antropizados e apesar de ser a legislação mais recente para avaliação da área não possui valores referenciadores para todos os parâmetros analisados, desta forma também foi adotada a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que possui valores orientadores quanto a Potabilidade das águas.

Nota-se que alguns parâmetros analisados por Santos (2004), não foram contemplados nas campanhas posteriores (ano 2016/2017), como por exemplo, Cálcio, Magnésio, Potássio, Sódio, Bicarbonatos e Amônia, pois alguns não estavam presentes no Termo de Referência solicitado pelo Órgão Ambiental e em outros houve interferência durante análise laboratorial.

Tabela 1: Concentração temporal dos diversos elementos nas águas subterrâneas obtidas em poços de monitoramento na região das pedreiras e disposição de resíduos do município de Feira de Santana.

PARÂMETROS	UND.	LQ M	Portaria 2914/2011	CONAMA 420/09 Inv.	CONAMA 396/2008 Consumo Humano	PZ.01 SUL (2004)	PZ.01 SUL (2017)	PZ.01 NORTE (2004)	PZ.01 NORTE (2017)	POÇO DA VOLVO (2004)	POÇO DA VOLVO (2016)
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	2,6	500	-	-	1905	2320	1383	966	21,7	-
*Coliformes fecais	UFC/100 mL	1	0	-	-	<1	-	<1	0	8	-
Coliformes totais	UFC/100 mL	1	0	-	-	4	140	10	1	120	9,3 X 10 ⁵
Condutividade	µS/cm	0,01	500	-	-	11640	17660	11450	11060	734	-
DBO	mg/L	1,1	1,5	-	-	212,4	3,3	125,8	<1,1	7,5	1,1
DQO	mg/L	28	-	-	-	62	650	24	185	17	172
O.D. (Oxigênio Dissolvido)	-	-	5	-	-	3,12	0	3,72	0	8,25	3,65
pH (Medição em campo)	-	-	8	-	-	7,4	7,02	7	7,36	*	6,5
Sólidos totais	mg/L	2,5	1000	-	-	7318	3140	6364	1820	750	-
Temperatura (°C)	°C	-	-	-	-	24,1	-	24,4	-	28,3	-
Cádmio (Cd) total	mg/L	0,001	0,005	0,005	0,005	<0,005	0,001	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001
*Chumbo (Pb) total	mg/L	0,003	0,01	0,01	5,0 Classe 4	0,14	0,003	0,05	<0,003	0,007	<0,003
Cobre (Cu) total	mg/L	0,008	2	2,0	2,0	0,01	0,008	0,01	<0,008	0,01	<0,008
*Cromo (Cr) total	mg/L	0,006	0,05	0,05	1,0 Classe 4	<0,05	0,011	<0,05	<0,006	<0,01	<0,04
*Ferro (Fe) total	mg/L	0,07	0,3	2,45	5,0 Classe 4	0,17	0,9	0,34	0,16	0,2	0,13
Manganês (Mn) total	mg/L	0,003	0,1	0,4	0,1	1,14	2,04	<1,12	0,014	0,06	0,506
Mercurio (Hg) total	mg/L	0,0002	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,0002	<0,001	<0,0002	<0,005	<0,0002
Cálcio (Ca)	mg/L	-	100	-	-	196	-	330	-	5,2	-
Magnésio (Mg)	mg/L	-	-	-	-	573,4	-	356,2	-	0,21	-
Potássio (K)	mg/L	-	-	-	-	12,3	-	9,8	-	5,5	-
Sódio (Na)	mg/L	-	200	200	-	1564	-	1425	-	127	-
Bicarbonatos	mg/L	-	500	-	-	1905	-	1383	-	21,7	-
Cloreto	mg/L	0,03	250	-	250	3401	5590	2894	2050	397	783
Amônia não Ionizável ¹	mg/L N-Nh ₃	0,04	1,5	-	-	2	-	2,5	-	<0,02	0,292
*Nitrato	mg/L	0,01	10	10	90 Classe 4	0,02	0,003	1,9	0,669	1,2	1,38
Nitrito	mg/L	0,007	1	-	1,0	0,01	0,002	0,05	0,002	<0,01	0,865
Sulfato	mg/L	0,03	250	-	250	22,3	12,1	210,4	161	11,5	51,7

Legenda:**UFC:** Unidade Formadora de Colônia**LQM:** Limite de Quantificação do Método.**VA:** Virtualmente Ausente.

- Valor não estabelecido ou não analisado.

< menor que o limite de detecção do método.

Observação: Valores de coloração vermelha e marcados de amarelo encontram-se superiores aos parâmetros de alguma das legislações vigentes.

Fonte: SANTOS (2004)/SENAI (2017).

Foi realizada uma análise temporal dos parâmetros listados, contemplando todos os compostos analisados no ano de 2004 dos poços PZ Norte, Sul e Poço da Volvo, em comparação com os elementos analisados nos anos de 2017 (PZ Norte e Sul) e 2016 (Poço da Volvo).

De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas da região em estudo mantiveram altos valores, e; acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde; de: Alcalinidade, Condutividade, DBO, Sólidos Totais, Coliformes Totais e Cloreto. Foram observados menores valores de metais pesados (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo e Mercúrio), Nitrato, Nitrito e Sulfato.

No PZ-Sul, entre 2004 e 2017, foi observado aumento nos valores de Alcalinidade, Condutividade, Coliformes Totais, Ferro Total, Manganês Total e Cloreto, todos esses se apresentaram acima do limite legal da legislação vigente, conforme pode ser comprovado na Tabela 1. Alguns parâmetros, quando analisados temporalmente, sofreram diminuição dos valores, a exemplo de Oxigênio Dissolvido, pH, Cádmio, Chumbo Total, Cobre Total, Cromo Total, Mercúrio Total, Nitrato, Nitrito, Sulfato, DBO e Sólidos Totais, sendo que apenas estes dois últimos (DBO e Sólidos Totais) ainda encontram-se com valores acima dos limites legais estabelecidos pela Portaria 2914/2011 e 1469/2000 do Ministério da Saúde.

No PZ-Norte, localizado próximo a Lagoa de Chorume Norte do aterro municipal, encontramos um leve aumento somente em relação ao parâmetro pH, porém preserva um pH neutro e dentro dos padrões aceitáveis. Foi observado diminuição dos seguintes parâmetros: Condutividade, DBO, OD, Sólidos Totais, Cádmio Total, Chumbo Total, Cobre Total, Cromo Total, Ferro Total, Manganês Total, Mercúrio Total, Nitrato, Nitrito, Sulfato, Coliformes Totais e Cloreto. Destes citados, ainda encontram-se com valores acima dos limites da Portaria 2914/2011 e 1469/2000 do Ministério da Saúde os parâmetros Alcalinidade Total, Condutividade, Cloreto, Coliformes Totais e Sólidos Totais (estes dois últimos parâmetros quando analisados de forma temporal, apresentaram diminuição significativa de cerca de 90 e 70%, respectivamente).

No Poço da Volvo (considerado como background da área das pedreiras e de disposição de resíduos) foram detectados acima do padrão de qualidade da Portaria 2914/2011 e 1469/2000, CONAMA 420/09 e 396/08 os seguintes parâmetros: Coliformes Totais, Manganês Total e Cloreto. Observa-se que todos esses 3 compostos apresentaram aumento significativo durante esse intervalo de tempo de 14 anos entre as análises. Além destes, DQO, Amônia, Nitrato, Sulfato e Nitrito também apresentaram aumento, principalmente este último que apresentou valor muito próximo ao limite de investigação estabelecido nas resoluções vigentes. Realizando uma análise temporal do Poço da Volvo, percebe-se que de forma geral, foi verificada diminuição da concentração da grande maioria dos elementos. Por se tratar de uma área considerada “branca” neste estudo realizado, há indícios de que o Poço da Volvo, esteja sujeito à contaminação da água por atividades humanas. Esta afirmativa é reforçada também pelos altos valores de coliformes totais, além do nitrato obtido.

De forma geral, em relação aos metais pesados: no PZ Norte nota-se atual diminuição de Chumbo, Ferro e Manganês encontrados na campanha de 2004; no PZ Sul observa-se diminuição de Chumbo, porém aumento e persistência de Ferro e Manganês, que estão com valores muito acima dos limites aceitáveis na legislação vigente; e; no Poço da Volvo, foi constatada diminuição geral de metais pesados, com exceção apenas de Manganês, que encontra-se cerca de 500% acima dos limites referenciadores. As altas concentrações de ferro obtidas no PZ Sul estão associadas à dissolução desse íon a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

Quando se avalia o pH, as amostras apresentam-se com pequenas variações. Em relação aos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (DBO, DQO, OD), pode-se afirmar que: DBO apresentou grande diminuição em todos os poços analisados, possuindo valor acima do limite de referência da legislação apenas no PZ Sul; DQO foi constatado aumento significativo em todos os poços, mesmo este parâmetro não possuindo valor de referência nas portarias comparativas analisadas e; OD mostrou redução em todos os poços estudados. Os altos valores obtidos para a Condutividade, Cloreto e Sólidos Totais também evidenciam que as águas subterrâneas da região sofreram e continuam a sofrer forte alteração pelas atividades realizadas na área. Também se observa que o fator tempo tem sido positivo para atenuação de grande parte dos parâmetros estudados.

Santos (2004) verificou que as concentrações do nitrato no poço localizado na porção sul é menor que no poço instalado na porção norte do aterro, enquanto as concentrações de DBO é maior no poço instalado na porção sul no ano de 2004. Este comportamento no ano de 2004 também é observado nos anos 2016/2017, porém com valores menores e atenuados, pois se verificou nesta campanha que os valores de OD nos Poços Sul e Norte são inferiores àqueles obtidos para o poço da Volvo (montante da região de estudo), o que mostra a continuidade de interferência do aterro na qualidade das águas subterrâneas. Observa-se também, que os valores de DBO em todos os poços amostrados apresentam valores acima daqueles obtidos para o poço da Volvo.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados e interpretações obtidos foi possível caracterizar o impacto nas águas subterrâneas da região em estudo. Desta forma conclui-se:

Comparando os resultados obtidos através da análise do arcabouço estrutural rúptil com os encontrados no mapa potenciométrico regional da área em estudo (Figuras 4 e 8), que nos mostrou que a área em estudo localiza-se num alto piezômetro, pode-se concluir que os sentidos de fluxo subterrâneo principais da região NE-SW (em direção ao Rio Jacuípe) são fortemente influenciados pela principal direção de fraturamento encontrada (NE-SW), de modo que é alta a vulnerabilidade desta bacia pela infiltração de contaminantes oriundos da região em estudo.

No perfil geoeletrico PG 10, observou-se predominância de elevadas resistividades, evidenciando um contato com rochas do embasamento cristalino raso e bem delineado. Não foram observados indícios de contaminação, mas o que mais chama atenção nesse perfil refere-se ao comportamento estrutural da área em estudo. São demarcados possíveis zonas de falhamentos e fraturamentos nesse perfil, que servem de condutos para percolação de contaminação. São fatores como estes que tornam a área em estudo bastante delicada e o aquífero com alta vulnerabilidade.

O perfil geoeletrico PG 15 indica anomalias condutivas, que podem estar relacionadas à presença de contaminantes nas rochas do embasamento cristalino. O formato dos possíveis bolsões visualizados na seção gerada pode estar relacionado a cavas da antiga pedreira sob a qual o Lixão Municipal Nova Esperança foi alocado. A existência de pontos de fugas de chorume; mesmo após cerca de 15 anos de extinção das atividades do aterro municipal; como por exemplo, as Lagoas Norte e Sul, corroboram

com os resultados geofísicos encontrados neste perfil. O perfil geoeletrico PG-15 mostrou uma área extremamente condutiva no limite do lixão Nova Esperança, com presença de possíveis bolsões de chorume, que são semelhantes aos altos valores de condutividade encontrados nas análises hidroquímicas dos poços PZ-Norte e PZ-Sul. Essa correlação acaba por corroborar ainda mais para afirmação da presença de passivos ambientais instalados na área.

As possíveis medidas mitigadoras para a área em estudo acabam por ser de grande preocupação devido ao cenário geológico e histórico de desativação da pedreira e implantação do lixão que não contou com a indispensável impermeabilização de base, usada para reter os líquidos percolados e conseqüentemente impedir a contaminação das águas subterrâneas da região. A localização da região de estudo também é delicada, pois se encontra em área formada por rochas cristalinas fraturadas, localizada num alto topográfico, muito próximo à zona urbana, com atividades de grande impacto à exemplo de pedreiras de brita, lixões e aterros sanitários. A análise da potenciometria do aquífero mostra que a área é um alto piezômetro com fluxo divergente, direcionado predominantemente ao Rio Jacuípe, principal rio da região.

A reduzida profundidade do solo da área em estudo aliada ao alto grau de faturamento dos corpos rochosos provocam uma elevada taxa de infiltração promovendo o transporte dos contaminantes para o aquífero fissural.

Somente os resultados e interpretações realizados acerca das resistividades e natureza dos materiais destacados nos perfis geofísicos não são suficientes para afirmar a contaminação do solo e da água subterrânea, seja na região de trabalho ou em qualquer outro local a ser estudado, já que estes apenas fornecem indícios da existência de contaminantes. Dessa forma, a contaminação e os níveis de contaminantes puderam ser confirmados por meio de análises físico-químicas nas amostras de água dos poços de monitoramento PZ Sul, PZ Norte e Poço da Volvo (considerado *background* da área).

De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas da região das pedreiras e aterros de Feira de Santana mantiveram altos valores, e; acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade da Portaria 2914/2011 e 1469/2000 do Ministério da Saúde; de: Alcalinidade, Condutividade, DBO, Sólidos Totais, Coliformes Totais e Cloretos. Foram observados menores valores de metais pesados (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo e Mercúrio), Nitrito, Nitrito e Sulfato.

Em relação aos metais pesados: no PZ Norte nota-se atual diminuição de Chumbo, Ferro e Manganês encontrados na campanha de 2004; no PZ Sul observa-se diminuição de Chumbo, porém aumento e persistência de Ferro e Manganês, que estão com valores muito acima dos limites aceitáveis na legislação vigente; e; no Poço da Volvo, foi constatada diminuição geral de metais pesados, com exceção apenas de Manganês, que encontra-se cerca de 500% acima dos limites referenciadores. As altas concentrações de ferro obtidas no PZ Sul, possivelmente esta associada a dissolução desse íon a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

Quando se avalia o pH, as amostras apresentam-se com pequenas variações. Em relação aos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (DBO, DQO, OD), pode-se afirmar que: DBO apresentou grande diminuição em todos os poços analisados, possuindo valor acima do limite de referência da legislação apenas no PZ Sul; DQO foi constatado aumento significativo em todos os poços, mesmo este parâmetro não possuindo valor de referência nas portarias comparativas analisadas.

O parâmetro OD mostrou redução em todos os poços estudados. O OD é um dos principais compostos de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejo orgânico, pois durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias consomem o oxigênio, e, caso ele seja totalmente consumido, têm-se condições anaeróbica, com geração de maus odores e grandes prejuízos ambientais. Tais características sugerem que as águas subterrâneas presentes na zona de rochas alteradas da área do lixão municipal sofreram modificações em sua composição química, devido a lixiviação de compostos dos resíduos sólidos dispostos no local, essa alteração também é marcada pelos altos valores obtidos

para a Condutividade, Cloreto e Sólidos Totais. Porém, observa-se que o fator tempo tem sido positivo para atenuação de grande parte dos parâmetros estudados.

Santos (2004) verificou que as concentrações do nitrato nos poços localizados na porção sul são menores que nos poços instalados na porção norte, enquanto as concentrações de DBO são maiores nos poços instalados na porção sul. Este comportamento também é observado nos anos 2016/2017, porém com valores menores e atenuados. Também verificou que os valores de OD nos Poços Sul e Norte são inferiores àqueles obtidos para o poço da Volvo, o que reflete a interferência do lixão municipal na qualidade das águas subterrâneas nas áreas à jusante. Observa-se também, que os valores de DBO em todos os poços amostrados apresentam valores acima daqueles obtidos para o poço da Volvo.

Resumindo o cenário encontrado, podemos afirmar que a desativação das pedreiras da área e implantação do Lixão Municipal Nova Esperança ocorreu de maneira inapropriada, sem impermeabilização de base indispensável e em área com alta vulnerabilidade do aquífero fissural local, por diversos fatores já listados anteriormente. A área em questão possui um fluxo subterrâneo principal na direção nordeste-sudoeste em direção ao rio principal Jacuípe (Figura 9). Superficialmente verificamos fluxos secundários na área, por se tratar de um alto topográfico, tanto na direção norte-sul, quanto na direção sul-norte, para seguirem em direção ao Rio Jacuípe. O Poço da Volvo, localizado à cerca de 1km da região em estudo e considerado como *background* da área, possui determinadas anomalias que nos dão indícios que este poço esteja sendo contaminado por atividades humanas, principalmente por estar locado à jusante do centro-urbano do município de Feira de Santana.

De forma geral, foi observado que todos os poços encontram-se alterados e, também, foi verificado uma atenuação natural, ocasionada, principalmente, pelo fator tempo. Muitos parâmetros que no ano de 2004 possuíam valores acima dos limites legais estabelecidos, hoje, são encontrados abaixo. Da mesma forma que alguns compostos tiveram poucas oscilações e outros mostram aumento temporal e/ou persistência nas suas concentrações. O monitoramento temporal mostra-se importante por gerar essa visão regional de cerca de 20 anos atrás e o seu cenário atual.

Recomenda-se para a área em estudo:

- Monitoramento hidroquímico temporal dos poços de monitoramento, de modo a acompanhar a condição ambiental da área periodicamente, e, se possível, utilização de mais poços nas próximas campanhas;
- Mapeamento geofísico mais detalhado e com a utilização de métodos em consonância para obtenção de melhores resultados com a finalidade de delimitar com maior precisão a geometria da pluma de contaminação;
- Fiscalização dos órgãos ambientais competentes;
- Continuidade das ações que estão sendo realizadas pela Prefeitura Municipal de Feira de Santana, a exemplo de construção de Lagoas e secagem das mesmas no aterro municipal.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, em especial à coordenadora Simone C. P. Cruz. Aos meus orientadores Iracema Reimão Silva e Luiz Rogério Bastos Leal. Ao grande geofísico Rogério Porciuncula. Ao grande irmão de rocha Aníbal Dias. À Denilton, a equipe da Geocia Ambiental, Senai e Geofsite. Ao escritório Lopes, Brust e Rocha Advogados. A Deus e minha família, onipresentes.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. F. C., BERTOLO, R. A. Geoquímica de águas subterrâneas impactadas por aterros de resíduos sólidos, São Paulo, v.26, p. 43-64, fev/jun. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro. 2010. 24 p.

BAHIA, Lei Estadual nº12.932, de 07 de janeiro de 2014. Política Estadual de Resíduos Sólidos. Diário Oficial do Estado: Bahia, 7 jan. 2014.

BARBOSA, J. S. F.; SABATÉ, P. Colagem Paleoproterozóica de Placas Arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia. Revista Brasileira de Geociências, Volume 33, p. 7-14, ano 2002.

BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Coords.). **Geologia da Bahia**: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo. Salvador: superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996. 400 p. Derba (2000).

BERNARDES, R. S.; PASTORE, E. L.; PEREIRA, J. H. F.; Caracterização geofísica e geoquímica da área de disposição de resíduos urbanos “Aterro do Joquei Clube” em Brasília – DF. Revista do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, n III – 070, p. 1969-1980, ano 1999.

BORTOLIN, J.R.M.; MALAGUTTI FILHO, W. Monitoramento temporal da pluma de contaminação no aterro de resíduos urbanos de Rio Claro (SP) por meio do método geofísico da eletrorresistividade. Revista do Instituto de Geociências – USP, v. 12, n.3, p. 99-113, dez. 2012.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008. *Diário Oficial da União*: Brasília, v. 220, p. 93, nov. 2008.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Resolução nº 396, de 03 de Abril de 2008. *Diário Oficial da União*: Brasília, v. 66, p.64-68, abr. 2008.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Resolução nº 420, de 28 de Dezembro de 2009. *Diário Oficial da União*: Brasília, v. 249, p. 81-84, dez. 2009.

CAVALCANTI, M. M. (2013) Aplicação de métodos geoeletricos no delineamento da pluma de contaminação nos limites do aterro controlado do Jockey Clube de Brasília. 128p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Aplicada) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas. Norma Cetesb nº 6410 de 1988.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea (Diagnóstico do Município de Feira de Santana). Outubro de 2005.

D'ALMEIDA, M. L. O & VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

ECODESENVOLVIMENTO. EcoD Básico: Lixão, Aterro controlado e Aterro Sanitário. Disponível em <<http://www.ecodesenvolvimento.org/noticias/ecod-basico-lixao-aterro-controlado-e-aterro>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ELIS, V.R. (1998) Avaliação da aplicação de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. 264 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.

FERREIRA, C. L. L., SILVA, A. A. R. O lixo no município de Feira de Santana: problemas e soluções, Feira de Santana, v.1, p. 1-11, 2014(?).

GADOTTI, R. F. (1997) Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao “lixão” da cidade de São Carlos. 144 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

GEOCIA AMBIENTAL LTDA. Relatório técnico geofísico e ambiental no Aterro Sanitário, Feira de Santana. P. 127, 2016.

GEOFSITE. GEOLOGIA E GEOFÍSICA LTDA. Mapeamento Geoelétrico do Aterro Sanitário, Feira de Santana. Rev.00, n. 1, p. 01-21, 2016.

GIRODO, A. C. Cavas de minas para disposição de resíduos (Possibilidades e Restrições), Belo Horizonte, v. 1, p. 1-70, out. 2008.

GOOGLE. Google Earth. Version 7.1.5. ano 2015. Bairro Nova Esperança. Disponível em: <<http://www.superdownloads.com.br/download/100/google-earth/>>. Acesso em: 05 de Jun. 2016.

FERREIRA, D. As lagoas de Feira de Santana. Disponível em: <<http://feirenses.com/lagoas-feira-de-santana/>> desde 29 out. 2015. Acesso em: 28 ago. 2017.

IBGE; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades da Bahia. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 18 de Março de 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa nacional de saneamento básico* – 2000. 2002. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2008.

JUCÁ, J. F.T. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Braga. **Anais...** 2002. [Rio de Janeiro]: ABES, 2002.

MAREGA, A. C. P. Lixo urbano, um problema social e responsabilidade de todos. Disponível em <<http://www.cenedcursos.com.br/meio-ambiente/lixo-urbano-problema-social/>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Portaria nº 1469, de 29 de Dezembro de 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.

PORCIUNCULA, R. J., LIMA, O. A. L., LEAL, L. R. B. Método Geométrico – Potencial instrumento para auxílio da gestão do solo e dos recursos hídricos subterrâneos: Estudos de caso, Alagoinhas, Bahia. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016.

QASIM, S. R., CHIANG, W. 1994, Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment. CRC Press, Boca Raton, FL.

ROCHA, C. C.; NOLASCO, M. C.; ROCHA, W. J. S. F. 1994. Impactos e vetores de risco ambiental em Feira de Santana: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE AMBIENTAL, 1., 1994, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: UNESP, 1994. p. X-X.

RODRIGUES, V. F. A.; RODRIGUES, J. C.; NUNES, V. J. 2013. Gestão Ambiental em Mineradora – Feira de Santana – BA. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador, Bahia, 2013.

SANTOS, C. B.:. Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana – Ba, 2004. 188f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SANTO, S. M. O Desenvolvimento Urbano em Feira de Santana (BA). *Sitientibus*, Feira de Santana, n.28, p.9-20, jan./jun. 2003.

SENAI. Tabela com resultados laboratoriais de amostragem de Poços de Monitoramento. Relatório Técnico – Feira de Santana, 2017.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS (Bahia), (SRH). Plano estadual de recursos hídricos. Salvador, 2003. 1 CD-ROM.

VIEIRA, A. T.; MELO, F.; LOPES, H. B. V.; CAMPOS, J. C. V.; BONFIM, L. F. C.; COUTO, P. A. A.; BEVENUTI, S. M. P. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Feira de Santana. CPRM, Salvador, v.1, p. 1-30, out. 2005.

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES

A partir dos resultados e interpretações obtidos foi possível caracterizar o impacto nas águas subterrâneas da região em estudo. Desta forma conclui-se:

Comparando os resultados obtidos através da análise do arcabouço estrutural rúptil com os encontrados no mapa potenciométrico regional da área em estudo (Figuras 4 e 8), que nos mostrou que a área em estudo localiza-se num alto piezômetro, pode-se concluir que os sentidos de fluxo subterrâneo principais da região NE-SW (em direção ao Rio Jacuípe) são fortemente influenciados pela principal direção de fraturamento encontrada (NE-SW), de modo que é alta a vulnerabilidade desta bacia pela infiltração de contaminantes oriundos da região em estudo.

No perfil geoeletrico PG 10, observou-se predominância de elevadas resistividades, evidenciando um contato com rochas do embasamento cristalino raso e bem delineado. Não foram observados indícios de contaminação, mas o que mais chama atenção nesse perfil refere-se ao comportamento estrutural da área em estudo. São demarcados possíveis zonas de falhamentos e fraturamentos nesse perfil, que servem de condutos para percolação de contaminação. São fatores como estes que tornam a área em estudo bastante delicada e o aquífero com alta vulnerabilidade.

O perfil geoeletrico PG 15 indica anomalias condutivas, que podem estar relacionadas à presença de contaminantes nas rochas do embasamento cristalino. O formato dos possíveis bolsões visualizados na seção gerada pode estar relacionado a cavas da antiga pedreira sob a qual o Lixão Municipal Nova Esperança foi alocado. A existência de pontos de fugas de chorume; mesmo após cerca de 15 anos de extinção das atividades do aterro municipal; como por exemplo, as Lagoas Norte e Sul, corroboram com os resultados geofísicos encontrados neste perfil. O perfil geoeletrico PG-15 mostrou uma área extremamente condutiva no limite do lixão Nova Esperança, com presença de possíveis bolsões de chorume, que são semelhantes aos altos valores de condutividade encontrados nas análises hidroquímicas dos poços PZ-Norte e PZ-Sul. Essa correlação acaba por corroborar ainda mais para afirmação da presença de passivos ambientais instalados na área.

As possíveis medidas mitigadoras para a área em estudo acabam por ser de grande preocupação devido ao cenário geológico e histórico de desativação da pedreira e implantação do lixão que não contou com a indispensável impermeabilização de base, usada para reter os líquidos percolados e conseqüentemente impedir a contaminação das águas subterrâneas da região. A localização da região de estudo também é delicada, pois se encontra em área formada por rochas cristalinas fraturadas, localizada num alto topográfico, muito próximo à zona urbana, com atividades de grande impacto à exemplo de pedreiras de brita, lixões e aterros sanitários. A análise da potencimetria do aquífero mostra que a área é um alto piezômetro com fluxo divergente, direcionado predominantemente ao Rio Jacuípe, principal rio da região.

A reduzida profundidade do solo da área em estudo aliada ao alto grau de faturamento dos corpos rochosos provocam uma elevada taxa de infiltração promovendo o transporte dos contaminantes para o aquífero fissural.

Somente os resultados e interpretações realizados acerca das resistividades e natureza dos materiais destacados nos perfis geofísicos não são suficientes para afirmar a contaminação do

solo e da água subterrânea, seja na região de trabalho ou em qualquer outro local a ser estudado, já que estes apenas fornecem indícios da existência de contaminantes. Dessa forma, a contaminação e os níveis de contaminantes puderam ser confirmados por meio de análises físico-químicas nas amostras de água dos poços de monitoramento PZ Sul, PZ Norte e Poço da Volvo (considerado *background* da área).

De modo geral, observa-se que as águas subterrâneas da região das pedreiras e aterros de Feira de Santana mantiveram altos valores, e; acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade da Portaria 2914/2011 e 1469/2000 do Ministério da Saúde; de: Alcalinidade, Condutividade, DBO, Sólidos Totais, Coliformes Totais e Cloretos. Foram observados menores valores de metais pesados (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo e Mercúrio), Nitrato, Nitrito e Sulfato.

Em relação aos metais pesados: no PZ Norte nota-se atual diminuição de Chumbo, Ferro e Manganês encontrados na campanha de 2004; no PZ Sul observa-se diminuição de Chumbo, porém aumento e persistência de Ferro e Manganês, que estão com valores muito acima dos limites aceitáveis na legislação vigente; e; no Poço da Volvo, foi constatada diminuição geral de metais pesados, com exceção apenas de Manganês, que encontra-se cerca de 500% acima dos limites referenciadores. As altas concentrações de ferro obtidas no PZ Sul, possivelmente esta associada a dissolução desse íon a partir dos minerais ou compostos de ferro presentes no aquífero.

Quando se avalia o pH, as amostras apresentam-se com pequenas variações. Em relação aos parâmetros indicadores de contaminação orgânica (DBO, DQO, OD), pode-se afirmar que: DBO apresentou grande diminuição em todos os poços analisados, possuindo valor acima do limite de referência da legislação apenas no PZ Sul; DQO foi constatado aumento significativo em todos os poços, mesmo este parâmetro não possuindo valor de referência nas portarias comparativas analisadas.

O parâmetro OD mostrou redução em todos os poços estudados. O OD é um dos principais compostos de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejo orgânico, pois durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias consomem o oxigênio, e, caso ele seja totalmente consumido, têm-se condições anaeróbica, com geração de maus odores e grandes prejuízos ambientais. Tais características sugerem que as águas subterrâneas presentes na zona de rochas alteradas da área do lixão municipal sofreram modificações em sua composição química, devido a lixiviação de compostos dos resíduos sólidos dispostos no local, essa alteração também é marcada pelos altos valores obtidos para a Condutividade, Cloreto e Sólidos Totais. Porém, observa-se que o fator tempo tem sido positivo para atenuação de grande parte dos parâmetros estudados.

Santos (2004) verificou que as concentrações do nitrato nos poços localizados na porção sul são menores que nos poços instalados na porção norte, enquanto as concentrações de DBO são maiores nos poços instalados na porção sul. Este comportamento também é observado nos anos 2016/2017, porém com valores menores e atenuados. Também verificou que os valores de OD nos Poços Sul e Norte são inferiores àqueles obtidos para o poço da Volvo, o que reflete a interferência do lixão municipal na qualidade das águas subterrâneas nas áreas à jusante. Observa-se também, que os valores de DBO em todos os poços amostrados apresentam valores acima daqueles obtidos para o poço da Volvo.

Resumindo o cenário encontrado, podemos afirmar que a desativação das pedreiras da área e implantação do Lixão Municipal Nova Esperança ocorreu de maneira inapropriada, sem impermeabilização de base indispensável e em área com alta vulnerabilidade do aquífero fissural local, por diversos fatores já listados anteriormente. A área em questão possui um fluxo subterrâneo principal na direção nordeste-sudoeste em direção ao rio principal Jacuípe (Figura 9). Superficialmente verificamos fluxos secundários na área, por se tratar de um alto

topográfico, tanto na direção norte-sul, quanto na direção sul-norte, para seguirem em direção ao Rio Jacuípe. O Poço da Volvo, localizado à cerca de 1km da região em estudo e considerado como *background* da área, possui determinadas anomalias que nos dão indícios que este poço esteja sendo contaminado por atividades humanas, principalmente por estar locado à jusante do centro-urbano do município de Feira de Santana.

De forma geral, foi observado que todos os poços encontram-se alterados e, também, foi verificado uma atenuação natural, ocasionada, principalmente, pelo fator tempo. Muitos parâmetros que no ano de 2004 possuíam valores acima dos limites legais estabelecidos, hoje, são encontrados abaixo. Da mesma forma que alguns compostos tiveram poucas oscilações e outros mostram aumento temporal e/ou persistência nas suas concentrações. O monitoramento temporal mostra-se importante por gerar essa visão regional de cerca de 20 anos atrás e o seu cenário atual.

Recomenda-se para a área em estudo:

- Monitoramento hidroquímico temporal dos poços de monitoramento, de modo a acompanhar a condição ambiental da área periodicamente, e, se possível, utilização de mais poços nas próximas campanhas;
- Mapeamento geofísico mais detalhado e com a utilização de métodos em consonância para obtenção de melhores resultados com a finalidade de delimitar com maior precisão a geometria da pluma de contaminação;
- Fiscalização dos órgãos ambientais competentes;
- Continuidade das ações que estão sendo realizadas pela Prefeitura Municipal de Feira de Santana, a exemplo de construção de Lagoas e secagem das mesmas no aterro municipal.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA

GEOLOGIA USP. SÉRIE CIENTÍFICA

Diretrizes para Autores

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo do autor principal (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e telefone para contato), e-mail de todos os autores; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, devem ser concisos, com no máximo 270 palavras. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – máximo seis, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas. Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos.

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

5. TÍTULOS E SUBTÍTULOS – utilizar a formatação abaixo:

NÍVEL 1 – NEGRITO, CAIXA ALTA.

Nível 2 – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Nível 3 – *Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).*

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.

a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica. A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.

EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS:

a) Livro com um autor

Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow: Longman.

b) Livro com dois autores

Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling. Simulation of low and advective transport*. San Diego: Academic Press.

c) Livro com três ou mais autores

Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). *A geologic time scale* (2a ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

d) Capítulo de livro

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), *The ocean basin and margins*, v. 1, 411-446. New York: Plenum.

(Exemplo de Publicação seriada)

L. Harris, N. , Pearce, J. , Tindle, A. (1986). Geochemical collision-zone magmatism. In: Coward M. P., Ries A. C. (ed.) *Collision tectonics*. 67-81. London: Geological Society. (Geological Society Special Publication, 19).

e) Artigo de periódico

Caffe, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoe, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Science*, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 2, 582-596. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/ CBPM.

h) Teses e Dissertações

Petta, A. R. (1995). *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/ Caicó (RN-Brasil)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). *Tectonics: Recent Advances*. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>.

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatumi, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana: SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf>.

j) Com numeração DOI

Livro

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*.

DOI: 10.7476/9788579830020.

Artigo de periódico

Evandro, L., Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gilvana, L. Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U–Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-221, 192-216.

DOI: 10.1016/j.precamres.2012.08.007.