

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geociências

Gerlânia Brasiliana de Arruda

**“ROTAS GEOQUÍMICAS DA CONTAMINAÇÃO
SULFÁTICA EM MEIOS AQUOSOS NO
MUNICÍPIO DE ARARIPINA/PE”**

Tese de Doutorado

Recife, 2016

GERLANIA BRASILIANA DE ARRUDA

Tese submetida ao Programa de Pós
Graduação em Geociências –
PPGGeociências, como parte dos
requisitos para obtenção de Título de
Doutorado.

**“ROTAS GEOQUÍMICAS DA CONTAMINAÇÃO SULFÁTICA EM MEIOS
AQUOSOS NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA/PE”**

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador:

Prof. Dr. Eldemar de Albuquerque Menor

PPGGeociências, UFPE

Recife, 2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

A779r Arruda, Gerlânia Brasiliana de.

Rotas geoquímicas da contaminação sulfática em meios aquosos no município de Araripina/PE / Gerlânia Brasiliana de Arruda. - Recife: O Autor, 2016.

77 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Eldemar de Albuquerque Menor.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Geociências, 2016.

Inclui Referências.

1. Geociências. 2. Hidrogeoquímica. 3. Contaminações. 4. Sulfato. 5. Gesso. I. Albuquerque Menor, Eldemar de (Orientador). II. Título.

551 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2016-165

GERLÂNIA BRASILIANA DE ARRUDA

**ROTAS GEOQUÍMICAS DA CONTAMINAÇÃO SULFÁTICA EM MEIOS
AQUOSOS NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA/PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em Geociências.

Aprovado em: 20/04/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Eldemar Albuquerque Menor - UFPE (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr^o Virgínio Henrique M. L. Neumann - UFPE (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr^o Almany Costa Santos – UFPE (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr. Márcio Luiz Siqueira Campos Barros – PPGMinas/UFPE (Examinador Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima – CPRM (Examinador Externo)

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – SUREG/RE

Dedicado à

Minha mãe Irene e ao meu esposo José Eustáquio.

Agradecimentos

Nomear as pessoas é uma tarefa difícil, visto que de muitos pode nos ocorrer de nem lembrar os nomes. Agradeço em primeira instância aos meus não só amigos, mas ídolos e orientador: Dr. Eldemar Albuquerque Menor por sua conduta de generosidade aprendizagem e humildade. Aos professores e funcionários UFPE, em especial aos do PPGGeociências; CAPES, CENAPESQ/UFRPE e o LAMSA/UFPE que me apoiaram neste projeto, contribuindo para a grandeza de nosso país.

A Jesus Cristo que, durante todo o período de realização desta pesquisa, não deixou que meus ânimos e as minhas esperanças se abalassem pelas dificuldades que surgiam a cada dia.

Agradeço com todo orgulho e gratidão à minha mãe Irene Brasileira de Sales, e com toda a saudade a meu pai Severino Jose de Arruda (*in memorian*) que colocaram em minhas mãos as ferramentas com as quais abrimos o caminho para novos horizontes. Aos meus familiares e ao meu esposo José Eustáquio Brainer Neto, que acompanha minha trajetória desde antes da graduação, apoiando-me e proporcionando toda força necessária para vencer os obstáculos.

Aos membros da banca de qualificação pelo aporte de novas observações e sugestões, oportunas e válidas para finalização deste trabalho e, finalmente, aos amigos do Pós-graduação em Geociências pela amizade e agradável convívio.

RESUMO

Propriedades físico-químicas de águas superficiais represadas (profundidade: 30 cm) da região de Araripina, envolvendo pH, condutividade, OD, STD, temperatura, sulfatos, cloretos e bicarbonatos, são apresentadas neste trabalho. Este estudo foi motivado por pesquisas médicas que indicaram a poeira de gesso como responsável por 38% das internações hospitalares locais. A amostragem, no final da estação chuvosa, pressupõe um máximo de lixiviação da poeira de gesso sedimentada em solos e vegetação. A partir de focos produtores, os resultados permitiram configurar halos hidroquímicos de contaminação originados pela lixiviação da poeira de gesso e por efluentes da produção de placas de gesso. Posteriormente esses dados foram comparados com amostragem com período de estiagem. Estes halos envolvem centenas de metros de extensão, com período de estiagem orientado predominante dos ventos, determinando áreas de influência onde águas represadas e de subsuperfície estão contaminadas em SO_4^{2-} (>250 mg/L até 1930 mg/L) e em cloretos (>250 mg/L até 5390 mg/L). Esta associação hidroquímica é atribuída à lixiviação de particulados de gesso e à provável presença de halita residual neste produto. A drenagem a jusante de Araripina revela contaminações por efluentes da produção de placas de gesso no domínio urbano, com contribuição adicional de efluentes domésticos sódicos e/ou clorados. No interior dos halos de dispersão de poeira/efluentes de gesso, águas represadas com concentrações elevadas em cloretos (> 200 mg/L) e sulfatos (> 250 mg/L), estão inviáveis para consumo humano. Elevadas taxas de dissolução e de residência de sulfatos e cloretos, nestes meios líquidos, mostraram aumento de concentração sulfatos e cloretos nos corpos d'água estudados principalmente no quadro de estiagem prolongada.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica. Contaminações. Sulfato. Gesso.

ABSTRACT

Physicochemical properties of dammed surface water (depth: 30 cm) of Araripina region, involving pH, conductivity, DO, TDS, temperature, sulfates, chlorides and bicarbonates, are presented in this paper. This study was motivated by medical research that indicated the dust plaster responsible for 38% of local hospitalizations. Sampling at the end of the rainy season, it assumes a maximum of dust leaching gypsum sediment in soils and vegetation. From producers outbreaks, the results helped set hydro chemical halos of contamination arising from the leaching of plaster dust and waste from the production of plasterboard. Subsequently these data were compared with a sample with the dry season. These halos involve hundreds of meters long, with prevailing dry season winds oriented, determining areas of influence where backwaters and subsurface are contaminated in SO_4^{2-} ($> 250 \text{ mg / L}$ to 1930 mg / L) and chlorides ($> 250 \text{ mg / L}$ to 5390 mg / L). Hydrochemistry This association is attributed to leaching of gypsum particles and the probable presence of residual halite this product. Draining the Araripina downstream reveals contamination by waste from the production of plasterboard in the urban area, with additional contribution of sodium and / or chlorinated domestic sewage. Inside the dispersion halos of dust / waste gypsum, water dammed chlorides in high concentrations ($> 200 \text{ mg / l}$) and sulphate ($> 250 \text{ mg / L}$), are unfeasible for human consumption. High dissolution rates and residence of sulphates and chlorides, these liquid media showed increased concentration sulfates and chlorides in water bodies studied mainly in prolonged drought frame.

Keywords: Hydrogeochemical. Contamination. Sulphate. Plaster.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS	5
2.1 BREVE HISTÓRICO	5
2.1.1 Meio Ambiente e Mineração.....	5
2.1.2. Geologia da Bacia Sedimentar do Araripe	6
2.2 PRODUÇÃO DE GESSO E MEIO AMBIENTE.....	8
2.2.1 Calcinação e Meio Ambiente	9
2.2.2 Material particulado proveniente da gipsita e de gessos	10
2.2.3 Impactos ambientais no Polo Gesseiro do Araripe.....	13
2.3 RECURSOS HIDRICOS	13
2.3.1 A água: importância e qualificação.....	13
2.3.1.1 Qualidade e poluição dos recursos hídricos.....	16
2.3.2 Recursos Hídricos do Araripe	16
2.3.3 Bacia do Rio da Brígida	19
2.4 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARIPINA.....	20
2.4.1 Descrição da área de estudo	20
2.4.2 Aspectos fisiográficos	21
2.4.3 Vegetação.....	22
2.4.4 Clima	22
2.4.5 Solos.....	23
2.4.6 Geologia	25
2.4.7 Pluviometria e direção dos ventos.....	27
2.4.8 Doenças relacionadas ao trato respiratório na região	30
3. AMOSTRAGEM E MÉTODOS.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Parâmetros físico-químicos da amostragem de águas.....	41
4.1.1 pH.....	43
4.1.2 Temperatura e oxigênio dissolvido (OD).....	48

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DE SUPERFÍCIE/SUBSUPERFÍCIE.....	52
4.2.1 Sulfatos (SO_4^-).....	54
4.2.2 Cloretos	61
5. CONCLUSÕES.....	68
6. REFERÊNCIAS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Empregos por atividade formal em Araripina. Fonte: CAGED, 2012.....	2
Figura 2. Cronoestratigrafia da sequência sedimentar da Bacia do Araripe.	7
Figura 3. Granulados diversos e poeira de gipsita em unidade de cominuição denominados genericamente como “gesso agrícola”.	11
Figura 4. Halo de dispersão mecânica de poeira de gesso a partir de unidade de calcinação. Fonte: GOOGLE EARTH (2013).	12
Figura 5. Emissão de poluentes sólidos e gasosos a partir de calcinadora da região de Araripina. Fonte: CPRH (2000).	12
Figura 6. Localização da área de estudo. Mapa adaptado de Araújo (2004).....	21
Figura 7. Mapa de velocidade média dos ventos da Região do polo gesseiro do Araripe.	23
Figura 8. Mapa de solos do município de Araripina - PE. Fonte; EMBRAPA (2000).....	24
Figura 9. Mapa estrutural da Bacia do Araripe evidenciando Horts e Grabens. (PONTE & PONTE FILHO, 1996).....	26
Figura 10. Dados pluviométricos da região de Araripina no período 2009-2012. Fonte: INMET, 2014.....	28
Figura 11. Gráfico mensal da precipitação total entre os anos de 2009 a 2012 da região do Araripe. Fonte: INMET, 2104.....	30
Figura 12. Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2009 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.	34
Figura 13. Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2010 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.....	35
Figura 14. Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2011 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.....	35

Figura 15 Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2012 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.....	36
Figura 16. Equipamento OAKTON, modelo WP 600, Série Meters.	40
Figura 17. Histograma do pH de amostras de águas de superfície e de subsuperfície da área de estudo na região de Araripina, em período chuvoso.	44
Figura 18. Trecho do riacho Moraes (G-13); curso contaminado por descartes domésticos não tratados (ARRUDA, 2011).....	45
Figura 19. Maior barragem do município de Araripina DNOCS (Estação G- 6) no período de estiagem prolongada de dois anos, praticamente seca. (ARRUDA, 2012).	46
Figura 20. Histograma do pH de amostras de águas de superfície e de subsuperfície no período....de estiagem prolongada (2 anos) em uma área de estudo na região de Araripina.	46
Figura 21. Margem da barragem do DNOCS (Estação G- 6) com presença de bivalves em período chuvoso (ARRUDA, 2011).	47
Figura 22. Açude de pequena dimensão (amostragem G-14), raso, com significativo desenvolvimento algálico e indícios de eutrofização (OD = 2,42), em período chuvoso (ARRUDA, 2011).	50
Figura 23. Histograma dos valores de oxigênio dissolvido (OD) de águas de superfície/subsuperfície no período chuvoso, em área de estudo na região de Araripina-PE.....	51
Figura 24. Histograma dos valores de oxigênio dissolvido (OD) de águas de superfície/subsuperfície em uma área de estudo na região de Araripina – PE, em período de estiagem prolongada.....	52
Figura 25. Barragem do Estado (estações G-1 e G-1B), margem norte, vizinhança da zona urbana de Araripina e de pequenos focos de produção de placas de gesso. Local receptor de efluentes domésticos e também de resíduos (↓) decorrentes de produção de placas de gesso. Teor de sulfato nas águas da estação de amostragem G-1 (SO_4^- Chuvas = 813,8 mg/L e SO_4 Verão = 744 mg/L) (ARRUDA, 2011).	56
Figura 26. Barragem da Indústria Têxtil Artesa, no curso de afluente do riacho Moraes, com cabeceiras na zona urbana de Araripina. Concentração de sulfatos nas águas da estação de amostragem G-15 = 413,8 mg/L. Em período de estiagem secou por completo (ARRUDA, 2011). .	56
Figura 27. Comparação entre concentrações de sulfato entre período de chuva e de estiagem prolongada, em águas represadas, no município de Araripina – PE.	57

Figura 28. Zoneamento de áreas de influência em período de chuva dos halos de dispersão atmosférica de poeira/efluentes de gesso, resultando em anomalias de SO_4^- em águas de superfície/subsuperfície na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2011).....	59
Figura 29. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em sulfato (mg/L) no período de estiagem prolongada, na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2015).....	60
Figura 30. Comparação de concentrações do cloreto entre os períodos chuvoso e de estiagem prolongada, no município de Araripina – PE.	63
Figura 31. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em cloretos(mg/L) no período chuvoso, na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2011).	64
Figura 32. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em cloretos(mg/L) no período de estiagem, na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2015).	65
Figura 33. Comparação das concentrações de bicarbonatos em águas represadas, nos períodos de .. chuvas e de estiagem prolongada, no município de Araripina – PE.	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Composição química média de gipsitas da Bacia do Araripe.....	8
TABELA 2. Sentido predominante dos ventos, região do Araripe, entre 2009 a 2012.	29
TABELA 3. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2009.....	31
TABELA 4. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2010.....	32
TABELA 5. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2011.....	32
TABELA 6. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2012.....	33
TABELA 7. Sumário das estações de amostragem hídrica e suas categorias.....	38
TABELA 8. Sumário com coordenadas UTM da amostragem coletada	39
TABELA 9. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais e de subsuperfície em período chuvoso, na região de Araripina – Pernambuco, em 2011.....	41
TABELA 9. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais e de subsuperfície em período chuvoso, na região de Araripina – Pernambuco, em 2011.....	42
TABELA 10. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais/subsuperfície em período de estiagem prolongada (2 anos) na região de Araripina – PE, ano de 2013.....	42
TABELA 11. Padrão de qualidade para águas classe 2: Resolução CONAMA N°367/05.	43
TABELA 12. Composição química de sedimento (total) de fundo de alguns corpos d’água represados da área de estudo, e de áreas circunvizinhas	48
TABELA 13. Comparação entre parâmetros químicos de águas superficiais e de subsuperfície durante período chuvoso e sob estiagem prolongada, em área de estudo na região de Araripina, Pernambuco.....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BPF – Óleo combustível: British Petroleum Fuel

CAGED - Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Ministério do Emprego e do Trabalho)

CaSO₄ – sulfato de cálcio

CaSO₄. 0,5 H₂O – sulfato de cálcio hemidratado: bassanita (gesso)

CaSO₄. 2 H₂O – sulfato de cálcio dihidratado: gipsita

Cl⁻ – Íon Cloro

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CNTP – Condições normais de temperatura e pressão

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONAMA resolução n° 357/05 (classe 2)

CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Estado de Pernambuco

H₂O – Água

HNO₃ – ácido nítrico

HPA's - hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa
MA – Média aritmética
MO - Matéria Orgânica
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério das Minas e Energia
MS - Ministério da Saúde
NE – Nordeste (do Brasil)
NO_x – Óxido de nitrogênio
NW – Noroeste
OD – Oxigênio dissolvido
ONG - Organização Não-Governamental
pH – Potencial hidrogenionico
SECTMA - Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gesso
SO – Monóxido de enxofre
SO₂ - Dióxido de enxofre
SO₄⁻ - Íon sulfato
STD – Sólidos totais dissolvidos
SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TQe – Tércio-Quartenário eluvionar
RT – Rocha total

1. INTRODUÇÃO

Desde os anos 50, o eixo Ipubi-Trindade-Araripe, situado nas faldas meridionais da Chapada do Araripe, tornou-se a principal região produtora de gipsita em âmbito nacional. Desde fins do século XX, 95% da produção brasileira de gipsita provêm de domínios vicinais da Chapada do Araripe (LYRA SOBRINHO et al., 1990). Inicialmente, o minério era exclusivamente destinado a assegurar o tempo de pega do clínquer em cimentos e, portanto, transportado para o resto do território brasileiro na condição de minério bruto britado.

Nas últimas décadas, o “distrito mineiro” se consolidou, assim como seu pólo industrial, em razão da produção de gessos α e β e produtos derivados, dentre eles placas e pré-moldados, além de produtos para consumo odontológico e cerâmico (LYRA SOBRINHO et al., 1990). Tal nível produtivo justificou a designação da região como “Distrito gipsífero do Araripe”. Todavia, desde muitos anos estas matérias-primas vêm sendo largamente destinadas à industrialização de gessos e seus derivados com maior valor agregado, principalmente placas de revestimento. Como não poderia ser diferente, a expansão deste mercado originou o que atualmente se chama de “Polo Gesseiro do Araripe”, o principal gerador de renda, de empregos e de sustentação da economia desta região. Este polo integra municípios, participando com 1,6% da economia estadual.

A partir da década de 90, com a crescente demanda dos derivados da gipsita, o município de Araripe passou a abrigar filiais de empresas estrangeiras evidenciando-se, localmente, a inserção do capital externo. Assim, a transferência das atividades antes vinculadas à agricultura para a indústria mineral e de serviços acarretou um processo de migração de pessoas dos municípios circunvizinhos, transformando Araripe numa cidade de porte médio no estado de Pernambuco e de maior destaque na economia do Polo Gesseiro. Assim, esta cidade destaca-se economicamente pelo extrativismo mineral (figura 1) em função das grandes reservas de gipsita localizadas na Bacia do Araripe, que ocupam lugar de destaque no cenário nacional e mundial.

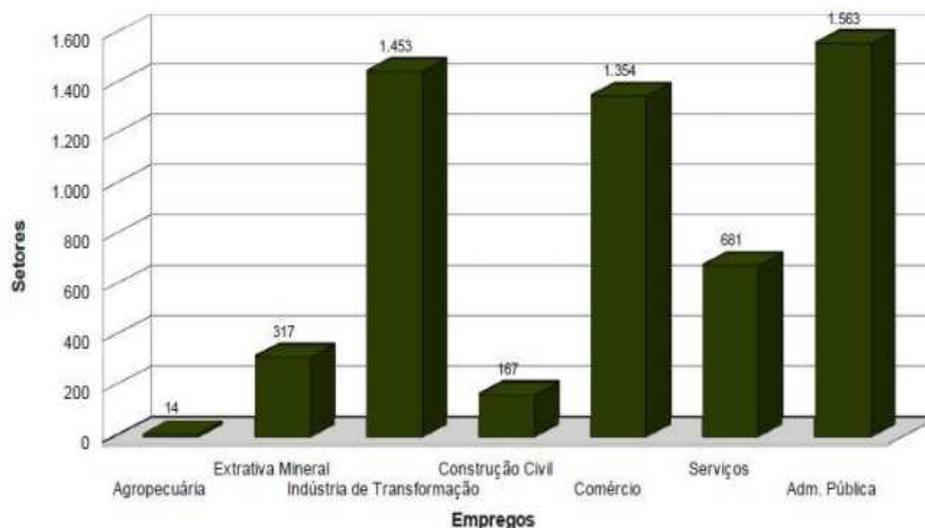


Figura 1. Empregos por atividade formal em Araripina. Fonte: CAGED, 2012.

A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mineral não metálico, tem como composição estequiométrica: 32,5% de CaO , 46,6% de SO_3 e 20,9% de perda ao fogo, que é equivalente à sua água molecular (PARFENOFF et al., 1970). No sistema $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$, gipsita é a fase mais aquosa e, além da anhidrita II, fase estável em condições atmosféricas ambientais (RAJU & ATKINSON, 1990). Entretanto, em sistemas aquosos, mesmo em CNTP, vários autores têm demonstrado que a gipsita perde moléculas de água a partir de 42 °C (BRAITSCHE, 1971; DEER et al., 1992) ou a partir de 60 °C (MIRWALD, 2008), conforme diferentes vias de experimentação, tendendo a se transformar em bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), que corresponde à forma mineralizada comercialmente denominada como gesso. O processo de produção deste insumo envolve a calcinação da gipsita na faixa de 160 a 185 °C, conforme padrões operacionais da fornada, no tempo de 40 a 60 minutos.

O minério de gipsita se origina em bacias sedimentares, por evaporação da fase solvente até que, alcançada a concentração crítica para sulfatos em solução, inicia-se sua precipitação. Conceitualmente, trata-se de um evaporito, que forma depósitos acomodados, lentes e bolsões, intercalados em sequências sedimentares cujas idades geológicas podem variar desde o Paleozoico ao Cenozoico (LYRA SOBRINHO, 2001).

A gipsita é consumida sob as formas bruta e beneficiada. Sob a forma bruta é utilizada pelos setores cimenteiro e agrícola. Sob a forma beneficiada (gesso) é utilizada na construção civil, principalmente como pré-moldados para revestimento de paredes, forros, ou como elemento de decoração arquitetônica e, subordinadamente, pelos setores ceramista, odontológico, médico e de adereços (PERES et al., 2001).

Desde o minério bruto até a produção de gessos, ocorrem pelo menos 3 formas de dispersão mecânica de particulados finos no espaço atmosférico regional:

- Subproduto da cominuição do minério;
- Emissão de particulados, em trabalhos de mineração;
- Emissão sólida resultante da queima de combustíveis diversos: BPF, lenha, etc. (fuligem e cinzas), e poeira de gesso, todos produzidos pela calcinação do minério.

Problemas de saúde pública relativos ao desenvolvimento de atividades mineiras e de beneficiamento dos minérios têm sido registrados com alta frequência em países em desenvolvimento. No caso da região de Araripina, 30% das internações hospitalares estão relacionadas com problemas respiratórios afetando, sobretudo, crianças com idades abaixo dos 9 anos, sendo ainda este problema, adicionalmente, considerado sua sexta maior causa de óbitos (MEDEIROS, 2003). Com relação à população vicinal das unidades industriais gesseiras da região do Araripe, 43% apresentaram queixas de irritação nas mucosas conjuntivas oculares e 37% na mucosa nasal. Os reflexos destas circunstâncias em relação à poluição das águas de superfície estão associados às alterações provocadas na atmosfera, e também nos solos.

Medeiros (2003) também relata que a poeira de gesso tem uma ação irritante nas membranas da mucosa do trato respiratório e dos olhos, desencadeando afecções tais como: conjuntivite, rinites crônicas, laringites, faringites, perda da sensação do olfato e do paladar, hemorragias de nariz e reações das membranas da traqueia e brônquicas dos trabalhadores expostos. Outros experimentos feitos com animais expostos à poeira do gesso evidenciaram o desenvolvimento de pneumonia e pneumoconiose intersticial, produzindo alterações na circulação sanguínea e linfática em nível pulmonar.

As características físicas do mineral finamente cominuído (fibras resistentes com diâmetros $< 0,5\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$) determinam o alcance dispersivo das partículas, mas é sua composição química que determina sua capacidade de produzir doenças. Segundo o único diagnóstico disponibilizado da atividade gesseira em Pernambuco (SANTOS & SARDOU, 1996) as principais causas de falta dos trabalhadores ao trabalho eram: bebidas alcoólicas (38%), “doenças comuns” (35%) e atividades agrícolas (22%). Entre as denominadas “doenças comuns”, as que mais induziam à falta ao trabalho eram aquelas do aparelho respiratório: 50% no geral, e 66% no caso de trabalhadores de fábricas de pré-moldados.

Problemas de coluna dorsal tiveram no geral 30% dos casos, sendo 74% destas relacionadas com trabalhadores de mineradoras.

O transporte de poluentes sedimentados nos solos e a precipitação de impurezas do ar nos espelhos d'água constituem os mecanismos de poluição destes ambientes. Processos de dispersão da poluição atmosférica por partículas de poeira mineral já foram objeto de estudos por vários pesquisadores. Fellenberg (1997), por exemplo, pesquisou detalhadamente a dispersão de pó de uma calcinadora produtora de cal, constatando, no caso estudado, uma emissão de pó capaz de provocar uma sedimentação vicinal diária de 3,17 g/m² deste produto industrial. A uma distância de 1 km, dentro do halo de dispersão desta mesma contaminação, foi constatada uma sedimentação de 1,74 g/m², e na distância de 2 km uma sedimentação de 0,27 g/m².

A água é reconhecida como solvente universal e suas propriedades hidrodinâmicas lhe condicionam capacidade de transportar particulados em suspensão. Este tipo de transporte e o de produtos em solução incorporam diversas impurezas que demarcam a influência dos fenômenos naturais, assim como a interferência antrópica nos meios naturais. O estudo dos particulados em suspensão e das características dos solutos nas águas é fundamental para a detecção de atividades poluentes, assim como para se estabelecer meios de preservação do corpo hídrico, conforme parâmetros de qualidade desejados.

Em instância definitiva, esta pesquisa objetivou estudar os halos de dispersão de poeira/efluentes de gesso, em águas de superfície e subterrânea através da identificação de corpos hídricos com concentrações elevadas, sobretudo dos sulfatos e cloretos, para rastreamento das rotas geoquímicas da poeira de gesso, razão do elevado nível de doenças do trato respiratório superior na região de Araripina, no âmbito de um determinado perímetro de investigação. Esta abordagem foi feita através de identificação da qualidade das águas dos principais corpos hídricos de uma forma genérica, mas, sobretudo abordando-se sulfatos e cloretos, respeitando-se padrões recomendados pelo CONAMA (2005).

2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

2.1 BREVE HISTÓRICO

2.1.1 Meio Ambiente e Mineração

A mineração no Brasil foi iniciada no seu período colonial, em meados do século XVII. A demora na descoberta de jazidas minerais ocorreu em função dos interesses portugueses inicialmente voltados para outros recursos como o pau-brasil, tabaco, açúcar e mão de obra escrava. Somente no século XVIII instalaram-se as primeiras grandes minerações, em razão da descoberta de ouro, o que serviu de base para a constituição do nosso setor mineral e colocando o Brasil como o grande produtor mundial deste bem mineral (ARAÚJO, 2004).

Segundo Lyra Sobrinho (2001), depois de quase um século, começou o declínio do primeiro ciclo do ouro. Acreditava-se que as jazidas tinham se esgotado, e os esforços foram redirecionados para as condições de instalação de grandes empresas estrangeiras que, na época, eram as inglesas. Assim, durante o século XIX, um novo ciclo de prospecção gerou as minas de Passagem e de Morro Velho, ainda hoje em funcionamento.

Um efetivo novo surto de investimentos em prospecção mineral ocorreu no século XX, após o fim da Segunda Guerra Mundial, firmando-se ao final dos anos 60, sob uma visão estratégica de desenvolvimento nacional, tendo por base uma política e uma legislação de fomento. Neste contexto, a exploração efetiva da gipsita, em escala industrial, inicia-se nas décadas de 60 e 70, juntamente com o período do “milagre econômico” brasileiro. Estes eventos foram incentivados por programas estaduais e da SUDENE, esta última adotando à época uma política de desenvolvimento regional, na tentativa de reduzir a distância socioeconômica do Nordeste em relação aos outros estados brasileiros.

Entre 1970 e 1980, a produção pernambucana de gipsita atingiu 90% da nacional, cabendo aproximadamente 50% aos municípios de Araripina e Ipubi. Essa posição foi atingida por fatores naturais, como a facilidade de extração a céu aberto e a de transporte com melhores condições em relação a outras áreas produtoras (ARAÚJO, 2004).

Nos anos 80 surgem as preocupações com o meio ambiente, embora algumas empresas já tivessem tomado atitudes desde a década de 70. Neste sentido, identifica-se uma evolução no equacionamento deste problema, considerado em sua dimensão nacional, que

se refletiu no setor mineral e que pode ser identificado em três grandes fases (BARRETO, 2001):

A primeira alcança os anos 60, sendo caracterizada por uma visão fragmentada. Nesta época, a proteção ambiental incidia apenas sobre alguns recursos minerais, particularmente aqueles relacionados mais estreitamente aos seres humanos, como o controle da água potável, a preocupação por algumas espécies da flora e fauna, e as questões relativas à salubridade no ambiente de trabalho.

Dos anos 70 aos 80 vem a segunda, caracterizada pelo enfrentamento de questões mais amplas, como poluição ambiental e crescimento das cidades, culminando com a visão holística do meio ambiente como ecossistema global. A partir dos anos 90, a terceira fase colocou ênfase no desenvolvimento sustentável, considerado o grande desafio: assegurar amplo desenvolvimento econômico e social com preservação dos ecossistemas planetários.

2.1.2. Geologia da Bacia Sedimentar do Araripe

Segundo Araújo (2004), a Bacia Sedimentar do Araripe, cuja principal expressão é o próprio relevo da Chapada do Araripe, teve suas escarpas e encostas delineadas no Paleozoico, provavelmente já durante o Siluriano, com os depósitos sedimentares da Formação Cariri. Segundo Assine (1992), ela é constituída por uma sequência sedimentar depositada em períodos pré-rift, rift, e pós-rift (Figura 2). As sequências pós-rift, do topo para a base, incluem as formações Exu e Santana. No interior da Grupo Santana distingue-se a Formação Crato, sobre a qual ocorrem depósitos de gipsita, que correspondem ao antigo Membro Ipubi da grupo Santana. Sobre estes evaporitos, e abaixo dos arenitos Exu, se insere uma sequência pelítica dantes considerada como membro Romualdo da Formação Santana. Neumann e Cabrera (1999) instituíram o Supergrupo Santana, com cinco formações: Arajara, Romualdo, Ipubi, Crato e Barbalha, todas do Cretáceo.

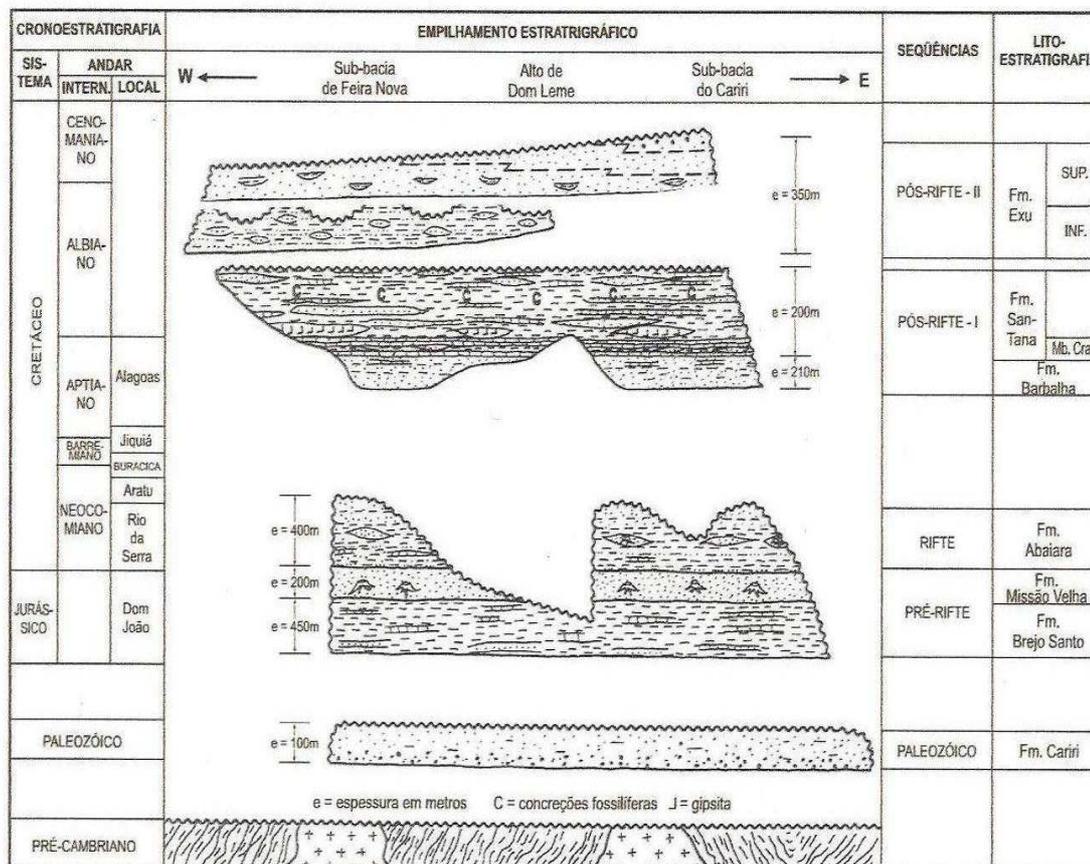


Figura 2. Cronoestratigrafia da seqüência sedimentar da Bacia do Araripe.

Fonte adaptada: Assine (2007)

O período de ingressão marinha é representado pela parte superior da Formação Santana, seguindo-se seqüências de ambiente transicional (Formação Exu inferior) e continental (Formação Exu). Na base da Formação Exu ocorrem arenitos avermelhados friáveis com granulometria média a grossa, mal selecionados, e níveis conglomeráticos. Na parte superior desta formação predominam os arenitos argilosos finos, caulínicos, com siltitos amarelos e roxos finamente estratificados.

A base do Grupo Santana (Formação Barbalha) compõe-se de seqüências sedimentares carbonáticas, incluindo folhelhos betuminosos, calcários laminados, siltitos e arenitos calcíferos. No território pernambucano, o Grupo Santana é habitualmente recoberto por capeamentos correlativos da formação Exu, fruto da erosão regressiva da chapada em épocas mais recentes (TQe), o que dificulta a prospecção da gipsita.

2.2 PRODUÇÃO DE GESSO E MEIO AMBIENTE

2.2.1 Gipsita

A gipsita é um sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) habitualmente associado à anidrita (sulfato de cálcio anidro - CaSO_4). Possui dureza 2 na escala de Mohs, densidade de 2,35, índice de refração de 1,53, e é bastante solúvel. Suas tonalidades variam entre incolor, branca, cinza, amarronzada, a depender das impurezas contidas nos cristais. Trata-se de um mineral muito pouco resistente que, sob a ação do calor (em torno de 160 °C), desidrata-se parcialmente, originando um hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) conhecido comercialmente como gesso (LYRA SOBRINHO, 2001).

A composição química média das gipsitas do Araripe (Tabela 01) permite inferir, estequiometricamente, que os minérios desta província mineral são de boa qualidade, comportando pelo menos 95% em sulfatos na rocha total (RT).

TABELA 1. Composição química média de gipsitas da Bacia do Araripe.

DETERMINAÇÕES	VALORES (%)
Umidade (a 60°C)	0,08
Água combinada (a 200°C)	19,58
Perda ao Fogo (1000°C)	1,62
Resíduos Solúveis	0,28
Sílica em (SiO_2)	0,32
Ferro e Alumínio (em R_2O_3)	0,20
Cálcio (em CaO)	32,43
Magnésio (em MgO)	0,31
Cloretos (em NaCl)	0,15
Teor em Gipsita	93,65

Fonte: Peres et al. (2001)

Considerando-se estes dados analíticos em termos estequiométricos, chama atenção a presença de halita (0,15%) e de silicatos (argilominerais) residuais (estimativamente <0,2%), cujo somatório não alcança 2% da RT. Considerando-se que a gipsita da Formação Santana possui habitualmente cerca de 5 % em anidrita (MENOR, 1995), constata-se que os sulfatos podem atingir 97% da composição RT dos minérios explorados na região. Este fato é um dos principais fatores que contribuem para o interesse no aproveitamento do minério do Araripe, considerado dentre os de melhor qualidade no mundo, com teor médio normalmente $\geq 95\%$ em RT.

Em 2007, as maiores reservas mundiais de gipsita encontravam-se em território brasileiro, com cerca de 1,3 bilhão de toneladas. Entretanto, China e os Estados Unidos são os principais produtores mundiais, com 37 Mt e 17,9 Mt respectivamente, muito acima dos

menos de 2 Mt extraídos no Brasil no mesmo ano (BRAINER, 2011). Assim, a análise da situação da indústria de gesso no Nordeste ganha relevância ao se constatar o imenso tamanho das reservas brasileiras de gipsita, o ritmo de crescimento da produção e da demanda interna, além de melhores perspectivas para o mercado externo se concretizada a Ferrovia Transnordestina, que propiciaria sensível redução nos custos de exportação.

No Brasil, e principalmente no Nordeste, a produção de gesso assume grande relevância econômica. As importações e exportações brasileiras de gesso são pouco significativas. Portanto, pode-se concluir que, prevalecendo as projeções para nossa economia, esta é uma indústria voltada para o mercado interno e que pode vir a experimentar considerável crescimento quando superados os anos da crise econômica atual.

2.2.2 Calcinação e Meio Ambiente

Calcinação é um processo de aquecimento de uma substância a altas temperaturas sem, contudo, atingir seu ponto de fusão, de forma a conseguir sua decomposição química e consequente eliminação de produtos voláteis (TOMASI, 1994). Ela é utilizada na eliminação da água de cristalização e na oxidação de substâncias poluidoras presentes em resíduos, buscando-se a eliminação de sua toxidez. Na região de Araripina, as calcinadoras de gesso são as principais consumidoras de recursos energéticos florestais (56% da produção regional). A maior parte destas não dispõe de um sistema eficiente que retenha os gases e poeiras provenientes deste tipo de tratamento (ARAÚJO, 2004), havendo reações da água (H_2O) com o óxido de enxofre (SO_x), resultando em gás sulfídrico (H_2S) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), que se encontram diluídos nas águas pluviais.

A degradação ambiental regional, desta forma, está intimamente associada à industrialização da gipsita. Em consequência, na medida em que esta atividade evoluiu o consumo de lenha para a calcinação conduziu à devastação do estoque madeireiro regional (ALBUQUERQUE, 2002). Entre 1989 e 2004, a biomassa da caatinga foi reduzida em 17%, para atender estas necessidades industriais. Foram desmatados 168.752ha de caatinga, perfazendo uma média de 11.200 ha/ano. Este consumo desregrado ocorreu porque as tecnologias alternativas para geração de energia apresentam custo marginal superior ao da lenha. Além disso, na maior parte dos casos, ela é explorada de forma ilegal, com o agravante de não se adotar medidas necessárias à manutenção da qualidade ambiental e a sustentabilidade do Bioma Caatinga.

2.2.3 Material particulado proveniente da gipsita e de gessos

Poeira é toda partícula sólida em qualquer dimensão, natureza ou origem, formada por cominuição ou outro tipo de ruptura mecânica de um material original sólido, que se mantém suspensa ou é capaz de ser mantida suspensa no ar (SANTOS, 2001). O nome partícula refere-se a uma unidade simples da matéria tendo, geralmente, densidade próxima à densidade intrínseca do material original. Tais partículas geralmente apresentam formas irregulares e, geralmente, são $> 0,5 \mu\text{m}$.

Não se tem certeza de quantos fatores climáticos são afetados pelo aumento crescente da quantidade de poeira na atmosfera (FELLENBERG, 1997). Algumas consequências são certas, tais como: a diminuição da intensidade de radiação do sol, estimada em 0,4% por ano, e perdas de energia que não se refletem somente em diminuição geral da temperatura mas, eventualmente, na velocidade e direção dos ventos (FELLENBERG, op. cit.). Nos casos de exposição a um poluente interessa o conhecimento de suas características: toxicológicas (capacidade de transformação, persistência ambiental e vias de penetração no organismo), e os aspectos socioambientais do local da exposição (magnitude, duração e frequência, etc.).

O processo de dispersão das partículas de poeira depende da intensidade e sentido das correntes aéreas. Há casos em que pode atingir altitudes de 4 a 8 km, podendo formar nuvens de pó. Neste contexto, desde o minério bruto até a produção de gessos, ocorrem pelo menos 3 formas de dispersão mecânica de finos, na atmosfera:

- Subproduto da cominuição de gipsita para alimentação de fornos de calcinação, produzido em “lumps”, com “rejeito” milimétrico a sub-milimétrico, podendo incluir significativa fração coloidal. Sua composição inclui essencialmente gipsita/anidrita (MENOR, 1995), sendo habitualmente comercializado com a designação de “gesso agrícola”. Gera halos de dispersão de poeira geralmente restritos ao entorno da unidade de cominuição (Figura 3).



Figura 3. Granulados diversos e poeira de gipsita em unidade de cominuição, denominados genericamente como “gesso agrícola” (ARRUDA, 2014).

- Emissão sólida de material muito fino (poeira) resultante da calcinação do minério para a produção de gesso. A distribuição granulométrica deste produto também não é controlada, sendo constituída essencialmente por particulados coloidais. Sua emissão, através de chaminés que podem alcançar 15 metros de altura, permite a formação de halos de dispersão extensos, perfeitamente visíveis em imagens de satélite (Figura 4). Sua composição é essencialmente formada por bassanita, com quantidades acessórias de impurezas habituais do minério (principalmente argilominerais) e inclui, naturalmente, alguma fração de anidrita uma vez que este mineral não é modificado durante o processo de calcinação. Perceptivelmente, os halos de dispersão mecânica atmosférica ultrapassam 300 metros no sentido NW na estação seca, mas o alcance real dos particulados coloidais, como será demonstrado nesta pesquisa, é bem maior.



Figura 4. Halo de dispersão mecânica de poeira de gesso a partir de unidade de calcinação. Fonte: GOOGLE EARTH (2013).

- Emissão sólida e gasosa resultante da combustão do agente calcinante (usualmente lenha), principalmente composta por: CO_2 , CO , SO_2 , SO , H_2O (vapor d'água), NO_x , HPA's, e particulados de origens diversas (Figura 5), presumivelmente contendo metais pesados (MP). Do ponto de vista geoquímico, a reatividade destes produtos resulta na geração de chuva ácida (BAIRD, 2002). Na área de pesquisa, sua emissão através de chaminés que podem alcançar 15 metros de altura pode propiciar dispersão de longo alcance e, dependendo da intensidade desta emissão e dos ventos, alcançar vários quilômetros.

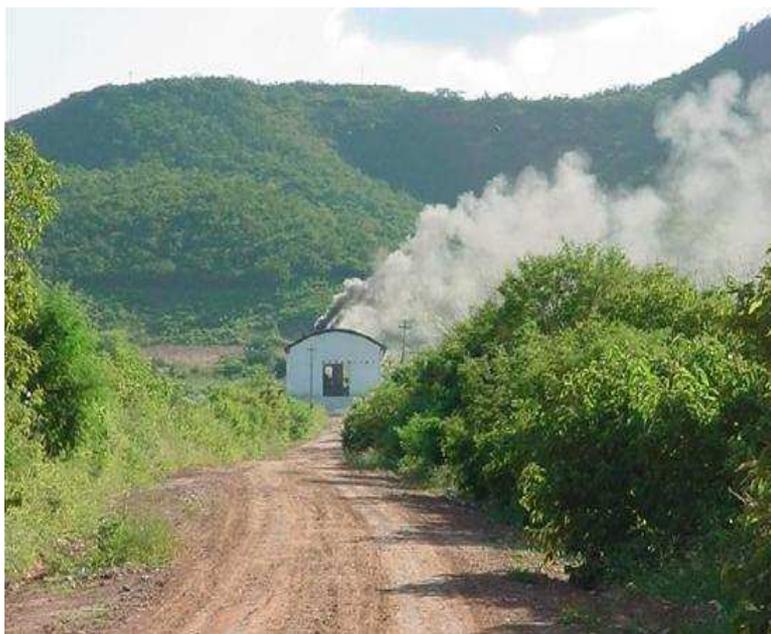


Figura 5. Emissão de poluentes sólidos e gasosos a partir de calcinadora da região de Araripina. Fonte: CPRH (2000).

2.2.4 Impactos ambientais no Polo Gesseiro do Araripe.

O termo impacto vem do latim *impactu*, significando choque ou colisão sendo, portanto, entendido como gerador de efeitos nocivos. Desta forma, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: saúde, segurança e bem-estar da população, das atividades sociais e econômicas, da biota, das condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e da qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 2005).

Segundo Sobral (1997), a região do Araripe já não é mais auto-suficiente na produção de lenha destinada às operações de calcinação, constatando-se uma importação desta fonte energética a partir de estados vizinhos, o que sinaliza claramente uma expansão geográfica dos impactos sobre a vegetação da caatinga. Este autor critica ainda a atuação dos órgãos públicos federais (IBAMA) e estaduais (CPRH), na fiscalização e controle dos desmatamentos. Por outro lado, em relação à degradação dos solos, o Plano Estadual de Controle da Desertificação de Pernambuco estabelece os níveis de ocorrência de degradação ambiental como muito graves, graves e áreas susceptíveis. Este plano, oficialmente, classifica a região do Araripe como “área com problemas ambientais”.

A poeira de gesso exerce uma ação irritante para as membranas da mucosa do trato respiratório e dos olhos, desencadeando afecções tais como: conjuntivite, rinites crônicas, laringites, faringites, perda da sensação do olfato e do paladar, hemorragias nasais e reações das membranas da traqueia e brônquias de pessoas rotineiramente sob sua exposição. Outros experimentos, feitos com animais expostos à poeira do gesso, evidenciaram o desenvolvimento de pneumonia e pneumoconiose intersticial, produzindo alterações na circulação sanguínea e linfática a nível pulmonar (PORTO, 1991 *apud* MEDEIROS, 2003).

2.3 RECURSOS HIDRICOS

2.3.1 A água: importância e qualificação

A importância da água para os seres vivos reside no fato que todas as substâncias por eles absorvidas e todas as suas reações metabólicas são feitas por via aquosa. Isso acontece porque a água, além de ser quimicamente neutra, possui a capacidade de dissolver um

número muito grande de substâncias químicas minerais e orgânicas, sólidas ou gasosas, facilitando assim a sua penetração através das membranas celulares e o seu transporte por todo o organismo (BRANCO, 1999). O conceito de sua qualidade é muito mais amplo do que a simples caracterização através de sua fórmula molecular (H_2O), isto porque devido às suas propriedades de solvente e a sua capacidade de transportar partículas, incorpora em si diversas impurezas, as quais definem sua qualidade. Esta qualificação vai resultar de fatores naturais e antrópicos onde, de maneira geral, pode-se dizer que a qualidade é função do uso e da ocupação dos solos na bacia hidrográfica por onde permeia (VON SPERLING, 1995). Também Rebouças (2002) opina que a qualidade das águas é dependente das características dos ambientes naturais e antrópicos onde se originam, circulam, percolam, ou ficam estocadas, além de que sua qualidade final pode atingir elevados graus de complexidade. Adicionalmente, a composição das águas superficiais sofre grande influência das chuvas, pois estas podem dissolver e arrastar em suspensão materiais existentes na superfície dos solos. O aferimento da qualidade dessas águas é feito através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 1996), tais como: pH, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais em suspensão (STD), condutividade, sais em solução, etc.

As principais fontes que definem os parâmetros físico-químicos de águas doces e que também determinam os elementos nutrientes para os sistemas aquáticos são: o intemperismo das rochas, a lixiviação de solos, as ações antrópicas e as contribuições atmosféricas. Segundo Mello (2008), a presença de particulados em suspensão exerce grande efeito sobre a composição físico-química de sistemas aquáticos, uma vez que as partículas interagem com as substâncias dissolvidas. Tal circunstância, por sua vez, influencia os ciclos biogeoquímicos, os quais são responsáveis pela manutenção da composição físico-química dos sistemas aquáticos e envolvem interações entre as fases dissolvidas e a fração particulada. Ainda ressalta este autor que os elementos químicos se comportam de diferentes maneiras na hidrosfera. Alguns, como o sódio e o cloro, não são afetados de maneira significativa pelas interações químicas e biológicas típicas do meio aquático e, desta forma, passam bastante tempo sem mudarem de compartimento. Outros, como o nitrogênio e o fósforo, mudam constantemente entre a fração dissolvida e particulada. Assim, cada elemento leva um tempo característico para completar o seu ciclo biogeoquímico. Todos estes comportamentos estão em interação com as condições físico-químicas circunstancialmente oferecidas pela Natureza, no transcurso da água pelo meio ambiente.

Para uma dada seção de curso d'água sua qualidade depende de muitos fatores, incluindo: a proporção entre o escoamento superficial e aquele de águas subterrâneas, reações dentro dos limites do curso d'água governadas por processos internos, a mistura de influxos de tributários com diferentes qualidades (no caso de bacias fluviais heterogêneas) e quantidades de poluentes (MEYBECK et al., 1992). Na ausência de qualquer impacto humano, as concentrações, proporções relativas e taxas de transporte de substâncias dissolvidas nos cursos d'água, são altamente variáveis de um local para outro, dependendo das fontes, rotas e interações com particulados.

As atividades antrópicas podem alterar os processos naturais. São consideradas como fontes naturais de elementos para os cursos d'água: o desgaste químico da superfície de rochas; precipitações vulcânicas; reciclagem de aerossóis oceânicos; erosão eólica continental; degradação da vegetação; lixiviação de solos orgânicos; e entradas atmosféricas (MEYBECK et al., op. cit.). Neste sentido, Meybeck e Helmer (1992) descrevem:

“Em qualquer região ainda não afetada por atividades antrópicas, a variabilidade na qualidade das águas naturais depende da combinação dos seguintes fatores ambientais:

- Ocorrência de minerais altamente solúveis ou facilmente alteráveis
- Distância da linha costeira;
- Razão precipitação/escoamento superficial; e
- Ocorrência de turfas, terras úmidas e brejos, os quais liberam grandes quantidades de matéria orgânica dissolvida.”

Outros fatores incluem a temperatura ambiente, cobertura dos solos orgânicos, espessura das rochas intemperizadas, etc. As variações de qualidade da água fluvial dependem do regime do rio, isto é, da variabilidade da descarga, do número de inundações por ano e suas magnitudes (MEYBECK et al., 1992). Durante os períodos de inundação, a qualidade da água geralmente apresenta variações marcantes devido às diferentes origens dos influxos: escoamento superficial, escoamento sub-superficial (circulação de água dentro das camadas dos solos) e descargas de água subterrânea.

O escoamento superficial normalmente apresenta alta turbidez e carrega grandes quantidades de STD, incluindo carbono orgânico particulado (COP). O escoamento sub-superficial lixivia carbono orgânico dissolvido e nutrientes (C_{org} , N e P) dos solos, enquanto

as águas subterrâneas produzem influxos da maioria dos elementos resultantes da alteração de rochas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+).

2.3.1.1 Qualidade e poluição dos recursos hídricos

A qualidade da água de um determinado recurso hídrico é avaliada dependendo das substâncias presentes na água, para isso denominada de parâmetros de qualidade da água. Tais substâncias caracterizam as condições em que a água se encontra, para os mais variados usos, inclusive para sua preservação no meio ambiente.

A qualidade das águas superficiais depende do clima, da litologia da região, da vegetação que circunda as águas, do ecossistema aquático e da influência do homem. A ação antropogênica sobre o recurso hídrico é talvez a responsável pelas maiores alterações da composição da água. Porto et al (1991) considera que as alterações da qualidade da água representam uma das maiores evidências do impacto das atividades humanas sobre a biosfera. As diretrizes para a avaliação da qualidade das águas brasileiras são estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da Resolução no 020 de 18/06/1986 do CONAMA. Esta Resolução, dividiu as águas do território brasileiro três grandes categoria: águas doces, salobras e salinas.

Em função dos usos preponderantes destas categorias foram estabelecidas 9 classes, sendo cinco destas destinadas para águas doces (Classe especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4), duas para águas salobras (Classes 5 e 6), e duas para águas salinas (Classes 7 e 8). Cada classe é avaliada por parâmetros de qualidade e indicadores específicos, de modo a assegurar a qualidade necessária para seus usos preponderantes.

Segundo Mota & Aquino (2001), enquadramento é um instrumento para a preservação dos níveis de qualidade dos corpos de água, considerando que o bem-estar humano, a saúde e o equilíbrio ecológico aquático não podem ser afetados por consequência da deterioração da qualidade das águas. Os padrões de qualidade da água servem para regular e controlar os níveis de qualidade que podem ser mantidos no corpo hídrico, dependendo do uso que o mesmo está destinado.

A utilização dos padrões de qualidade mantém a qualidade do curso hídrico ou define uma ação a ser realizada. Os padrões de qualidade da água de modo mais complexo, referindo-se que norma é um processo e o critério faz parte da norma, reforçando que o critério deve ter suporte em informações científicas avaliadas no efeito dos poluentes na saúde humana, estética e ecossistema aquático. Os critérios de qualidade da água tornam

específicas as concentrações e limites de determinados parâmetros que interferem na vida aquática e na proteção da saúde do homem. Os padrões de qualidade dos corpos receptores estão inter-relacionados com os padrões de lançamento de efluentes, sendo objetivo de ambos os padrões a preservação da qualidade da água no corpo hídrico (von Sperling, 1998). Tal inter-relacionamento entre os dois padrões transcorre de que o efluente além de satisfazer os padrões de lançamento, deve proporcionar condições no corpo receptor de forma que a qualidade deste tenha um enquadramento dentro dos padrões para corpos receptores.

A qualidade da água de um determinado recurso hídrico pode ser avaliada através das variáveis físicas, químicas e bacteriológicas, contemplando que tais variáveis possuem o objetivo de identificar as condições em que a água se encontra.

Existem muitos mecanismos de poluição das águas (superficiais e sub-superficiais) no meio ambiente, entre eles podemos destacar as principais fontes poluidoras: lançamento de esgotos domésticos (sanitários), lançamento de esgotos industriais, lançamento de águas pluviais, lançamento direto de detritos e introdução de águas salgada, de escoamento superficial, entre outros. Tais processos alteram a qualidade da água, muitas vezes, podem ser inutilizadas para o consumo humano e outras modalidades de vida. Moraes (1999), salienta que baixa cobertura do saneamento básico, principalmente no meio urbano, aparece como um problema de grande relevância, resultando em esgotos “in natura” uma causa significativa da contaminação dos cursos d’água do território nacional, bem como a exploração mineral, os dejetos industriais e a grande quantidade de produtos químicos do setor agrícola são fatores que contribuem em muito, no processo de “morte social dos rios”. Na mesma linha de raciocínio, Boucinhas (1995) ressalta que a poluição hídrica é agravada ainda mais pelo despejo direto de uma significativa parte dos esgotos coletados, em decorrência de não existir um sistema de interceptação e tratamento dimensionado para a demanda existente. De acordo com a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que trata sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, define poluição como sendo a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades 39 que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, afetem a biota, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas e, lancem matérias ou energias discordando com os padrões ambientais estabelecidos pelas leis (Mota, 2001).

Quando a poluição de um determinado recurso hídrico acarreta prejuízos para a saúde humana, diz-se que houve contaminação, esta é um caso particular de poluição. Determinada

amostra de água está contaminada quando adquiriu microrganismos patogênicos ou produtos químicos que possam resultar em afeito maléfico ao ser humano.

A visão de irracionalidade, de que os recursos hídricos são depósitos de resíduos e dejetos e como condutores naturais de escoamento e dispersão de lixo. Tal situação demonstra seu limite regenerativo e o Brasil apresenta muitos rios, lagoas e lençóis subterrâneos destruídos, sendo necessário custos elevados para sua recuperação. A relação de lixo e recurso hídricos (se praticada) é uma das condições da insustentabilidade, sendo um recurso vital para a reprodução da sociedade atual e para as gerações futuras.

Nos países em desenvolvimento a degradação da qualidade dos corpos hídricos está diretamente relacionada à poluição orgânica. A ocupação e o uso desordenados do solo, associados à falta de implantação dos serviços de saneamento básico promovem a degradação crescente destes recursos naturais. No Brasil, as políticas do governo para o setor de saneamento básico, até a década de 60, possuíam medidas esporádicas e em determinados locais, às vezes devido às demandas dos bens e serviços causados pelo crescimento populacional no meio urbano. O atendimento por parte dos municípios foi precário, e a falta de investimentos resultou em altas taxas de mortalidade infantil e conseqüentemente na deterioração sanitária.

A atual realidade brasileira aponta para a necessidade urgente de reverter o déficit de saneamento básico, visando a proteção dos recursos hídricos e melhoria da qualidade de vida da população.

No Brasil, a escassez de recursos tem causado um afastamento entre o atualmente praticado e o desejado, por parte de poluidores particulares e públicos, bem como pelos próprios órgãos ambientais estaduais, estes devido à falta de estrutura de fiscalização (Von Sperling, 1998).

A tendência da urbanização prossegue elevada agravando os problemas de saneamento e degradação ambiental nos centros urbanos. A deterioração da qualidade das águas dos corpos receptores foi um testemunho de que a lei ambiental emana do setor público e não foi capaz de captar recursos para melhorar o meio ambiente.

2.3.2 Recursos Hídricos do Araripe

A Região do Araripe é drenada pela bacia do Rio São Francisco, através de um sistema de tributários intermitentes e irregulares, como habitualmente ocorre em domínios do semiárido nordestino. São cursos d'água dotados de fraquíssimo poderio energético,

posto que suas cabeceiras nascem onde as precipitações são baixas, e seus vales atravessam regiões com precipitações anuais insuficientes para alimentá-los permanentemente (ANA, 2010). A principal bacia tributária nestes domínios é a do rio Brígida, que é alimentada pelos riachos São Pedro e Santo Antônio. As barragens e poços têm a finalidade de garantir o abastecimento de água na estiagem e reduzir a dependência dos caminhões pipas pelas comunidades (FARIAS e SILVA, 2007).

A falta de cobertura arbórea em grande parte da região faz com que não haja boa proteção para seus solos. A irregularidade do regime pluvial é agravada por escoamentos torrenciais, e pelas elevadas temperaturas ambientais durante o longo período de estiagem (ANA, 2010).

2.3.3 Bacia do Rio da Brígida

A bacia hidrográfica do rio Brígida, está localizada no alto Sertão de Pernambuco, entre 07° 19' 02" e 08° 36' 32" de latitude sul e 39° 17' 33" e 40° 43' 06" de longitude oeste. Limita-se ao norte com os Estados do Ceará e Piauí e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores, ao sul com a bacia do riacho das Garças com o grupo de bacias de pequenos rios interiores, a leste com a bacia do rio Terra Nova e o grupo de bacias de pequenos rios interiores, e a oeste com o Estado do Piauí.

A rede hidrográfica nasce ao norte no município de Exú e apresenta uma extensão aproximada de 193 km até desaguar no rio São Francisco. Os principais afluentes pela margem direita são os riachos Tabocas, Alecrim, do Gentil, da Volta e São Pedro, e pela margem esquerda os riachos dos Cavalos, Salgueiro, do Cedro e Carnaúba. O rio São Pedro é o maior tributário com uma extensão de 160 km, destacando-se ainda o riacho Gravatá com 27 km.

A bacia do rio Brígida abrange uma área de 13.495,73 km², o que corresponde a 13,73% da superfície total do Estado. A bacia abrange áreas de 15 municípios, sendo aqueles totalmente inseridos na bacia os de Bodocó, Granito, Ipubi e Trindade; aqueles com sede na bacia são: Exu, Moreilândia Araripina, Ouricuri e Parnamirim; e aqueles parcialmente inseridos na bacia são: Cabrobó, Orocó, Santa Cruz, Santa Maria da Boa Vista, Santa Filomena e Serrita.

A bacia do rio da Brígida é intermitente, com nascentes no município de Araripina (ARAÚJO *et al.*, 1992). Seu principal afluente é o riacho São Pedro, localizado à sua

margem esquerda. Sua drenagem é densa e dendrítico-retangular em domínios do embasamento cristalino. Complementam esta drenagem riachos secundários subsequentes, com direção NE em virtude da direção geral das rochas do embasamento. Contudo, os maiores riachos têm cursos perpendiculares às estruturas adaptando-se, algumas vezes, às falhas e fraturas, descrevendo traçados em um zigue-zague. Toda a drenagem dos municípios do Polo Gesseiro ou da Microrregião de Araripina pertence a esta sub-bacia do São Francisco. Atualmente, a partir do município de Araripina a bacia do rio Brígida é perene, pois a área de drenagem neste município vem recebendo continuamente descarga de resíduos domésticos.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARIPINA

2.4.1 Descrição da área de estudo

O município de Araripina está localizado na Microrregião Araripina e na mesorregião Sertão do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Estado do Ceará, a sul com Ouricuri, a leste com Ipubi e Trindade, e a oeste com Estado do Piauí (Figura 6). A área municipal ocupa 1906,3 km², correspondendo a 1,93 % do estado de Pernambuco. Está cartograficamente inserida nas Folhas SUDENE de Fronteira, Campos Sales, Ouricuri e Simões, em escala 1:100.000.

A sede do município tem uma altitude aproximada de 622 metros distando 683,2 km da capital estadual, de onde o acesso é feito pelas BR-232/316. Seu ponto médio da sede possui as seguintes coordenadas geográficas: 7°34'34" de latitude sul e 40°29'54" de longitude oeste de Greenwich.

Araripina insere-se totalmente na bacia hidrográfica do rio Brígida. O IBGE (2010) registrou uma população de 77.302 habitantes, distribuída quase que igualmente entre a zona rural e a urbana. Antes de ser elevada à categoria de município, Araripina era distrito de Ouricuri e tinha o nome de São Gonçalo. A mudança do nome para Araripina é atribuída à proximidade com a Chapada do Araripe. A partir da década de 70, Araripina defronta-se com uma mudança na sua base econômica, antes agrária, impulsionada pelas atividades minerais, ligadas à extração e beneficiamento da gipsita. Essa nova base econômica alterou profundamente o perfil do município, possibilitando a formação de um pequeno parque industrial na região. Esse novo perfil industrial abriu espaço para o surgimento de um

expressivo número de empresas dedicadas à fabricação de fornos, reparos e manutenção de equipamentos afins.

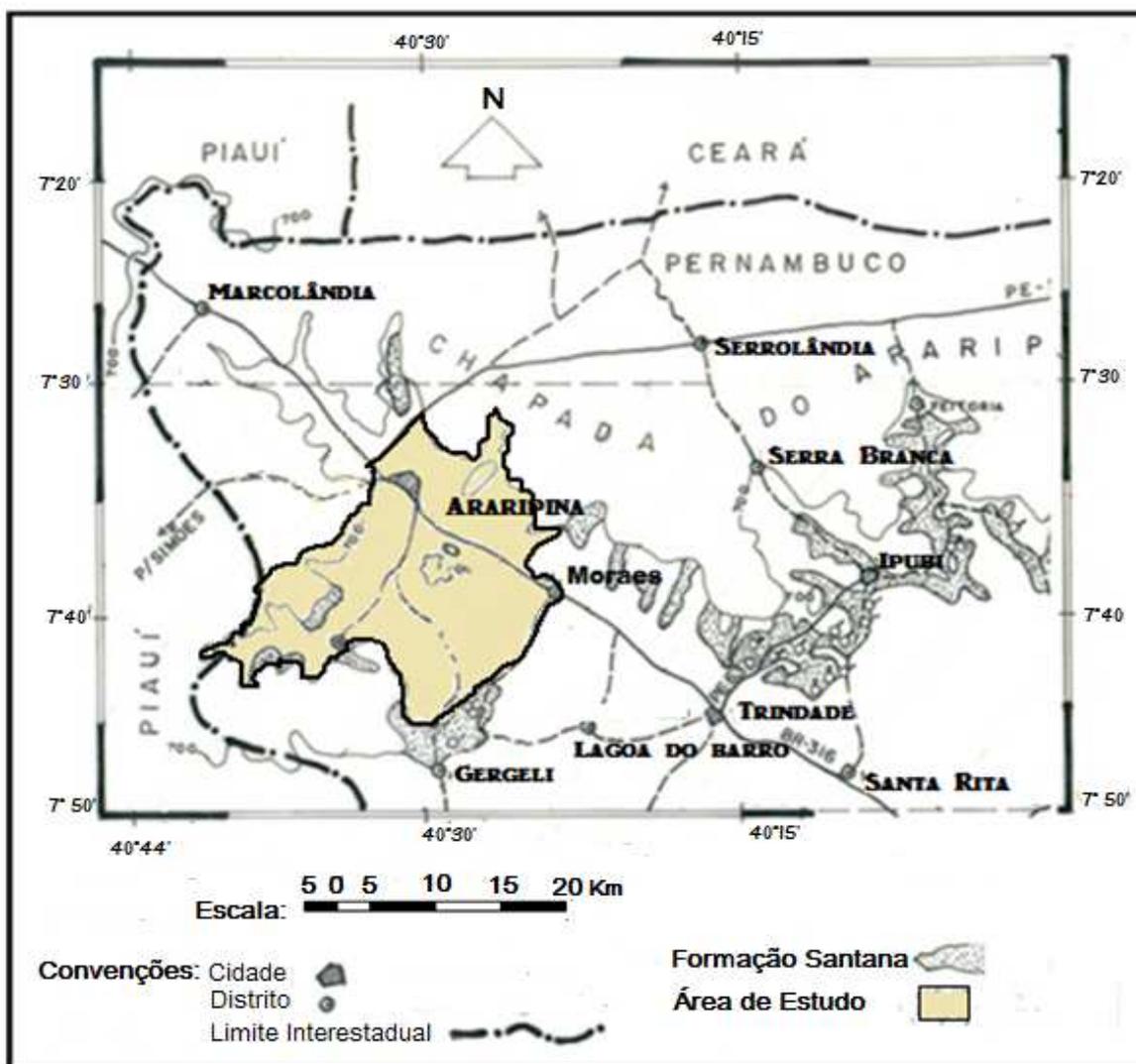


Figura 6. Localização da área de estudo. Mapa adaptado de Araújo (2004).

2.4.2 Aspectos fisiográficos

O município de Araripina está inserido na Depressão Sertaneja, que representa o semiárido nordestino, sendo caracterizada por uma superfície de pediplanização monótona, com relevo dominante fracamente ondulado e cortado por vales estreitos com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos resultam dos intensos ciclos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino onde, a norte, se inserem nas Chapadas Altas (ALBUQUERQUE, 2002).

2.4.3 Vegetação

A vegetação regional típica é a da Caatinga, um bioma exclusivo brasileiro com grande variedade de paisagens e riqueza biológica, e enorme registro de endemismos. Ela é, provavelmente, o ecossistema mais ameaçado e transformado pela ação antrópica no Brasil (SILVA, 2004), abrigando uma vegetação basicamente composta por hiperxerófilas arbustivas, densa e seca, apresentando apenas algumas espécies arbóreas. Onde se apresenta bastante densa, mostra um estrato arbustivo com galhos retorcidos e “morte” vegetal aparente na maior parte do ano, intercalando com trechos de *Floresta Caducifólia*.

A umidade dos solos nas caatingas é condicionada ao período chuvoso e, pouco tempo após, pouca umidade resta neste suporte físico. Durante o ano, a umidade dos solos costuma ser muito reduzida a nula, o que leva os vegetais adaptados a se protegerem da seca através da perda das suas folhas, a possuírem espinhos e a exibirem uma “morte” vegetal aparente. Caso especial acontece com o juazeiro (*Ziziphus juazeiro*), que se apresenta sempre verde e frondoso, mesmo no período seco (ALBUQUERQUE, 2002).

2.4.4 Clima

A topografia delineada pela Chapada do Araripe propicia uma diferenciação climática entre as áreas de topo, em relação às áreas de pediplano, altimetricamente baixas. Os maiores índices pluviométricos ocorrem em cotas mais elevadas, a leste da chapada (barlavento), em razão de precipitações de natureza orográfica. A oeste da chapada (sotavento), abrangendo os limites dos estados do Ceará/Pernambuco/Piauí, as condições climáticas são mais severas.

O clima regional é quente, com seca prolongada e regime intermitente de chuvas, sazonalidade que influencia diretamente a vida vegetal e animal. Segundo a classificação de Köppen o clima predominante é o do tipo BSh, caracterizado por aridez, altas temperaturas e chuvas de verão. As temperaturas máximas anuais variam entre 30 a 34°C, com mínimos de 19 a 23°C, e taxas de evapotranspiração excedendo a soma dos valores mensais de precipitação.

Os índices pluviométricos (650-900 mm), integram cerca de 90% das chuvas anuais, destacando-se uma estação seca (março a novembro), com considerável redução nas taxas pluviométricas, podendo ser <300 mm nos anos secos, o que interfere diretamente sobre a hidrologia regional (ARAÚJO, 2004). As precipitações pluviométricas concentram-se entre

dezembro a abril. A temperatura média anual é de 26 ° C, com pouca amplitude de variações. Além destas condições, são registrados ventos predominantes de SE para NW, que contribuem para caracterizar o clima como semiárido (CARRARINE, 2007). A velocidade média dos ventos é relativamente elevada (Figura 7).

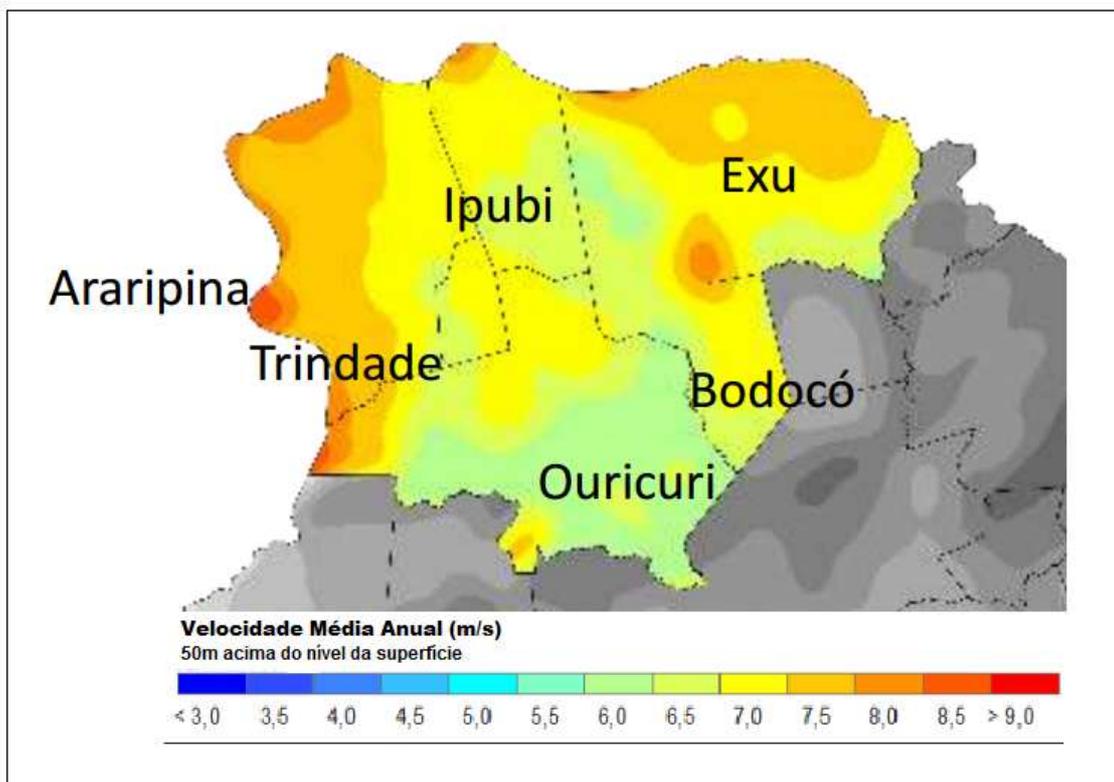


Figura 7. Mapa de velocidade média dos ventos da Região do polo gessoiro do Araripe.

2.4.5 Solos

Solos da Caatinga são considerados muito fracos, rasos, e pobres em matéria orgânica, incapazes de reestruturar naturalmente qualquer mudança em larga escala (como no caso de utilização de máquinas) e, em estágios de degradação, considerados irreversíveis (IBAMA, 2010).

Na área de pesquisa, o topo da chapada do Araripe é dominado por Latossolos (Figura 8) vermelho-amarelados, profundos, friáveis e porosos, de coloração vermelho-amarelada, distróficos a moderados, com textura média, sendo média e argilosa ao oeste da chapada. Ao sul de Araripina, onde a litologia é composta por coberturas cenozoicas colúvio-eluviais e por embasamento paleoproterozóico, são encontrados latossolos vermelho-amarelos associados a solos podzólicos vermelho-amarelados, com textura média e argilosa e Tb plúntico até espessura de pelo menos 15 cm. Aí também ocorrem solos podzólicos

acimentados, plínticos, com textura arenosa e média, com relevo plano a suavemente ondulado.

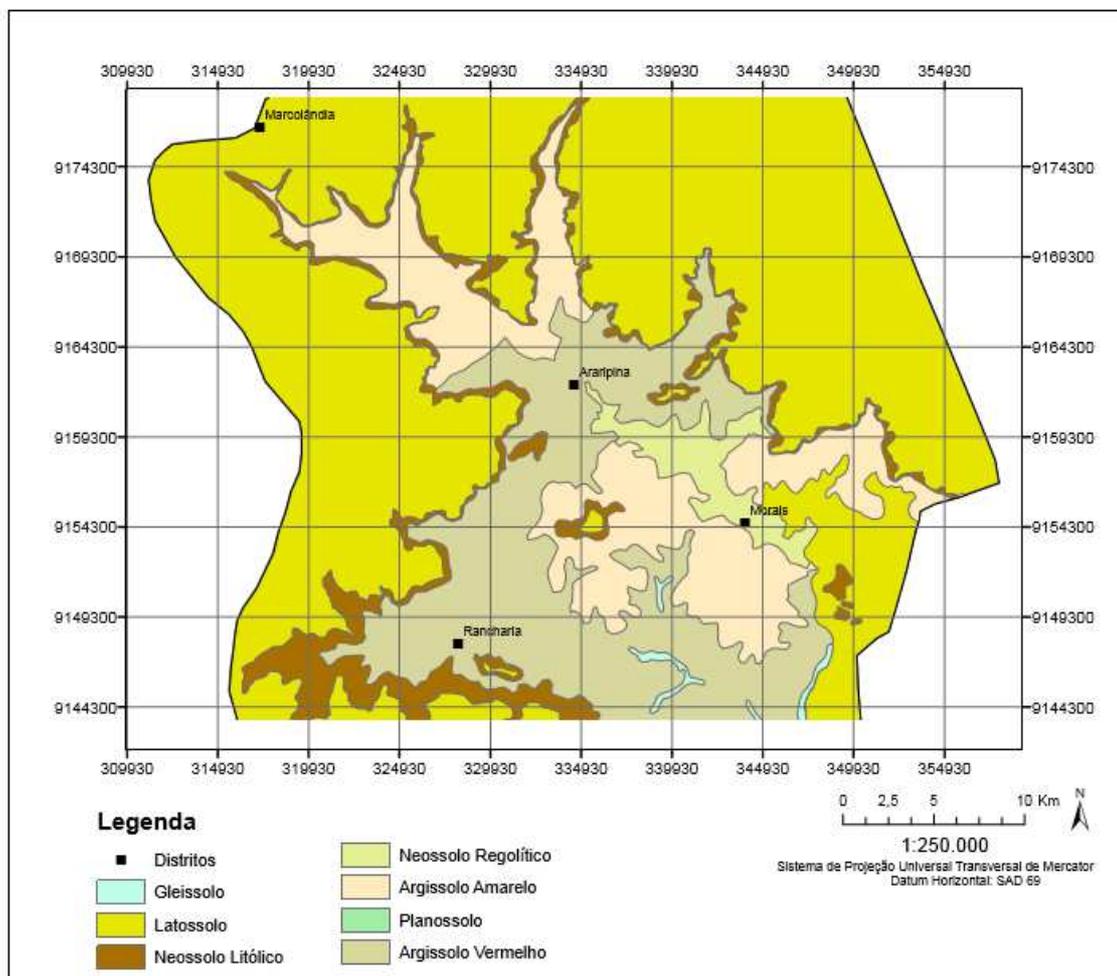


Figura 8. Mapa de solos do município de Araripina - PE. Fonte; EMBRAPA (2000)

Os argissolos aparecem em toda a área correspondente à depressão interplanáltica, composta por rochas do embasamento. Os argissolos vermelho-amarelados, de textura média a moderada, se aproximam mais das encostas e aparecem relacionados localmente à Bacia do Araripe na área. Argissolos vermelho-escuros com textura média e argilosa (em alguns trechos com textura média a cascalhosa) se estendem pela superfície aplainada.

Nas encostas da chapada estão os neossolos litólicos com textura média e arenosa, e substrato arenítico, rasos, assentados diretamente sobre o *bed rock*. A maior limitação desses solos é a pequena profundidade, que limita o desenvolvimento radicular das plantas e culturas, reduzindo a capacidade de sustentação delas. A condição de pouca cobertura vegetal, quando aliada a precipitações concentradas, facilita a formação de erosões laminares e em sulcos, nesses solos. Seu material de origem é o capeamento originário das formações

Exu e Araripina que, remobilizados, recobrem o embasamento constituindo talus de erosão, coberturas detríticas e arenosas, e parte dos pedimentos. A textura leve em superfície e o contato direto com o *bed rock* a pequena profundidade tornam esses solos bastante susceptíveis aos processos de escorregamento de massa, pois o rápido encharcamento do horizonte superficial e o excesso de água no plano de cisalhamento funcionam como lubrificante, facilitando a movimentação do material suprajacente a esse plano.

Os neossolos regolíticos aparecem em Araripina associados aos vales e drenagens, eutróficos e distróficos. São solos pouco desenvolvidos, medianamente profundos ou mais espessos ($A+C > 50m$), de textura em geral arenosa contendo, na fração areia, apreciáveis teores de minerais facilmente intemperizáveis. São predominantemente eutróficos, muito porosos e de baixa capacidade de retenção de água podendo, ou não, apresentar fragipã (horizonte adensado) a diferentes profundidades, desenvolvido ou em formação. A presença desse horizonte adensado é benéfica na região do semi-árido, devido à manutenção da umidade próxima à superfície, exceto quando o solo apresenta elevadas concentrações de sódio; a fração areia ou cascalho contém geralmente mais de 4% de minerais primários de fácil intemperização. A drenagem excessiva e a erosão são limitações ao seu uso. São solos geralmente originários de gnaisses-migmatitos.

Os Planossolos eutróficos e distróficos plínticos e não plínticos, profundos e pouco profundos, com textura média e argilosa, aparecem ao sul de Araripina associados aos argissolos. Compreendem solos imperfeitamente a mal drenados, com horizonte superficial de textura mais leve, argilosa, adensados e com baixa permeabilidade, muitas vezes responsáveis pela manutenção de um lençol freático próximo à superfície. Sua fertilidade natural é variável, apresentando sérias limitações físicas.

Os Gleissolos localizados na porção sudeste de Araripina acompanham a drenagem, com Ta e Tb, textura média, substrato sedimento fluvial, todos eutróficos, A fraco e moderado. Esse tipo de solo resulta do transporte e acumulação de sedimentos pelos rios.

2.4.6 Geologia

O município de Araripina está inserido na Província da Borborema, sendo integrado por litotipos dos complexos Granjeiro e Itaizinho da Suíte Calcálica de Médio a Alto Potássio Itaporanga, e dos granitoides de quimismo indiscriminado (ARAÚJO, 2004). Os

principais registros sedimentares incluem rochas pelíticas da Formação Santana (Cretáceo inferior), onde se inserem níveis de gipsita, rochas arenosas da Formação Exu (Cretáceo inferior), além dos depósitos incoerentes, coluvionares e eluvionares (TQe), resultantes da exumação Tércio quaternária da Bacia do Araripe.

Para Brito Neves (1990), existem duas características marcantes do Araripe: a poli-história, tectônica e litoestratigráfica, e o estigma de herança tectônica das estruturas do embasamento ao longo dos seus estágios evolutivos. As discontinuidades geotectônicas, estruturais e litológicas do embasamento preexistente sempre presidem por toda a história evolutiva da bacia sedimentar. A Bacia do Araripe está localizada geotectonicamente sobre o sistema estrutural da Zona Transversal da Província Borborema, estando sua maior parte sobre o Terreno Piancó-Alto Brígida. De oeste para leste são identificados altos e baixos estruturais (Figura 9), de direção NE-SW, a saber: Altos Araripina-Quinquererê, Dom Leme, Horst de Barbalha, Altos de Milagres, Horst Mauriti-Brejo Santo; Subbacias de Feira Nova, Crato Juazeiro, Missão Velha, Marurupá-Anauá, São Miguel – Serrote Cacimbas (BRITO NEVES, 1990).

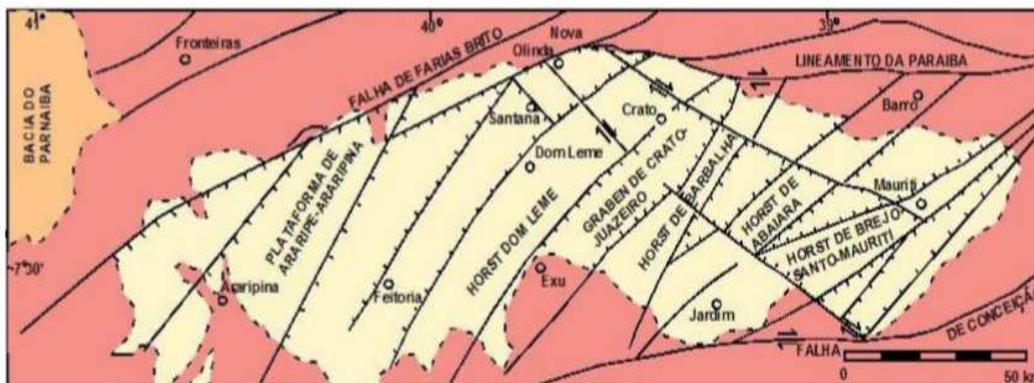


Figura 9. Mapa estrutural da Bacia do Araripe evidenciando Horts e Grabens. (PONTE & PONTE FILHO, 1996).

O Grupo Araripe (PONTE & APPI, 1990), de sedimentação meso-cretácea, forma Chapada do Araripe, assentando-se ora sobre o Grupo Cariri, ora sobre o Complexo do Embasamento. Este grupo engloba as seguintes formações: Rio Batateira, Santana, Arajara e Exú.

Assine & Neumann (2007), subdividiram o Grupo Araripe em Grupo Santana e Grupo Araripe. No primeiro grupo os membros Romualdo e Crato passam agora a ser Formações e, além da Formação Barbalha, é incluída a Formação Ipubi, onde era conhecida a discordância das camadas Ipubi por Assine (2007).

Segundo estes autores, em Araripina – PE a sequência Pós-Rifte I pertence ao Grupo Santana, de idade Aptiana, resultante da subsidência flexural térmica, compreende um ciclo deposicional transgressivo/regressivo.

Segundo Assine (2007) a formação Barbalha está localizada na base da Sequência Pós-Rifte I, que compreende dois ciclos fluviais com granodescrescência ascendente, cujo topos são marcados pela presença de intervalos pelítico-carbonáticos lacustres.

A formação Crato é composta, da base para o topo, por folhelhos cinza e castanho escuro e negros, calcíferos, laminados, e por calcários micríticos, cinza claros e cremes, argilosos, e estratificados em lâminas paralelas e uniformes. A Formação Crato é a camada de maior importância econômica da Bacia do Araripe por conter o mineral gipsita, utilizado na região para fabricação do gesso. Essa formação é constituída de evaporitos, principalmente por gipsita e anidrita e possui uma espessura média de 30 metros (quando a sequência está inteiramente preservada), com leitos de folhelhos escuros, cinza e verdes, intercalados subordinamente.

A formação Romualdo é referente ao antigo Membro Romualdo de Beurlen (1971), e a Formação Santana de Martill (1993) é caracterizada pela presença de um horizonte contendo concreções calcíferas, sendo uma camada de grande importância paleontológica pelos fósseis encontrados dentro dessas concreções. É composta por arenitos interstratificados com folhelhos e margas na parte inferior, e para o topo o empilhamento é transgressivo e os arenitos costeiros cedem lugar a uma seção de folhelhos verdes, ricos em ostracodes (ASSINE, 2007).

Por fim, na sequência Pós-Rifte II está a Formação Exu, que recobre as formações Araripina e Santana sobre uma superfície erosional, formando uma discordância angular de baixo ângulo. Na ausência dessas formações, repousa diretamente sobre o Complexo do Embasamento, em discordância litológica.

2.4.7 Pluviometria e direção dos ventos

Os dados pluviométricos da região de Araripina (Figura 10) reforçam a condição climática semi-árida, o que magnifica a necessidade de represamento de águas de superfície, sobretudo para dessedentamento de animais, alguma atividade agrícola, e também como recurso para abastecimento público estratégico. Daí a grande necessidade de qualificação destas águas e inclusive seu comportamento sazonal em termos de potabilidade.

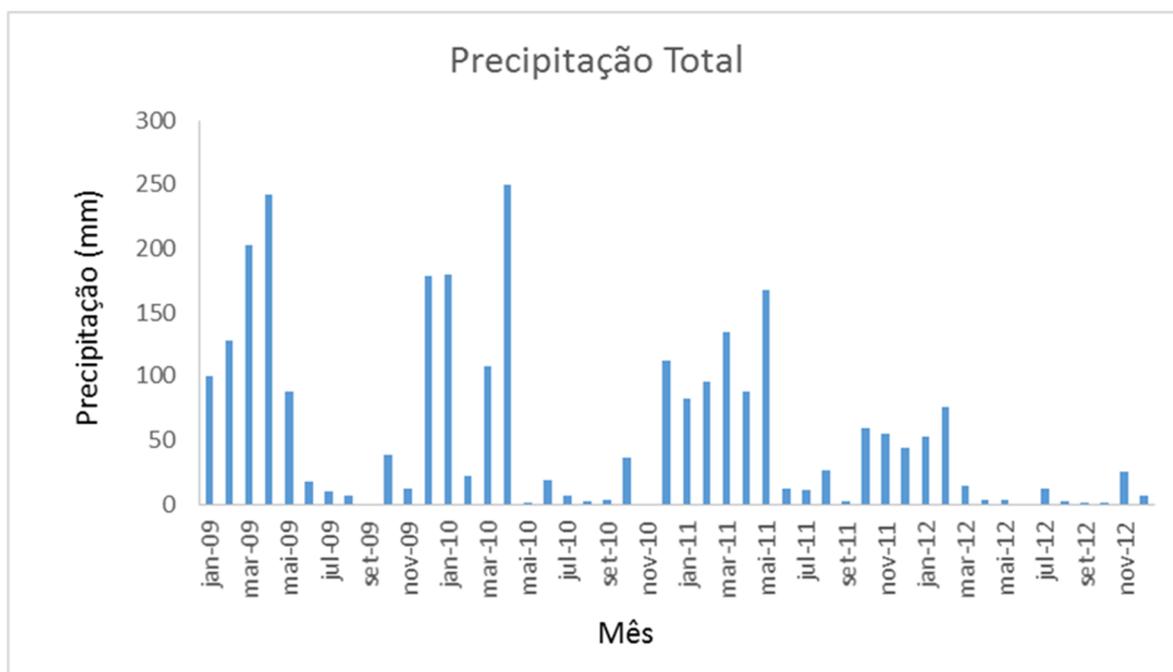


Figura 10. Dados pluviométricos da região de Araripina no período 2009-2012.

Fonte: INMET, 2014.

Os dados pluviométricos confirmam “invernos” normais (janeiro a maio) nos anos de 2009 a 2011, e o início de escassez de chuvas a partir de 2012.

Ventos são causados por diferenças na pressão atmosférica, deslocando ar da área de maior pressão para a área de menor pressão. Devido à rotação do globo terrestre, o ar também é deslocado pela força de Coriolis, exceto exatamente na linha do equador. Em termos globais, os dois principais fatores dos padrões de vento em grande escala (a circulação atmosférica) são a diferença de temperatura entre o equador e os polos (a diferença de absorção de energia solar que provoca forças de impulsão) e a rotação do planeta. Fora dos trópicos e nas camadas superiores da atmosfera, ventos de grande escala tendem a aproximar-se do equilíbrio geotrófico. Perto da superfície terrestre, o atrito faz diminuir a velocidade do vento e faz com que os ventos soprem mais para o interior das áreas de baixas pressões (ANTHONY DRAKE, 2008).

Não se tem certeza de quantos fatores climáticos são afetados pelo aumento crescente da quantidade de poeira na atmosfera (FELLENBERG, 1997). Algumas consequências são certas, tais como: a diminuição da intensidade de radiação do sol, estimada em cerca de 0,4% por ano, e perdas de energia que não se refletem somente numa diminuição geral da

temperatura, mas, eventualmente, também na velocidade e direção dos ventos (FELLENBERG, op. cit).

A direção dos ventos no município de Araripina é predominante no sentido SE-NW a E-W, com poucos meses do ano em que se constata domínio do sentido NE-SW (Tabela 2). A velocidade do vento (Figura 11) é mais intensa durante os meses de junho, julho, agosto e setembro, com valores próximos a 6 m/seg, sendo um fator agravante para evaporação das águas de superfície represadas.

TABELA 2. Sentido predominante dos ventos, região do Araripe, entre 2009 a 2012.

PERÍODO	SENTIDO	PERÍODO	SENTIDO	PERÍODO	SENTIDO	PERÍODO	SENTIDO
	VENTO		VENTO		VENTO		VENTO
JAN/09	E-W	JAN/10	E-W	JAN/11	E-W	JAN/12	E-W
FEV/09	E-W	FEV/10	E-W	FEV/11	E-W	FEV/12	SE-NW
MAR/09	SE-NW	MAR/10	NE-SW	MAR/11	E-W	MAR/12	E-W
ABR/09	E-W	ABR/10	SE-NW	ABR/11	SE-NW	ABR/12	SE-NW
MAI/09	SE-NW	MAI/10	SE-NW	MAI/11	SE-NW	MAI/12	SE-NW
JUN/09	E-W	JUN/10	SE-NW	JUN/11	SE-NW	JUN/12	E-W
JUL/09	E-W	JUL/10	SE-NW	JUL/11	SE-NW	JUL/12	SE-NW
AGO/09	SE-NW	AGO/10	SE-NW	AGO/11	SE-NW	AGO/12	SE-NW
SET/09	E-W	SET/10	SE-NW	SET/11	SE-NW	SET/12	E-W
OUT/09	NE-SW	OUT/10	E-W	OUT/11	SE-NW	OUT/12	E-W
NOV/09	E-W	NOV/10	E-W	NOV/11	E-W	NOV/12	E-W
DEZ/09	NE-SW	DEZ/10	SE-NW	DEZ/11	E-W	DEZ/12	E-W

Fonte: INMET, 2014.

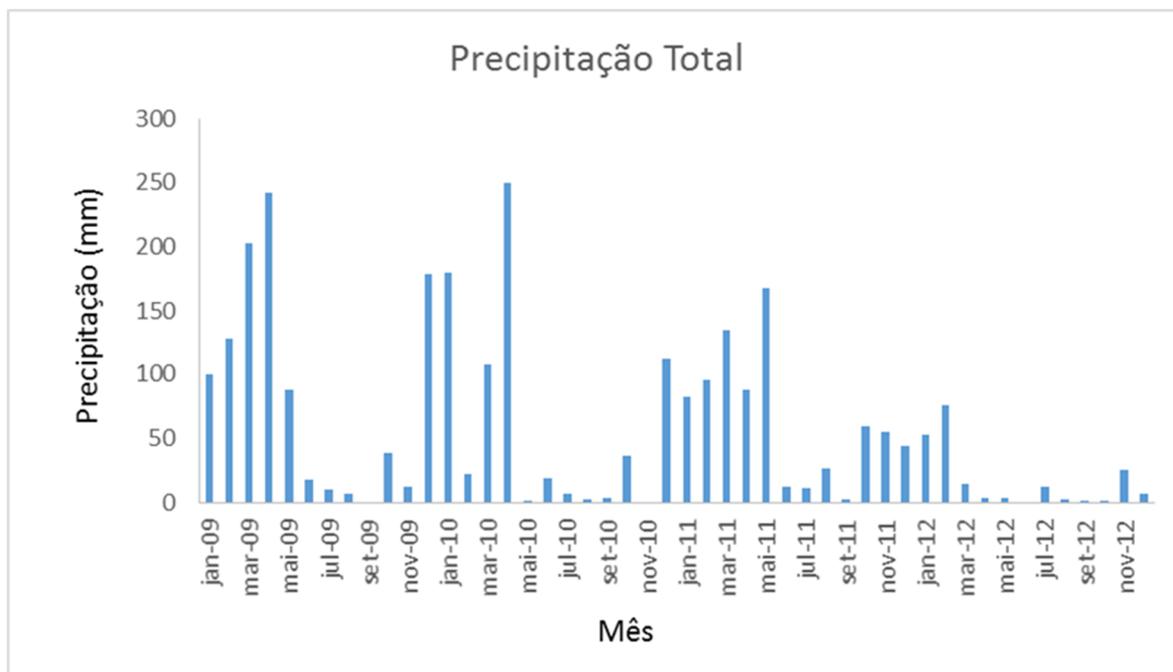


Figura 11. Gráfico mensal da precipitação total entre os anos de 2009 a 2012 da região do Araripe. Fonte: INMET, 2104.

2.4.8 Doenças relacionadas ao trato respiratório na região

A abordagem das doenças referentes ao trato respiratório no hospital do município de Araripina entre o período de 2009 a 2012 é objetivo secundário na pesquisa, mas tem relação com atividades extrativas/transformação de gipsita. São consequência destes vetores antropogênicos, conforme estudos realizado por Medeiros (2003), que descreve sobre problemas respiratórios decorrentes do pó proveniente do beneficiamento da gipsita na região estudada.

Os processos sócio-técnicos-ambientais envolvidos na cadeia produtora gesseira, composta pelas atividades de mineração, calcinação e manufatura, no contexto do Semiárido e, particularmente, no município pernambucano de Araripina, impactam a saúde humana, contribuindo para um quadro epidemiológico desfavorável à qualidade de vida das populações expostas à poeira do gesso, entre outros fatores ambientais (MEDEIROS, 2003). É reconhecido que a poluição atmosférica, caracterizada pela presença de particulados em suspensão, pode resultar em riscos, danos ou moléstias graves às pessoas e bens de qualquer natureza (ARÁNGUEZ et al., 2001).

Os processos de dispersão da poluição atmosférica por partículas de poeira mineral foram observados em uma calcinadora de produção da cal que, em geral, limitam-se às

vizinhanças da fonte emissão (FELLENBERG, 1997). Observações em uma indústria desta natureza mostraram uma emissão diária equivalente a uma precipitação de poeira de 3,17 g/m², tendo sido constatada em vizinhanças distantes 1 km precipitações de 1,74 g/m², diminuindo para 0,27 g/m² a uma distância de 2 km. O processo de dispersão das partículas de poeira depende da intensidade das correntes aéreas. Há casos em que esta poeira atinge elevadas altitudes de 4 a 8 km, podendo formar nuvens de pó (FELLENBERG, 1997) e, neste caso, apresentar um halo de dispersão bem maior, embora certamente com precipitações muito reduzidas.

Alguns estudos indicam que as doenças respiratórias são mais susceptíveis nos grupos populacionais de crianças menores de cinco anos e velhos maiores de 65 anos procedentes de áreas urbanas e suburbanas. O inverno e o confinamento em dormitório encontram-se entre os fatores predisponentes dos agravos respiratórios, enquanto que o tabagismo dos pais e os combustíveis domésticos, a lenha e o querosene, são fatores importantes no desencadeamento desses agravos (BENGUIGUI, 1999).

Nesta atual pesquisa se produziu um novo levantamento dos casos regionais de internação de doenças do trato respiratório (pneumonia, inflamação das vias aéreas e inflamação vias respiratória) no Hospital e Maternidade Santa Maria, cobrindo um período de 4 anos: 2009 – 2012 (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

TABELA 3. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2009.

MES	PNEUMONIA	INFLAM. VIAS AEREAS	INFLAM. VIAS RESPIRATÓRIAS
JANEIRO	6	-	6
FEVEREIRO	5	2	--
MARÇO	9	4	3
ABRIL	15	2	3
MAIO	20	2	5
JUNHO	23	1	20
JULHO	27	3	18
AGOSTO	12	1	13
SETEMBRO	9	2	12
OUTUBRO	9	1	1
NOVEMBRO	14	2	3
DEZEMBRO	8	1	6
TOTAL	161	21	90

TABELA 4. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2010.

MÊS	PNEUMONIA	INFLAM. VIAS AÉREAS	INFLAM. VIAS RESPIRATÓRIAS
JANEIRO	6	2	6
FEVEREIRO	6	4	4
MARÇO	8	3	8
ABRIL	11	1	10
MAIO	10	6	13
JUNHO	17	3	15
JULHO	8	1	21
AGOSTO	9	-	20
SETEMBRO	16	-	9
OUTUBRO	11	1	10
NOVEMBRO	10	6	12
DEZEMBRO	8	1	17
TOTAL	124	28	145

TABELA 5. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2011

MÊS	PNEUMONIA	INFLAM. VIAS AÉREAS	INFLAM. VIAS RESPIRATÓRIAS
JANEIRO	7	4	6
FEVEREIRO	8	1	9
MARÇO	15	1	10
ABRIL	18	-	15
MAIO	45	3	23
JUNHO	20	3	20
JULHO	18	1	15
AGOSTO	13	1	14
SETEMBRO	11	-	13
OUTUBRO	11	1	10
NOVEMBRO	10	-	8
DEZEMBRO	17	1	13
TOTAL	193	16	156

TABELA 6. Casos de internação das principais doenças do trato respiratório em 2012.

MES	PNEUMONIA	INFLAMAÇÃO DAS VIAS AEREAS	INFLAMAÇÃO DAS VIAS RESPIRATÓRIAS
JANEIRO	6	2	10
FEVEREIRO	7	2	12
MARÇO	18	5	13
ABRIL	17	3	13
MAIO	14	4	14
JUNHO	21	3	15
JULHO	24	9	20
AGOSTO	36	1	14
SETEMBRO	25	1	16
OUTUBRO	20	1	20
NOVEMBRO	22	3	7
DEZEMBRO	33	1	18
TOTAL	243	35	172

Os resultados demonstram uma preocupante incidência de pneumonia em toda a investigada sequência de anos (2009-2012). Os muitos fatores que podem explicar este quadro envolvem: falta de conhecimentos preventivos para evitar se atingir este nível de doença respiratória, falta de informação para a procura de cuidados médicos adequados, sub-nutrição, exposição crônica ao risco de contrair a doença, comportamento favorável às perdas de imunidade fisiológica (fumo, práticas desfavoráveis à fisiologia humana, etc.). As maiores incidências de internação por pneumonia e outras infecções respiratórias costumam ocorrer nos meses de junho, julho e agosto, coincidindo com o inverno seco do sertão regional, onde as temperaturas apresentam máximas entre 24°C e 28°C e mínimas entre 13°C e 16 °C. Também neste período se associam fortes correntes de vento que favorecem a dispersão de poeiras de gesso. A pesquisa não define se os internados são ou não participantes de indústrias de gesso ou de mineração, ou se seriam vítimas passivas, ou seja: moradores de área sob a influência de plumas de dispersão dessas poeiras.

As maiores incidências de internação por pneumonia e outras infecções respiratórias costumam ocorrer nos meses de junho, julho e agosto do período 2009-2012, coincidindo com as fortes correntes de vento que favorecem a dispersão de poeiras de gesso.

Nos meses de janeiro e fevereiro os casos de internação por pneumonia e infecções respiratória mostraram incidências menores no período chuvoso podendo-se arguir que neste

período deve ocorrer uma possível diminuição dos contaminantes atmosféricos, em particular, das poeiras provenientes da mineração de gipsita/produção do gesso, em razão das lixiviações pluviométricas (Figuras 12, 13, 14, e 15).

Alguns estudos indicam que as doenças respiratórias são mais susceptíveis nos grupos populacionais de crianças menores de cinco anos e velhos maiores de 65 anos, procedentes de áreas urbanas e suburbanas. O inverno e o confinamento em dormitórios muitas vezes insalubres encontram-se entre os fatores predisponentes aos agravantes respiratórios, enquanto que o tabagismo dos pais e os combustíveis domésticos, a lenha e o querosene, são também fatores importantes no desencadeamento desses agravantes (BENGUIGUI, 1999). Enfim, mesmo sob a ótica da necessidade de levantamentos mais completos, o quadro parece indicar que a poeira de gesso deve ser, de fato, um agravante nas questões de doenças do trato respiratório na região.

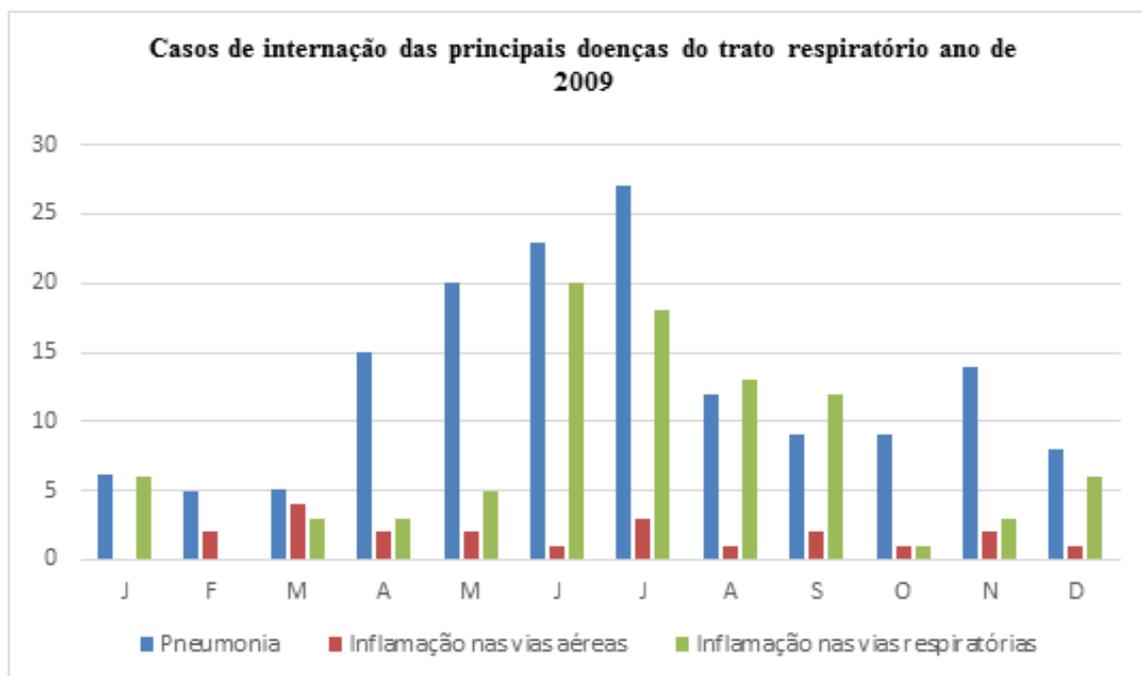


Figura 12. Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2009 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.

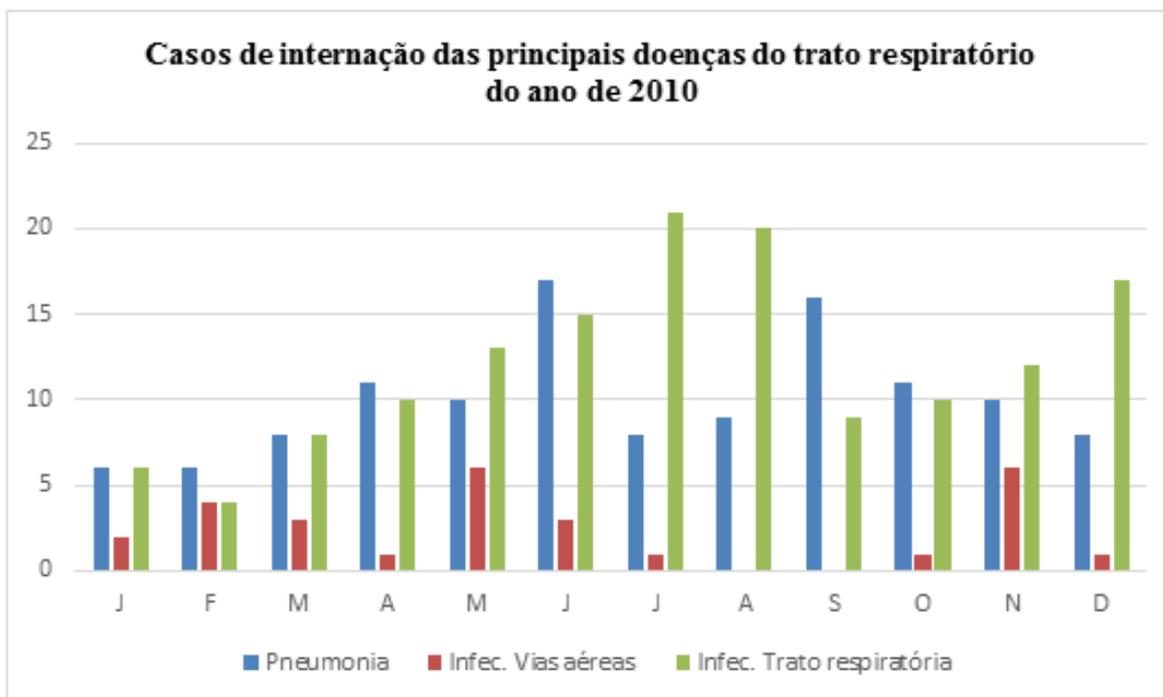


Figura 13. Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2010 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.

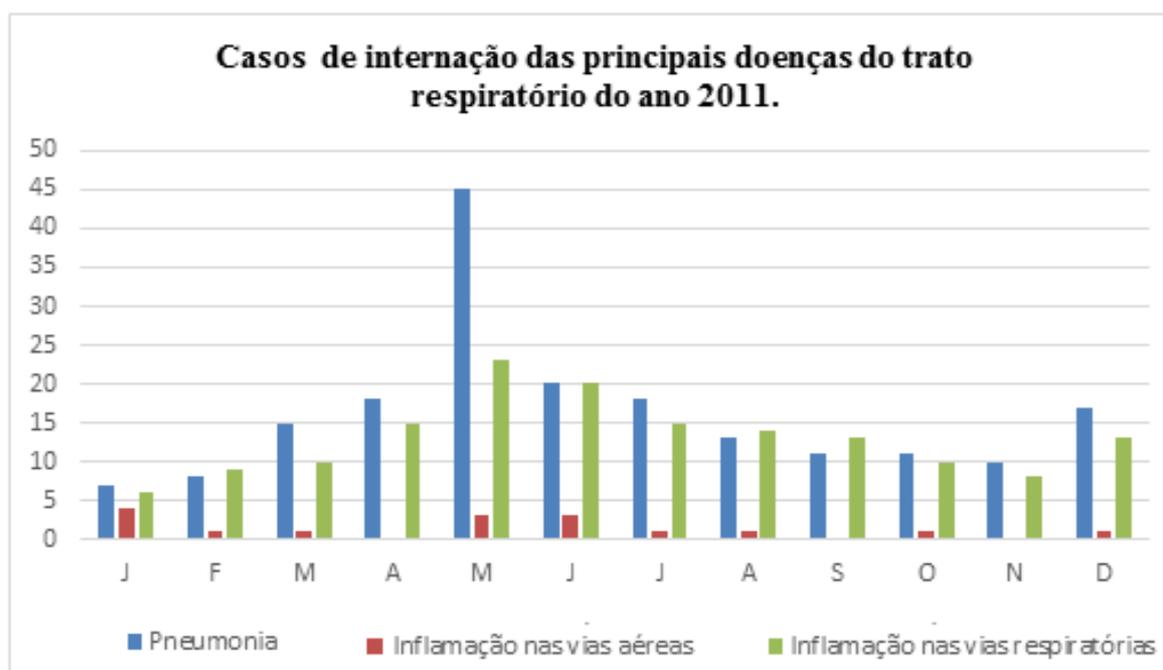


Figura 14. Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2011 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.

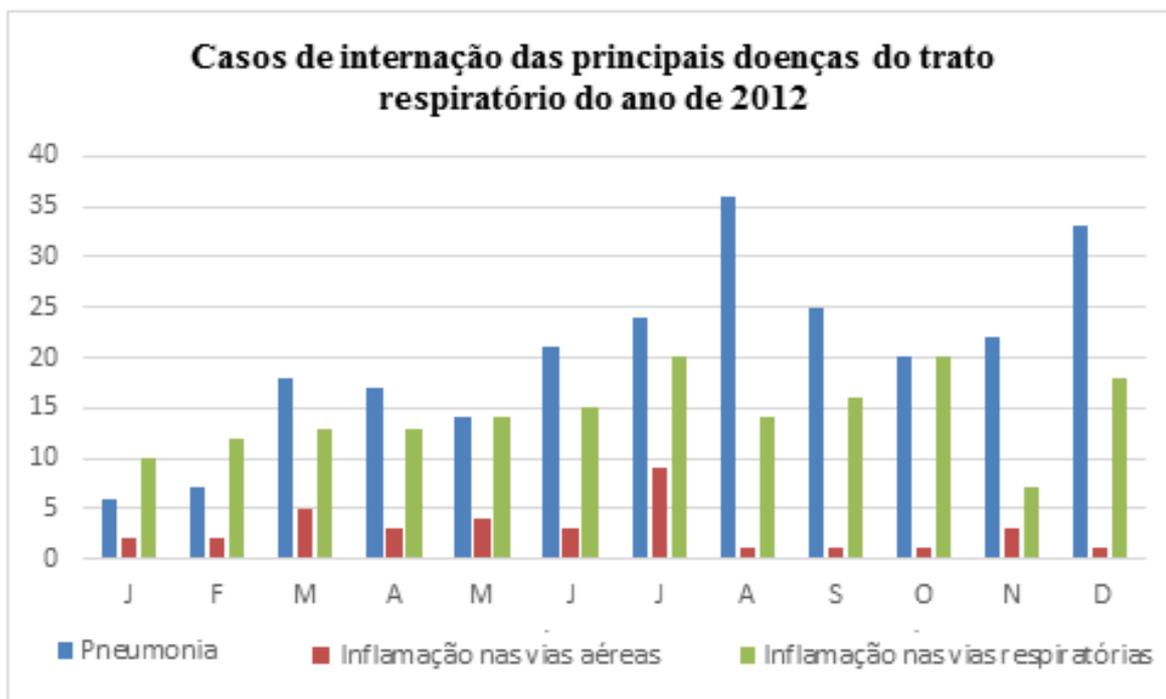


Figura 15 Gráfico representando levantamento dos casos de internação de doenças do trato respiratório do ano de 2012 no hospital e maternidade Santa Maria em Araripina PE.

3. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Os corpos d'água e os focos de produção de gesso da região de Araripina foram cartografados com base em mapas SUDENE 1:100.000 e em imagens Google Earth. Uma vez plotados os corpos hídricos de interesse, foi feito o enquadramento da área específica de pesquisa, envolvendo a vicinalidade dos focos de emissão de poeira de gesso. Corpos d'água distais também foram incluídos, para servir de referência regional e determinação de valores de *background* de áreas não afetadas por contaminações antropogênicas sulfáticas. Os corpos hídricos escolhidos foram os de acumulação de águas de escoamento superficial, ou seja: barragens, açudes e pequenos barreiros, cobrindo a regionalidade da área de pesquisa.

O riacho Moraes, provisoriamente de curso permanente por receber descartes urbanos, também foi objeto de amostragem, sendo um dos principais tributários da barragem de Lagoa do Barro. Esta barragem, situada no município de Trindade (extra-área), continua sendo utilizada para abastecimento público no eixo Ipubi-Trindade-Araripe. Adicionalmente, foram feitas amostras de águas subterrâneas, a partir de poços ativos, no interior do espaço urbano de Araripina, na adjacência de uma indústria de gesso e, finalmente, em domínios do arenito Exu (estação agrícola do IPA). Neste último caso, situado extra área, o objetivo foi o de sinalizar um reconhecido padrão de qualidade de água potável da Chapada do Araripe.

A campanha de amostragem envolveu águas de superfície a cerca de 30 cm de profundidade, envolvendo 40 corpos hídricos em estação de chuvas (depois reamostrados durante estiagem), alguns casos de águas subterrâneas, e águas do riacho Moraes (Tabela 7). Ao fim do prolongado período de estiagem (2013) só foi possível coletar águas de alguns corpos hídricos, posto que a maioria deles havia secado completamente. Para a localização e plotagem das estações de amostragem foi utilizado um GPS marca Garmin Etrex, com erros indicados de leitura entre 7 e 15 metros (Tabela 8).

A primeira campanha (40 amostras), ao final da estação de chuvas de 2011, abordou os corpos hídricos com presumido máximo influxo acumulado de águas de superfície. Desta forma, a expectativa seria o registro de concentrações em sulfatos após ampla lixiviação de poeira de gesso sedimentada sobre vegetação e solos regionais. Dois anos após, na segunda campanha (estiagem 2012-2013), só foi possível a amostragem de 13 corpos hídricos, porque os demais já estavam completamente secos.

TABELA 7. Sumário das estações de amostragem hídrica e suas categorias.

Amostra	Açude	Barragem	Poço	Drenagem	COMPESA
G-1A		x			
G-1B		x			
G-2	x				
G-3					
G-4	x				
G-5	x				
G-6A		x			
G-6B		x			
G-7	x				
G-8	x				
G-9				x	
G-10	x				
G-11	x				
G-12	x				
G-13				x	
G-14	x				
G-15				x	
G-16A					x
G-16B					x
G-17	x				
G-18	x				
G-19				x	
G-20	x				
G-21	x				
G-22	x				
G-23	x				
G-24			x		
G-25	x				
G-26	x				
G-27	x				
G-28	x				
G-29	x				
G-30			x		
G-31			x		
G-32	x				
G-33			x		
G-34	x				
G-35	x				
G-36				x	
G-37				x	

TABELA 8. Sumário com coordenadas UTM da amostragem coletada

AMOSTRAS	UTM-MERID.	UTM-PARAL.	AMOSTRAS	UTM-MERID.	UTM-PARAL.
G-1	334731	9161012	G-19	341835	9156832
G-1B	334075	9160964	G-20	331383	9163288
G-2	335360	9159962	G-21	331433	9159202
G-3	336219	9157884	G-22	332738	9156566
G-4	336722	9157606	G-23	333790	9166074
G-5	334670	9160174	G-24	343662	9175270
G-6	337747	9162686	G-25	344326	9154912
G-7	338279	9158302	G-26	337448	9157920
G-8	338012	9157354	G-27	337670	9150712
G-9	336402	9160774	G-28	339905	9161050
G-10	337342	9159504	G-29	339953	9151698
G-11	338028	9160786	G-30	334362	9161948
G-12	335962	9162080	G-31	335674	9159465
G-13	335441	9161690	G-32	337663	9143360
G-14	333521	9158620	G-33	333169	9152842
G-15	335587	9160616	G-34	339043	9156754
G-16	333926	9161984	G-35	338811	9156746
G-17	333185	9158150	G-36	339704	9157838
G-18	334059	9159400	G-37	339791	9157590

A amostragem seguiu procedimentos recomendados pela APHA (2001). As águas foram acondicionadas em recipientes de poliestireno, previamente lavados com solução de HNO₃ 2%, procedendo-se a relavagem interna *in situ* com água do próprio ambiente aquático. Em cada estação foram preenchidos 2 (dois) recipientes com 200 ml de águas superficiais filtradas a <0,45 µm (filtros Schleicher & Schuel), coletadas além de 15 metros de distância das margens. Estas amostras foram imediatamente resfriadas a cerca de 4 °C, e assim também preservadas em laboratório, ao abrigo de luminosidade, até o início dos procedimentos analíticos (15 dias) no LAMSA/UFPE. Neste, foram realizadas as determinações de sulfatos, cloretos e bicarbonatos totais, conforme rotinas recomendadas pela APHA (2001).

Nas mesmas estações de amostragem que apresentaram anomalias no teor de sulfato também se procedeu a coleta de material sedimentar superficial de fundo (aproximadamente 250g) utilizando-se um amostrador em PVC, com o objetivo de cotejar eventuais repercussões desta contaminação nos sedimentos de fundo. Estes sedimentos foram acondicionados em sacos de poliestireno, resfriados a 4°C.

As análises químicas foram efetuadas nos laboratórios Actlab's (Ontario, Canadá), incluindo distintas metodologias: Análise Instrumental por Ativação de Nêutrons I (INAA) e Inductively Coupled Plasma (ICP), utilizando-se ácidos (HF, HClO₄, HNO₃ e HCl) e água régia, como técnicas de digestão. As análises químicas sobre o material desidratado e pulverizado <100 mesh também foram realizadas nos laboratórios Actlab's (Ontario, Canadá), envolvendo 9 óxidos fundamentais, perda ao fogo, e 44 elementos-traços.

Em paralelo, em águas de superfície de cada estação de amostragem, foram feitas determinações de pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura, utilizando-se um equipamento OAKTON, modelo WP 600 (Figura 16), dotado de sensores ou extensões específicas para as variáveis acima mencionadas.



Figura 16. Equipamento OAKTON, modelo WP 600, Série Meters.

Os resultados obtidos foram planilhados e submetidos a tratamento estatístico. Foram definidos halos de sedimentação (ou influência) da poeira de gesso dispersada na atmosfera, através de suas repercussões sobre os corpos d'água estudados.

Adicionalmente, foi feito um levantamento de casos de internamentos médicos relacionados a doenças do trato respiratório no Hospital e Maternidade Santa Maria, localizado no município de Araripina no período de 2009 a 2012.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA AMOSTRAGEM DE ÁGUAS

Os parâmetros físico-químicos analisados das águas de superfície (e de sub-superfície): potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura, em período chuvoso (Tabela 9) e de estiagem prolongada por dois anos (Tabela 10), mostram resultados francamente distintos, demarcando a relatividade muito elevada quando os dados são considerados isoladamente, ou não vinculados às sazonalidades climáticas. Todos estes resultados estão comparados aos padrões regulamentares do CONAMA (Tabela 11), destacando-se os valores anômalos por dados em “vermelho negrito”.

TABELA 9. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais e de subsuperfície em período chuvoso, na região de Araripina – Pernambuco, em 2011.

AMOSTRAS	pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Temperat. (°C)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
G-1	7,08	5,94	27,2	462,0	339,1	485,1
G-1B	6,88	6,44	26,5	464,0	813,8	85,8
G-2	6,87	5,70	29,7	540,0	282,0	357,6
G-3	6,42	6,13	26,3	43,0	169,0	200,0
G-4	6,61	5,87	29,3	95,0	813,9	178,7
G-5	6,74	4,67	30,6	18,5	218,7	165,6
G-6	8,09	5,67	29,5	88,9	33,4	204,0
G-6B	7,89	5,93	28,7	88,4	23,3	210,7
G-7	6,62	5,57	28,8	118,0	503,1	138,6
G-8	6,65	2,98	27,7	40,5	76,0	106,2
G-9	7,37	4,38	27,1	465,0	165,6	193,5
G-10	6,38	0,0	25,2	26,4	26,1	165,5
G-11	6,56	3,21	29,7	2,9	25,8	49,1
G-12	6,46	4,72	31,0	6,4	88,2	52,3
G-13	7,04	5,63	32,0	449,0	216,1	349,6
G-14	6,46	2,48	24,4	9,0	267,1	160,2
G-15	7,24	4,24	31,5	478,0	513,8	167,2
G-16	6,47	4,04	29,6	29,0	29,0	38,8
G-16B	6,56	3,52	29,1	13,7	10,2	58,9
G-17	6,91	5,86	31,4	7,6	89,9	167,2
G-18	6,65	6,40	28,1	50,1	106,2	187,7
G-19	7,24	2,83	26,7	537,0	238,0	205,1

TABELA 9. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais e de subsuperfície em período chuvoso, na região de Araripina – Pernambuco, em 2011.

AMOSTRAS	pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Temperat. (°C)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
G-20	6,34	4,12	27,7	22,4	43,0	69,9
G-21	6,50	4,74	27,6	12,4	55,5	43,9
G-22	6,60	4,69	28,3	18,6	39,7	206,8
G-23	6,75	4,29	30,2	7,5	69,7	127,4
G-24	6,01	1,15	28,9	5,0	9,0	7,5
G-25	6,73	2,40	30,2	234,0	12,0	34,0
G-26	5,72	4,23	30,6	27,0	25,0	13,0
G-27	6,43	3,11	31,3	71,9	90,0	444,7
G-28	6,22	4,16	32,0	25,0	29,0	98,0
G-29	6,64	3,77	31,0	44,0	20,0	67,0
G-30	6,04	4,15	28,4	500,2	248,6	144,7
G-31	6,73	3,84	26,0	434,8	517,9	282,9
G-32	6,47	4,27	29,0	341,0	690,0	305,6
G-33	6,47	1,51	29,0	288,2	690,0	330,2
G-34	6,36	4,84	30,4	26,3	60,3	104,4
G-35	6,53	4,77	31,2	12,8	27,9	80,7
G-36	7,09	4,33	27,3	258	200,4	24,4
G-37	6,51	4,27	28,3	17,4	60,4	49,8

TABELA 10. Parâmetros físico-químicos de águas superficiais/subsuperfície em período de estiagem prolongada (2 anos) na região de Araripina – PE, ano de 2013.

Amostras	pH	OD (Oxigênio Dissolvido)	Temperatura (°C)	Sulfato (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)
G-1	7,49	3,5	29	744	1175	3,3
G-4	7,09	2,8	34	1930	2360	3,3
G-6	7,91	3,0	30	508	1760	3,9
G-11	7,44	3,8	34	380	2980	3,0
G-13	7,55	5,2	32	243	1070	2,1
G-20	7,82	3,3	30	163	261	12,4
G-23	7,12	3,2	33	205	231	2,7
G-24	7,02	1,3	26	25	32	0,7
G-30	7,28	1,9	27	250	3390	2,6
G-31	7,06	2,9	29	1250	3050	2,4
G-32	7,15	3,0	31	1230	2420	5,4
G-33	7,29	1,9	29	212	1235	9,1
G-37	7,45	5,5	30	65	240	2,7

TABELA 11. Padrão de qualidade para águas classe 2: Resolução CONAMA N°367/05.

PARAMETROS/UNIDADE	LIMITES
Alcalinidade (pH)	6 - 9
Oxigênio dissolvido (mg/L)	> 5
Cloretos (mg/L)	250
Sulfatos (mg/L)	250
Bicarbonatos(mg/L)	não definido

4.1.1 pH

O pH é um importante parâmetro que, juntamente com outros, fornece indícios do grau de poluição, metabolismo de biotas, ou ainda impactos em ecossistemas aquáticos. Águas naturais exibem pH entre 4 e 9, sendo influenciado pela dissolução de CO₂, que interfere nos valores de pH através das reações de HCO₃⁻ e CO₃⁻ com a água, com isto aumentando-o. Entretanto, aumentos de alcalinidade (no limiar de pH = 9) costumam ser compensados por aumento no *uptake* de CO₂ das águas por fotossíntese das algas. A espécie química dominante em um ambiente aquático depende do seu pH, que também é influenciado pela coexistência de outros ácidos e bases e suas respectivas constantes de equilíbrio de reações (MARTINS et al., 2003).

Crítérios de proteção de ecossistemas fixam o pH entre 6 e 9 (CHESTER, 2000), mas cada ambiente natural possui uma faixa restrita para suas “condições ótimas”, quando ocorre franco desenvolvimento e reprodução das espécies. Para além das margens destas “condições ótimas”, em qualquer sentido, a biota estará sendo submetida a stress, a dificuldades de crescimento e de reprodução e, inclusive, à extinção. Conforme dados contidos em Chester (*op.cit.*), águas continentais apresentam habitualmente pH = 6 a 7,5.

Na área estudada, em período de chuvas independentemente do volume dos corpos hídricos represados, ou da natureza dos seus substratos líticos, os valores em pH (Tabela 5) apresentaram uma variação relativamente pequena (pH = 5,72 a 7,89). Estas águas (n = 40), portanto, se revelaram do tipo levemente ácido a levemente alcalino, com média aritmética (MA) = 6,66 e desvio médio (SD) = 0,33. Considerando-se arbitrariamente como valores anômalos aqueles de pH = ± 2 SD, as extrapolações corresponderam grosso modo a 14 % dos casos estudados. O histograma deste parâmetro (Figura 17) mostra que no inverno estas

extrapolações apontam tendência de pH mais ácidos nos casos de águas subterrâneas, e leve alcalinidade para corpos d'água de maior porte (barragens) e para as águas do riacho Moraes (Figura 18). Corpos d'água com volumes menores (“açudes”), apresentam todas as suas águas com pH levemente ácido.

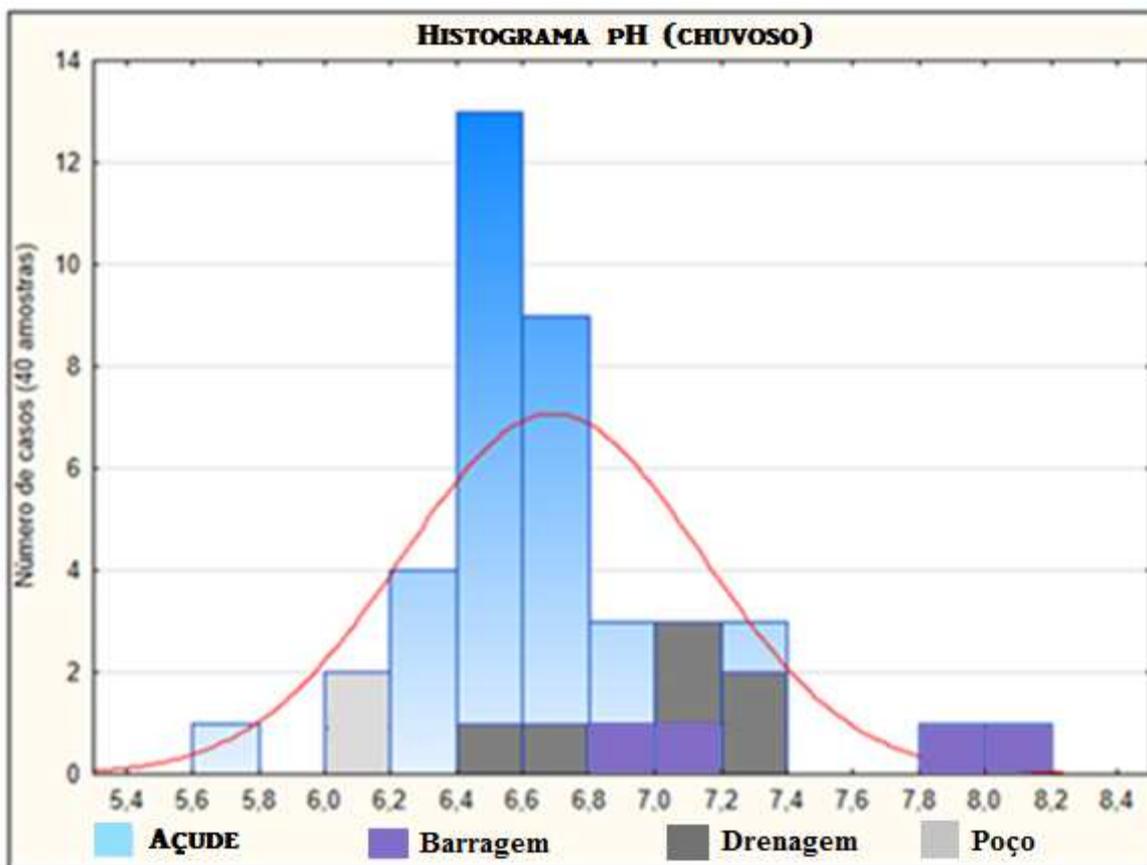


Figura 17. Histograma do pH de amostras de águas de superfície e de subsuperfície da área de estudo na região de Araripina, em período chuvoso.



Figura 18. Trecho do riacho Moraes (G-13); curso contaminado por descartes domésticos não tratados (ARRUDA, 2011).

Aparentemente, o pH de águas confinadas da região, em estação de chuvas, não é dependente da natureza do substrato, e sim da composição e quantidade dos influxos de águas superficiais. Isto sugere que escoamentos pluviais em maiores bacias de recepção (barragens) formam espelhos d'água mais extensivos, implicando em tendência à alcalinização dos volumes residuais confinados por diminuição do solvente. Esta circunstância aponta para uma expectativa de maior alcalinização das águas no período de estiagem, exigindo proporcionalmente maiores influxos de águas pluviométricas na estação das chuvas para a possibilidade de retorno às condições pretéritas de pH's ácidos.

Durante o período de estiagem, em condições de seca prolongada por dois anos, a maioria dos corpos hídricos encontrava-se seca ou parcialmente seca, com pequenos volumes de água (Figura 19). Em todos os corpos hídricos coletados, sem exceção, devido à prolongada escassez de chuvas, os pH's mostraram-se alcalinos (Figura 20).



Figura 19. Maior barragem do município de Araripina DNOCS (Estação G- 6) no período de estiagem prolongada de dois anos, praticamente seca. (ARRUDA, 2012).

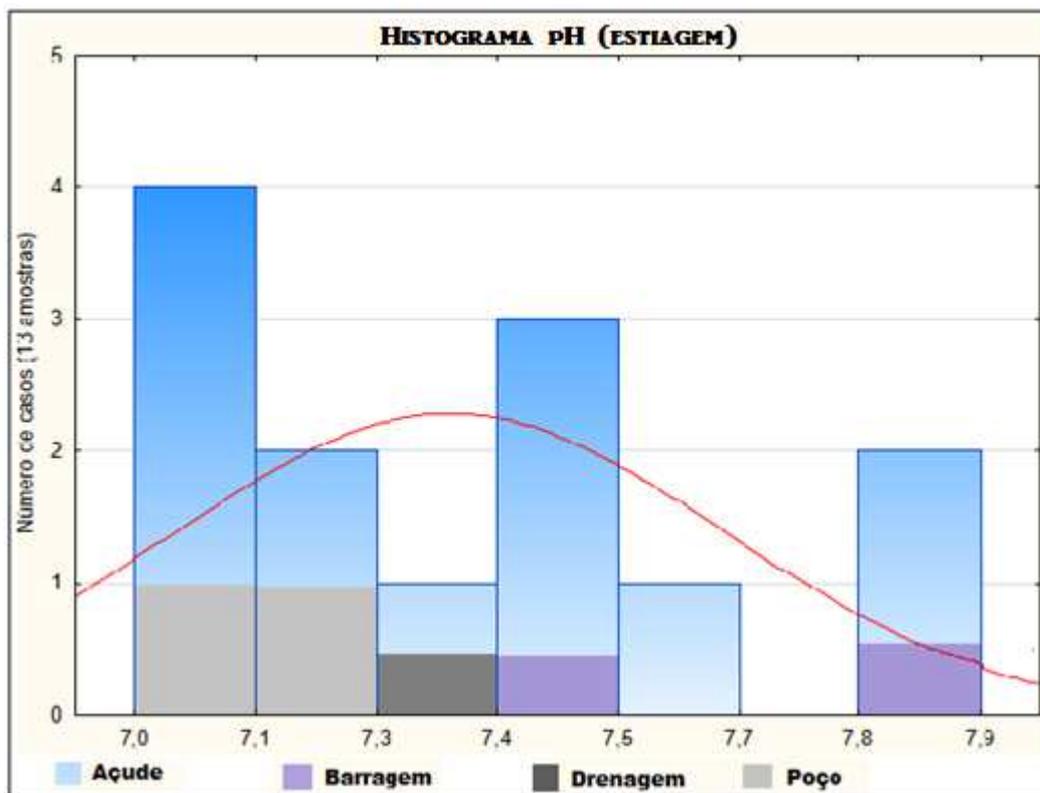


Figura 20. Histograma do pH de amostras de águas de superfície e de subsuperfície no período de estiagem prolongada (2 anos) em uma área de estudo na região de Araripina.

Durante a estação de chuvas o pH das águas represadas mostrou relação aparente com a extensão do percurso dos influxos pluviais, sugerindo que os escoamentos de águas de superfície, em menores percursos, não sofrem grande incorporação de sais solubilizados a partir dos solos.

Notória quantidade de bivalves (Figura 21) foi constatada na barragem do DNOCS (estação de amostragem G-6), onde o pH mostrou-se alcalino ($\text{pH} = 8,06$) mesmo em período de chuvas. O sedimento superficial de fundo, neste local, também apresentou concentração mais elevada em cálcio ($\text{CaO} = 0,8\%$; Tabela 12). Entretanto, na barragem onde se efetuou a amostragem G-1, vicinal a Araripina, não foram observados esses organismos, apesar do pH das águas ser levemente ácido, neste local, em tempo chuvoso ($\text{pH} = 6,9$). Apesar da concentração de cálcio na amostragem de sedimento de fundo ser consideravelmente maior que o de outras amostras de mesma natureza, esse pH deve ser considerada a razão de ausência de moluscos nas margens deste represamento d'águas. Claudi&Mackie (1994), relatam que pH alcalino e disponibilidade de cálcio são as variáveis mais importantes para desenvolvimento de conchas de bivalves.



Figura 21. Margem da barragem do DNOCS (Estação G- 6) com presença de bivalves em período chuvoso (ARRUDA, 2011). .

TABELA 12. Composição química de sedimento (total) de fundo de alguns corpos d'água represados da área de estudo, e de áreas circunvizinhas à região de Araripina – PE.

	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S
	%	%	%	%	%
G-1B	4,04	2,32	0,84	0,13	0,53
G-4	2,94	0,58	0,31	0,09	0,12
G-6	6,60	0,80	0,34	0,10	0,15
G-9	3,29	0,63	0,47	0,24	0,04
G-14	4,40	0,51	0,53	0,19	0,05
G-15	2,64	0,54	0,64	0,09	0,17
G-17	1,40	0,52	1,51	0,04	0,03
G-18	7,07	0,54	0,10	0,24	0,03

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública, mas provoca alteração no paladar e a rejeição da água mesmo em concentrações inferiores àquelas que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios. Em si, não constitui um padrão de potabilidade, ficando suas consequências mais bem avaliadas pela influência que exerce sobre o valor do pH. A importância deste parâmetro se concentra no controle de determinados processos unitários utilizados em estações de tratamento de águas para abastecimento ou para descarte de águas residuais.

4.1.2 Temperatura e oxigênio dissolvido (OD)

Entre os gases dissolvidos em ambientes aquáticos, o oxigênio é o mais importante, sendo absolutamente indispensável à vida da maioria dos organismos (peixes, insetos, algas, plantas superiores, etc.). Ele provém, essencialmente, da atmosfera, e é também produzido por reações de fotossíntese das plantas.

Os conteúdos de OD em águas naturais variam com a temperatura, salinidade, turbulência, atividade fotossintética da vegetação aquática, e pressão atmosférica. Sua solubilidade decresce quando a temperatura e a salinidade aumentam. Em nível do mar, e à temperatura de 15 °C, águas doces apresentam valores entre 8 a 15 mg/L (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992). Concentrações < 5 mg/L podem, adversamente, afetar o funcionamento e sobrevivência de comunidades biológicas; e abaixo de 2 mg/L podem levar à morte a maior parte das espécies de peixe. Na regulamentação brasileira (CONAMA, 2005), em águas enquadradas como de “classe 2”, OD ≥ 5 mg/L.

Valores de OD podem indicar o grau de poluição pela matéria orgânica (MO) e o nível de degradação de substâncias orgânicas (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992). Assim, padrões adequados de OD são vitais para a manutenção de condições oxidantes (aeróbias) necessárias à degradação da MO e para manter, por exemplo, o fósforo nos sedimentos de fundo.

Influxos de fosfatos e nitratos podem provocar eutrofização dos ambientes aquáticos. Tais influxos podem ter origem em efluentes domésticos, atividades mineiras, e efluentes de outras origens (industriais, por exemplo). Detergentes possuem fosfatos e/ou nitratos provocam uma desordenada proliferação de algas nos meios aquáticos, reduzindo drasticamente a oxigenação das águas. Além disto, alguns compostos minerais reduzem a disponibilidade do oxigênio livre nos corpos aquáticos, fenômeno conhecido como desoxigenação.

As variações de temperatura dos corpos d'água estudados mostraram a influência do efeito diurno acumulado da insolação. O menor registro foi de 24,4 °C, em condição matinal e o maior, de 32 °C, em horário vespertino (vide tabela 5). Na amostragem global (n = 40), cerca de 2/3 dos casos apresentaram temperaturas >28 °C, considerado limite para as condições “ótimas” de sobrevivência para a maior parte dos organismos aquáticos do planeta. Amostragens vespertinas revelaram, quase invariavelmente, temperaturas >29°C. Pode-se inferir que, no transcurso do dia, estas águas superficiais represadas sofrem aumentos de temperatura de pelo menos 2,5 a 3 °C, tornando-as muito restritivas para piscicultura, sobretudo se o corpo aquático for raso e não oferecer refúgio de águas frescas profundas para as espécies nele existentes. Ademais, pequenos açudes correm o risco de se tornarem reservatórios muito rasos, ou até mesmo secos, durante estiagens prolongadas.

As águas superficiais de barragens e açudes no período chuvoso (n = 40) apresentaram-se relativamente “bem oxigenadas” (87,5% com OD = 4,12 a 6,44 mg/L) no período chuvoso apesar de suas temperaturas frequentemente superiores a 28 °C (vide tabela 9). Considerando-se o padrão de MA = 4,8 mg/L, pode-se considerar boa a oxigenação destas águas, durante a época das chuvas. As únicas exceções (OD < 3,2 mg/L) corresponderam a corpos d'água rasos com profundidades menores que 1 m (Figura 22), e aos casos já esperados das águas de subsuperfície (OD = 1,15 a 3,84).



Figura 22. Açude de pequena dimensão (amostragem G-14), raso, com significativo desenvolvimento algálico e indícios de eutrofização ($OD = 2,42$), em período chuvoso (ARRUDA, 2011).

O histograma dos valores de OD (Figura 23), revela o expressivo padrão médio de OD ($4,8 \text{ mg/L}$) das águas represadas durante o período das chuvas sendo, portanto, vigente apenas sob condições sazonais. Também contribui, para estas condições, o baixo grau de comprometimento antropogênico nas bacias de recepção destes espelhos d'água. De fato, na área estudada, não existem cultivos agrícolas intensivos ou forte desenvolvimento pecuarista, e as ocupações urbana/industrial são de baixa intensidade. Diferentemente, Lima (2009) e Pontes (2009) não encontraram similares níveis de oxigenação em águas perenes de rios litorâneos de Pernambuco, senão em médio/alto cursos e significativamente a montante de concentrações urbanas. Outra explicação, de cunho bioquímico, foi apresentada por Silva (2004), indicando que na região do Araripe, durante a estação de chuvas, ocorre um aumento na taxa de fotossíntese das plantas, compensando assim a baixa taxa fotossintética no verão, quando a vegetação precisa resistir fortemente à sua perda d'água.

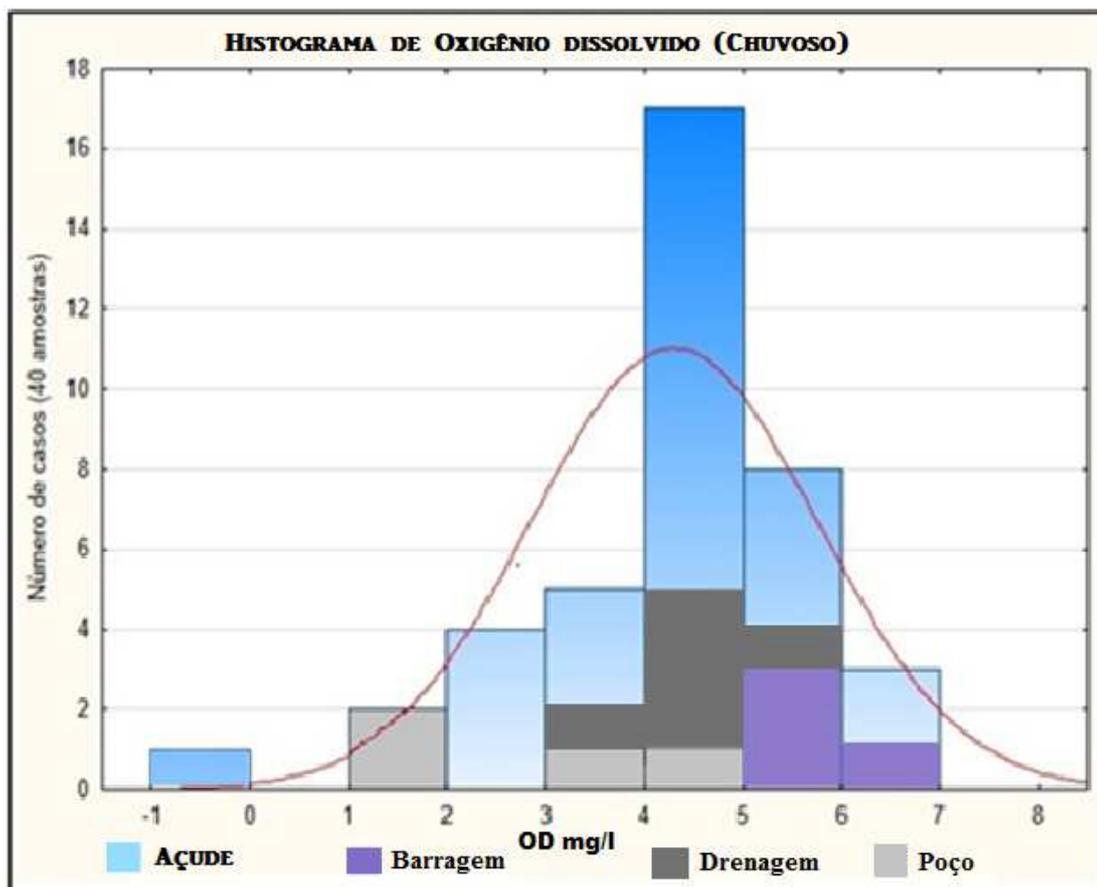


Figura 23. Histograma dos valores de oxigênio dissolvido (OD) de águas de superfície/subsuperfície no período chuvoso, em área de estudo na região de Araripina-PE.

O histograma de valores de OD dos mesmos corpos d'água, ainda existentes em tempo de estiagem prolongada (Figura 24) mostraram um padrão de baixa oxigenação, concentrado entre 2 a 3 mg/L. A forte insolação e temperaturas elevadas são responsáveis por este contexto negativo para sobrevivência de organismos remanescentes de um mesmo ambiente aquático (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

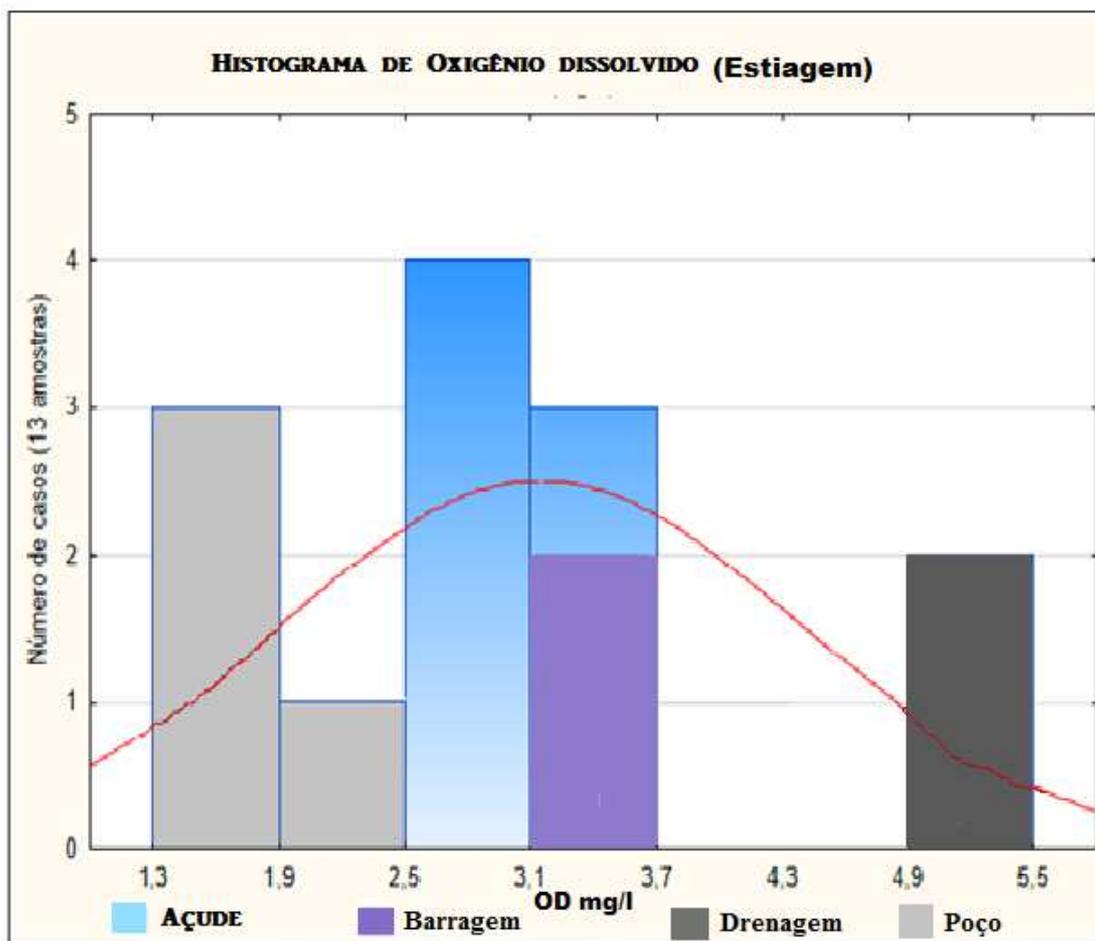


Figura 24. Histograma dos valores de oxigênio dissolvido (OD) de águas de superfície/subsuperfície em uma área de estudo na região de Araripina – PE, em período de estiagem prolongada.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DE SUPERFÍCIE/SUBSUPERFÍCIE

A composição química de águas reflete os compostos solúveis (sais e íons) nela contidos, cuja concentração total pode ser expressa como salinidade. Em águas continentais, ela é determinada por quatro cátions principais: Cálcio, Magnésio, Sódio e Potássio, e pelos ânions carbonato, sulfato e cloreto. A principal fonte de íons para as águas de escoamento superficial é o intemperismo das rochas continentais que, por hidrólise, libera quantidades significativas de sódio, cálcio, magnésio, etc., e ânions HCO_3^- , originários das águas pluviais. Bicarbonatos, sulfatos e cloretos, constituem importantes solutos contidos em águas naturais.

Apesar do intemperismo das rochas não liberar quantidades significativas de cloro, suas concentrações são elevadas nos oceanos, devido ao seu prolongado tempo de residência (milhões de anos) neste ambiente, possibilitando sua acumulação, assim como a do sódio (MELLO op. cit., 2008). Em princípio, águas continentais e águas de subsuperfície possuem

composição química mais simples que as oceânicas, mas não é possível definir uma "concentração típica" para os vários tipos de água doce. Ambientes dulcícolas exibem grandes variações tanto na concentração como na composição de sais dissolvidos, uma vez que são muito influenciados por condições locais como litologia, cobertura vegetal, taxa de erosão, etc. A composição média dos sais dissolvidos é de 120 mg/L em águas fluviais, e de 35.000 mg/L em águas marinhas (CHESTER, 2000).

Apesar de uma ocupação urbana apenas adensada em Araripina, e de uma área rural com pecuária e agricultura praticamente inexistentes, a influência antropogênica se mostra francamente agressiva nos corpos d'água estudados. Basicamente, os níveis principais de impacto ambiental se resumem aos efluentes urbanos de Araripina e aos focos de produção industrial de gesso e seus subprodutos. As influências antrópicas se refletem claramente nos resultados das análises químicas das águas de superfície represadas, nas de subsuperfície, e nas águas do riacho Moraes (Tabela 13).

TABELA 13. Comparação entre parâmetros químicos de águas superficiais e de subsuperfície durante período chuvoso e sob estiagem prolongada, em área de estudo na região de Araripina, Pernambuco.

Amostras	Sulfato mg/L (chuvoso)	Sulfato mg/L (Estiagem)	Cloreto mg/L (chuvoso)	Cloreto mg/L (Estiagem)	Bicarbonato mg/L (chuvoso)	Bicarbonato mg/L (Estiagem)
G-1	813,4	744	462,0	1175	285,1	3,3
G-4	813,9	1930	95,0	2360	178,7	4,3
G-6	33,4	508	88,9	1760	204,0	3,9
G-11	25,8	380	2,9	2980	49,1	4,0
G-13	196,1	243	449,0	1070	349,6	5,0
G-20	43,0	163	22,4	261	69,9	12,4
G-23	69,7	205	7,5	231	127,4	3,0
G-24	9,0	25	5,0	32	7,5	2,0
G-30	248,6	250	447,2	3390	344,7	2,6
G-31	517,9	1250	434,8	3050	282,9	2,4
G-32	690,0	1230	288,2	2420	305,6	5,4
G-33	690,0	212	462,0	1235	330,2	9,1
G-37	339,1	65	95,0	240	49,8	4,0

4.2.1 Sulfatos (SO_4^{2-})

Os sulfatos são espécies químicas iônicas, de valência ou estado de oxidação 2-, que se originam a partir do ácido sulfúrico, tratando-se de um átomo de enxofre central ligado a quatro átomos de oxigênio por meio de ligações covalentes, de fórmula molecular SO_4^{2-} . A maioria dos sais de sulfatos é solúvel, exceções feitas ao sulfato de cálcio (CaSO_4), sulfato de estrôncio (SrSO_4) e sulfato de bário (BaSO_4). No processo de solubilidade do sal de um sulfato está envolvido a sua dissociação aquosa, ou seja, a ligação química, de natureza iônica, existente entre o(s) átomo(s) metálico(s) (cátions) e o sulfato (ânion), que é quebrada, e o composto então é dissociado em seus íons; solubilizado. Entretanto, as ligações covalentes existentes entre o átomo de enxofre e os quatro átomos de oxigênio não apresentam interação com a água, de modo que permanecem intactas. Entre os principais sais de sulfatos esta o o sulfato de cálcio (CaSO_4) encontrado na natureza de forma anidra, denominada anidrita e na forma de dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), denominada gipsita, que pode originar, por aquecimento controlado, o hemihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ou $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, que é denominado gesso comum e tem a faculdade de absorver água, produzindo novamente o dihidrato, que é sólido. Forma, assim, um produto capaz de ser moldado e que se constitui na primeira massa plástica conhecida pelos químicos.

Sulfatos compõem um dos mais abundantes agrupamentos de íons em águas naturais originando-se, sobretudo a partir da oxidação da MO, ou da alteração de sulfetos/sulfatos das rochas, em processos supergênicos (KRAUSKOPF & BIRD, 1995). Entretanto, desde o início da era industrial, importantes influxos de SO_2 vêm sendo antropogenicamente despejados na atmosfera, principalmente através da combustão de combustíveis fósseis (ANDREWS et al., 1996).

Os íons sulfato são encontrados em mananciais hídricos, na forma de sais de sódio e cálcio, e em efluentes provenientes principalmente de atividades industriais que incluem (entre outras) a mineração e a indústria têxtil. Na indústria mineral, elevados teores de íons sulfato são descartados na forma de águas efluentes após o processamento de minérios como: Barita (BaSO_4), Epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sulfetos metálicos (cobre, ferro e molibdênio, principalmente), e o carvão

Para abastecimento público, as concentrações de sulfato em águas devem ser controladas porque podem provocar efeitos laxativos (PIVELI, 2005), de modo que o padrão de potabilidade determinado pela Portaria 1.469 do MS/Brasil fixa seus limites em 250 mg/L. Acima deste padrão (como sulfato de sódio) já conferem sabor desagradável para

águas e, em níveis superiores a 600 ppm (como sulfato de magnésio), constituem um purgativo vigoroso para seres humanos. As consequências fisiológicas resultantes da ingestão de grandes quantidades de sulfato incluem desidratação e irritação gastrointestinal.

Os íons sulfato apresentam problemas (entre outros) além de saúde (distúrbios gastrointestinais e do trato respiratório), causa ainda corrosão e de acidificação de solos. Diversas técnicas vêm sendo utilizadas para a remoção dos íons sulfato baseadas em processos biológicos de redução, de adsorção, troca-iônica, precipitação química de sais de cálcio e bário e osmose reversa (INAP, 2003).

O sulfato presente em água doce associado a íons de cálcio e magnésio promove dureza permanente na água podendo ser um indicativo de poluição em fase de decomposição de matéria orgânica além disso altas concentrações prejudicam a resistência de concretos (RICHTER, 2009)

Em águas naturais, concentrações em sulfatos variam, em geral, entre 2 a 80 mg/L (MEYBECK et al., 1992). Ainda segundo este autor, em águas de abastecimento industrial, as concentrações dos sulfatos provocam incrustações em caldeiras e trocadores de calor, além de corrosões em coletores de esgoto produzidos em concreto. Adicionalmente, ocorre geração de gás sulfídrico, que possui um específico odor desagradável e, inclusive, efeitos tóxicos para seres humanos. Em águas tratadas, pode ser residualmente proveniente do emprego de coagulantes como o sulfato de alumínio. Nas águas de superfície, sulfatos podem ser originados a partir de descargas de esgotos domésticos, em função da degradação de proteínas, assim como a partir de efluentes industriais (indústrias de celulose e papel, química, farmacêutica, etc.).

Considerando-se os resultados químicos das águas analisadas (vide tabela 9), previsíveis impactos antropogênicos estão evidenciados através das concentrações anômalas de sulfatos em águas de superfície ou de subsuperfície. Águas de superfície, ou de subsuperfície, vicinais a unidades industriais produtoras de gesso e subprodutos (Figuras 26 e 26), mostraram invariavelmente $\text{SO}_4^- > 100 \text{ mg/L}$ no período chuvoso e no período de estiagem $\text{SO}_4^- > 200 \text{ mg/L}$. As águas do riacho Moraes, ou de seu sistema de drenagem, passantes na área urbana de Araripina, apresentaram SO_4^- com concentrações independente de sazonalidade de 165,6 mg/L a 243 mg/L. Os poços subterrâneos, distanciados dos focos de produção de gesso e seus derivados, mostraram sistematicamente concentrações de $\text{SO}_4^- < 100 \text{ mg/L}$.



Figura 25. Barragem do Estado (estações G-1 e G-1B), margem norte, vizinhança da zona urbana de Araripina e de pequenos focos de produção de placas de gesso. Local receptor de efluentes domésticos e também de resíduos (\downarrow) decorrentes de produção de placas de gesso. Teor de sulfato nas águas da estação de amostragem G-1 (SO_4^- Chuvas = 813,8 mg/L e SO_4 Verão = 744 mg/L) (ARRUDA, 2011).

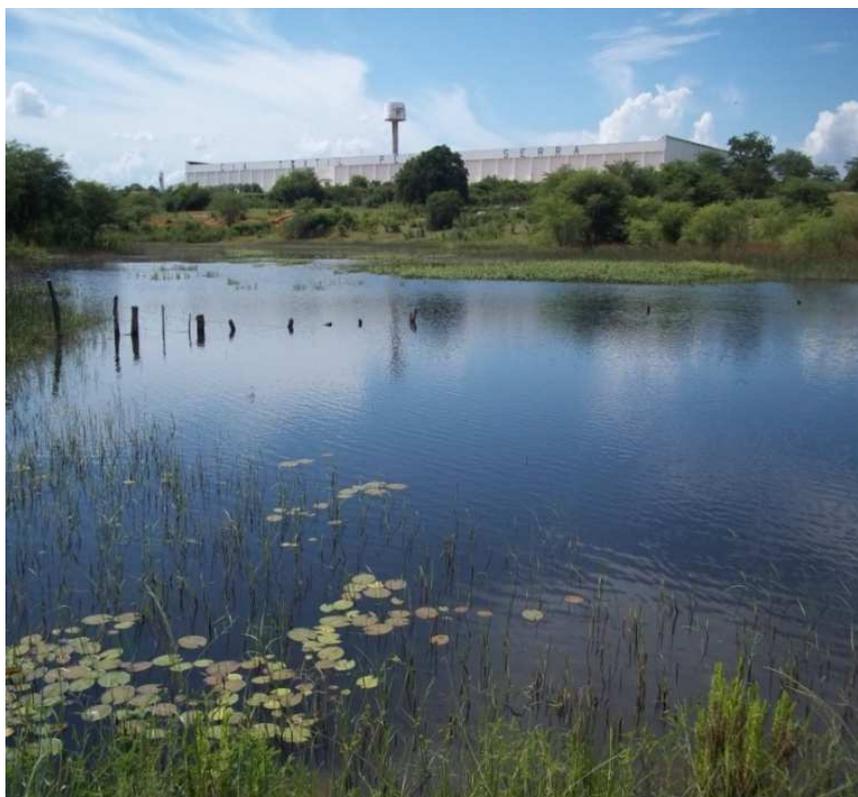


Figura 26. Barragem da Indústria Têxtil Artesa, no curso de afluente do riacho Moraes, com cabeceiras na zona urbana de Araripina. Concentração de sulfatos nas águas da estação de amostragem G-15 = 413,8 mg/L. Em período de estiagem secou por completo (ARRUDA, 2011).

A repercussão de concentrações mais elevadas em SO_4^- em águas de superfície foi cotejada com amostragem de sedimentos superficiais de fundo. Os dados analíticos (rever tabelas 8 e 9) referem-se a sedimentos de corpos d'água da área de estudo e de outros, provenientes de áreas vicinais da mesma região de Araripina. Os resultados mostraram correlação expressiva ($R = 0,69$) entre concentrações de enxofre nos sedimentos (S) e de SO_4^- nas águas dos ambientes correspondentes. Efetivamente, e quase sem exceção, ambientes aquáticos fortemente contaminados em SO_4^- ($> 400 \text{ mg/L}$) apresentam teores mais altos em enxofre ($S > 0,1\%$) em sedimentos de fundo.

Em águas represadas, no âmbito do halo de dispersão de poeiras sulfáticas, observa-se um notável aumento nas concentrações de sulfato no meio aquoso (Figura 27), durante estiagem prolongada. Fazem exceção: o referencial da estação 24 (Estação do IPA), distanciada do polo gesseiro; a barragem do estado (G-1); o poço de perfuração adjacente a indústria de gesso (G-33) e um pequeno tributário do riacho Morais (G-37), também fora do halo de dispersão de poeiras de gesso. No primeiro e último casos, as razões são óbvias; no segundo caso por diluição de constantes influxos urbanos; e no terceiro em razão da deficiência de infiltração de água de superfície, alimentando o aquífero, por escassez de chuvas.

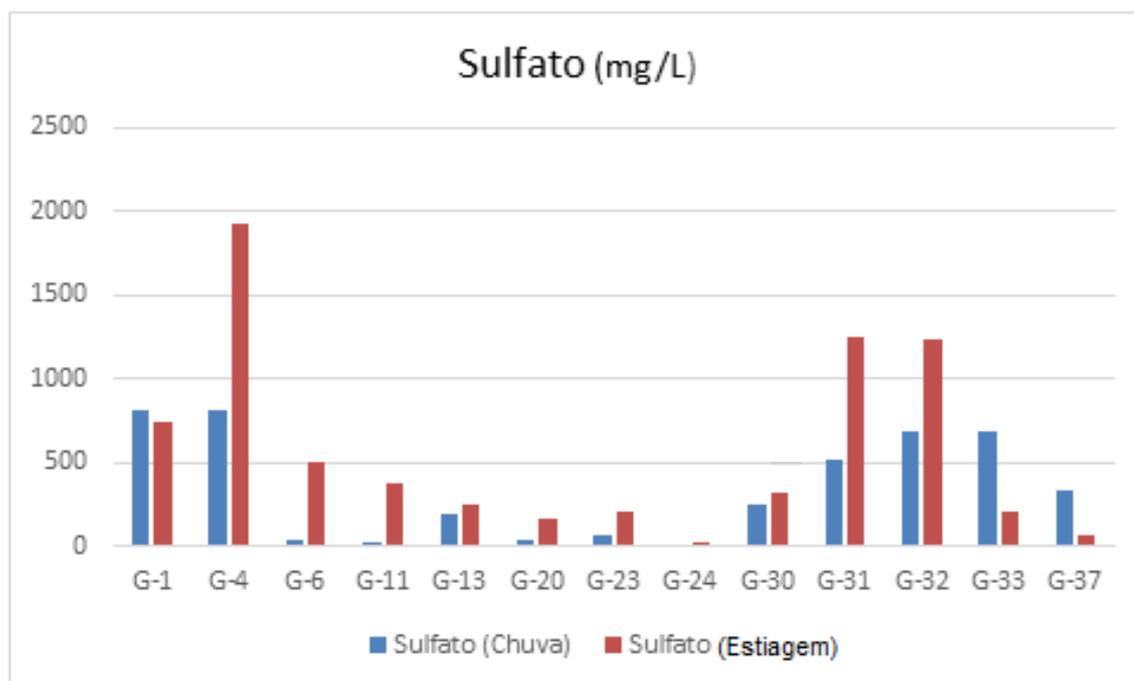


Figura 27. Comparação entre concentrações de sulfato entre período de chuva e de estiagem prolongada, em águas represadas, no município de Araripina – PE.

No que concerne o halo de dispersão das contaminações de poeiras sulfáticas, considerando-se suas acumulações como sulfatos dissolvidos nos ambientes aquosos, algumas constatações foram colocadas em evidência. Neste sentido, em condições de estação de chuvas, considerou-se arbitrariamente um limiar de $\text{SO}_4^{2-} \leq 100 \text{ mg/L}$ separando-se os valores regionais que podem ser interpretados como litogênicos (ou geogênicos) daqueles anômalos ou de influência antropogênica: $\text{SO}_4^{2-} \geq 200 \text{ mg/L}$ (Figura 28). Finalmente, foi destacado um outro limiar para determinar ambientes inquestionavelmente impactados por contaminações sulfáticas: $\text{SO}_4^{2-} \geq 500 \text{ mg/L}$. A disposição espacial dos limites de influência, particularmente a partir do padrão de $\text{SO}_4^{2-} \geq 100 \text{ mg/L}$, mostra uma conformação elipsoidal alongada SE-NW, em conformidade com as direções predominantes dos ventos, e tendo suas origens sempre relacionadas a focos de produção de gesso ou de seus artefatos. Considerando-se critérios semelhantes, observa-se que no período de estiagem, nos mesmos ambientes (quando não secos) as concentrações chegam a ultrapassar 1000 mg/L (Figura 29), e a alcançar o valor de 1930 mg/L (rever tabela 10).

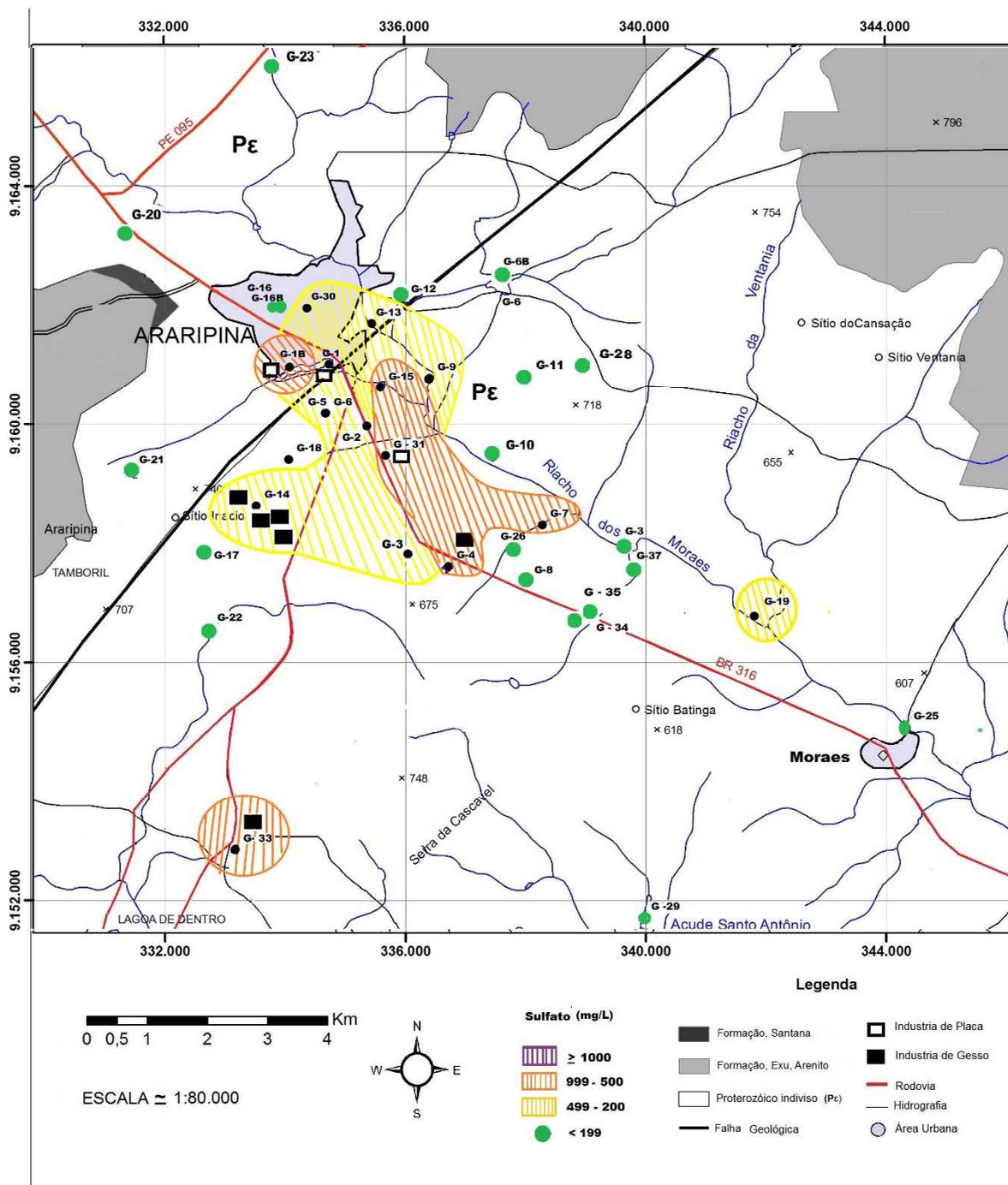


Figura 28. Zoneamento de áreas de influência em período de chuva dos halos de dispersão atmosférica de poeira/efluentes de gesso, resultando em anomalias de SO_4^{2-} em águas de superfície/subsuperfície na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2011).

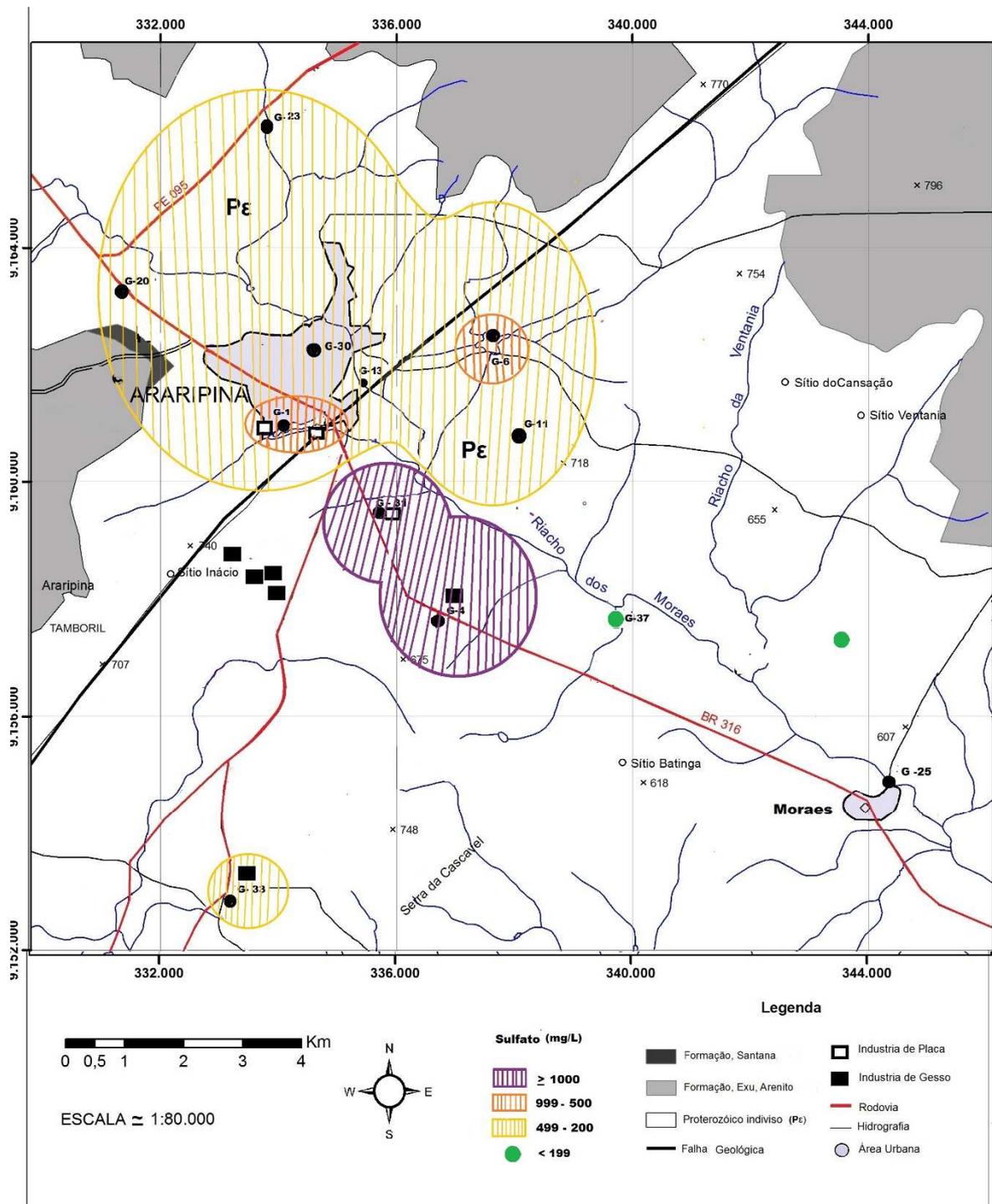


Figura 29. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em sulfato (mg/L) no período de estiagem prolongada, na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2015).

Considerando-se os dados de Kemper et al.(1975), Colombani & Bert (2007) e outros, o destino de particulados sulfáticos quando imersos em ambientes aquáticos habituais é o de serem submetidos a uma franca dissolução. Devido à alta reatividade do gesso, pode-se considerar que seus particulados sedimentados em solos e vegetação dificilmente chegarão aos ambientes de represamento d'água como sólidos em suspensão. Finalmente, dado ao comportamento conservativo do SO_4^- (e também dos cloretos), a expectativa seria a de que os corpos d'água assim contaminados acumulariam suas concentrações ano após ano, sobretudo através de influxos sucessivos de águas pluviais. Entretanto, a constatação mais notável é que o halo de dispersão da contaminação de sulfato, situada na área industrial/urbana de Araripina é alongada SE-NW, com aproximadamente 6 km de extensão em período de chuvas, porém consideravelmente maior (aproximadamente 15 km) e muito mais regionalmente abrangente, em condições de estiagem prolongada. Esta expansão se deve, certamente, que em períodos chuvosos não há condições de acumular muita poeira de gesso sobre os solos, porque logo é carregada em águas de escoamento superficial, gerando influxos diluídos. Em períodos de estiagem prolongada qualquer chuva forte acidental carrega uma concentração comparativamente maior em sulfatos dissolvidos conseguindo, desta forma, provocar concentrações anormais em ambientes aquosos assim não caracterizados em período chuvoso.

4.2.2. Cloretos

Com exceção de halogenetos em sequências evaporíticas, a litologia crustal é muito pobre em cloro. Além disto, halogenetos formam rochas pouco abundantes na litosfera (WARREN, 1989) e habitualmente só preservadas se confinadas em subsuperfície. Concentrações médias máximas de Cl^- são constatadas em sedimentos marinhos profundos: 2,1 % e as litologias comuns na litosfera apresentam concentrações médias ≤ 200 ppm (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961). Concentrações em cloretos em águas doces são normalmente < 10 mg/L, e por vezes < 2 mg/L (MEYBECK et al., 1992). Em áreas adjacentes ao oceano, as chuvas podem conter até algumas dezenas de mg/L em cloretos, mas tais concentrações decrescem rapidamente no sentido do interior do continente.

Em águas continentais, os cloretos geralmente provêm da dissolução de minerais, ou de avanços de marés marinhas (preamar, em estuários), ou de chuvas a partir da condensação do *spray* marinho (faixas litorâneas), ou ainda por vadose de águas oceânicas em sedimentos costeiros. Antropicamente, podem também advir dos esgotos domésticos ou industriais, ou

de drenos de irrigação, possuindo em geral em altas concentrações (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992), conferindo sabor salgado à água ou propriedades laxativas.

Algumas águas contendo cloretos >250 mg/L podem ter um gosto salgado detectável, se o cátion for Na^+ . Por outro lado, o gosto salgado típico pode não ser percebido em águas contendo cloretos > 1000 mg/L, quando os cátions predominantes são Ca^{++} e Mg^{++} . Em função de repercussões na circulação sanguínea dos seres humanos, a resolução CONAMA (2005) n° 357/05, sob recomendações da OMS, estabelece o limite máximo 250 mg/L para cloretos em águas enquadradas como da classe 2.

As concentrações de cloretos nas águas de superfície e de subsuperfície da região estudada (tabelas 9 e 10) mostra uma distribuição em duas famílias: uma com valores abaixo de 250 mg/L, e uma outra com concentrações maiores que 250 mg/L. A primeira comporta unicamente águas de açudes, incluindo substancialmente resultados que estariam na expectativa de padrões habituais de *background* de águas continentais. A segunda reúne as condições em que a interferência antrópica resulta em contaminações dos sistemas hídricos: barragens (amostragens G-1, G-1B e G-15); drenagem do riacho Moraes, comprometida com descarte de efluentes urbanos; águas de subsuperfície em área urbana ou nas proximidades de indústrias de produção de gesso; ou ainda o caso de ressurgência em cava de mineração de gipsita.

A análise comparativa da sazonalidade das concentrações de cloretos nos corpos hídricos mostrou um aumento considerável em período de estiagem prolongada (Figuras 30, 31 e 32). É o caso, por exemplo, das águas do riacho Moraes, e de toda sua drenagem com conexões com o perímetro de Araripina, cujas descargas de efluentes domésticos o passaram de intermitente a perene. Uma drenagem tributária testada (G-37), fora deste perímetro não apresentou concentração anômala.

A amostra de poço G-30, no interior do perímetro de hospital foi a que apresentou a maior concentração em cloretos: 3300 mg/L, provavelmente proveniente dos produtos de limpeza (organoclorados), cotidianamente utilizados em unidades de saúde.

Algumas amostras dentro de áreas de lavra de gipsita também mostraram concentrações elevadas em cloretos: G-31, G-32 e G-33, alcançando, durante a estiagem valores em torno de 3.000 mg/L. Nestes casos são perfurações de poços próximos a locais de produção de gesso onde, durante a estação de chuvas as fontes de recarga não são exclusivas, enquanto na estação de estiagem prolongada dependem substancialmente de infiltração (chuvas ocasionais) local. Isto não só afeta a concentração de cloretos como de

sulfatos, uma vez que o minério sempre apresenta valores de Na_2O em análises convencionais do minério.

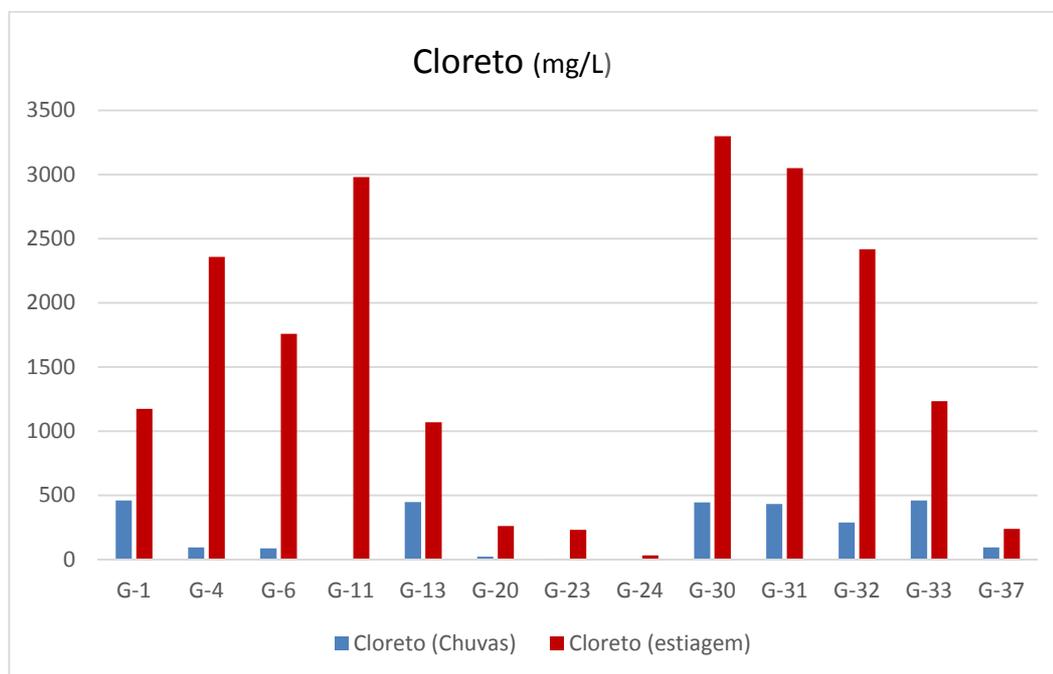


Figura 30. Comparação de concentrações do cloreto entre os períodos chuvoso e de estiagem prolongada, no município de Araripina – PE.

A distribuição espacial dos casos de contaminação em cloretos (aqui considerados aqueles com concentrações >200 mg/L), envolvendo corpos d'água represados, águas do riacho Moraes e águas de subsuperfície (Figura 27), revela uma configuração similar àquela que reúne os casos de contaminação em SO_4^{2-} . Neste domínio se incluem as amostras G-31, G-32 e G-33, que são provenientes de áreas de lavra de gipsita, onde não ocorre contaminação de organoclorados de origem antrópica. Esta circunstância aponta para a presença acessória de Na_2O (análises inéditas de minério de gipsita, disponíveis em acervo pessoal do orientador) e, por extensão à possibilidade de microinclusões de halita (NaCl) nas gipsitas, como admitido por Borchert & Muir (1964), e que seriam preservadas no gesso, após calcinação. Tanto gipsita quanto halita, enquanto sais, são muito solúveis, podendo ser carregados solubilizados em águas de escoamento superficial ou em águas infiltradas para os aquíferos.

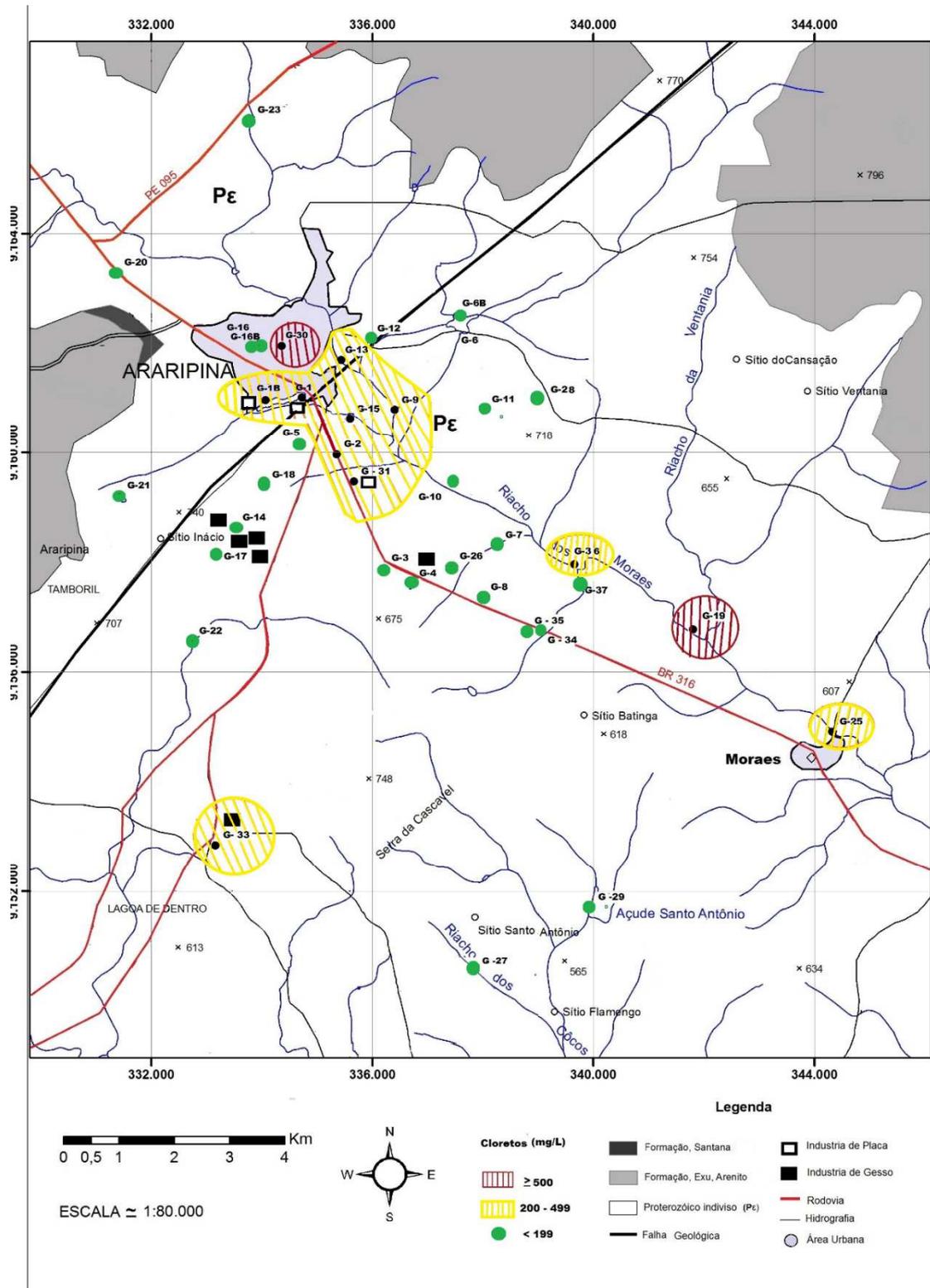


Figura 31. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em cloretos(mg/L) no período chuvoso, na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2011).

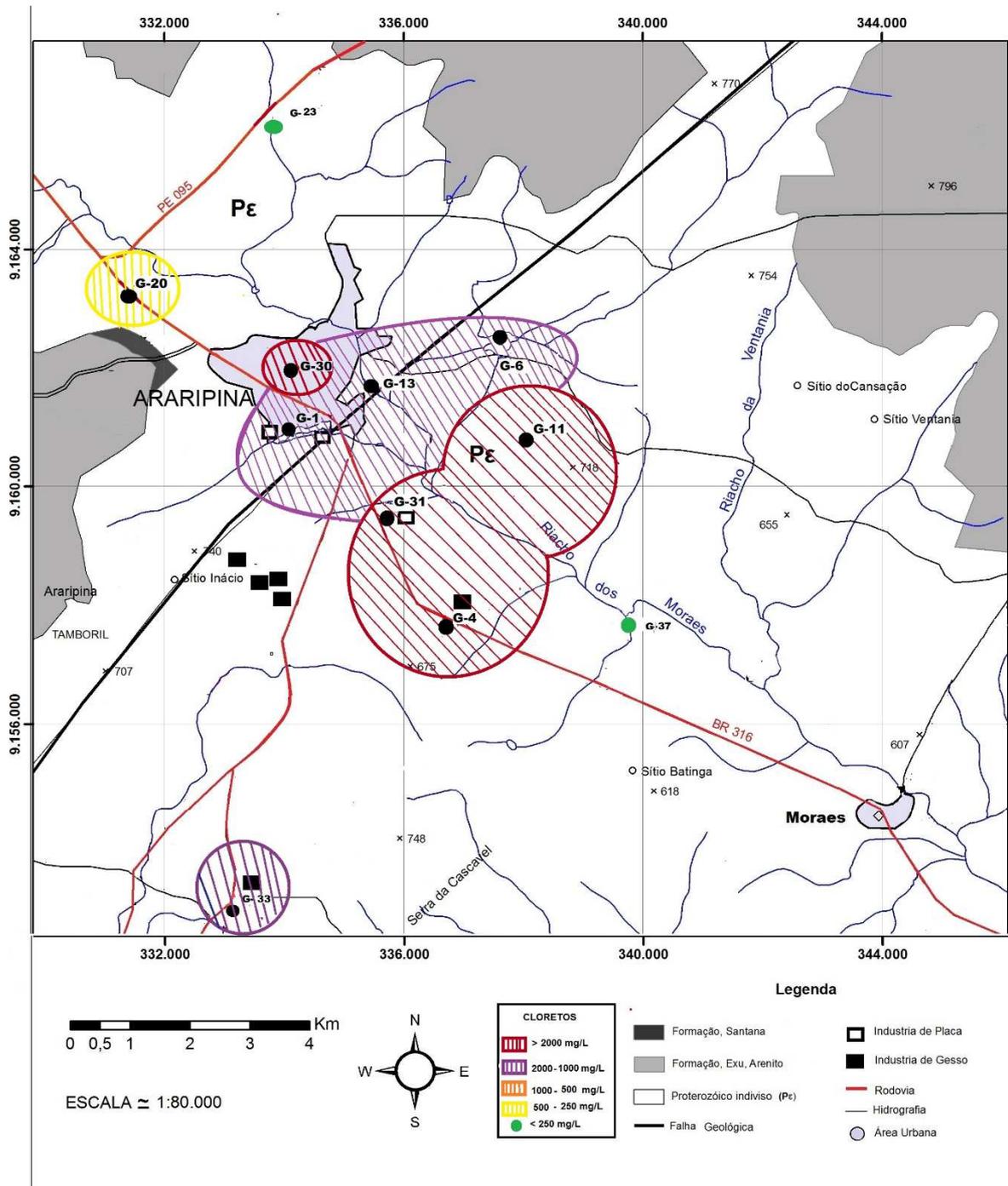


Figura 32. Zoneamento de áreas de influência reunindo águas de superfície e de subsuperfície e suas concentrações em cloretos(mg/L) no período de estiagem, na área de estudo, região de Araripina-PE (ARRUDA, 2015).

4.2.3. Bicarbonatos

Bicarbonatos são sais que contêm o ânion HCO_3^- , sendo resultantes de uma reação de salificação parcial. Como são derivados de um ácido fraco, os bicarbonatos têm caráter básico e, nos ambientes naturais, se encontram em equilíbrio com carbonatos, água e CO_2 . Este equilíbrio intervém em muitos processos naturais e artificiais. Em meio aquoso, os bicarbonatos se hidrolisam, produzindo uma base mais forte.

Em águas naturais os bicarbonatos são formados principalmente a partir das águas pluviométricas, que contêm H_2CO_3 diluído, formado a partir do CO_2 existente na atmosfera. Em outras circunstâncias podem ser produzidos a partir da alteração de litologias carbonáticas, que são relativamente pouco frequentes em regiões emersas da crosta terrestre. Calcários cristalinos não ocorrem na área estudada.

A distribuição das concentrações em bicarbonatos no período chuvoso mostra casos de águas de superfície e de subsuperfície, na área de estudos, mostraram uma repartição que separa açudes/barragens das demais condições hídricas. Corpos d'água represados, não adjacentes de domínios de forte urbanização, apresentam em geral concentrações em bicarbonatos <200 mg/L. Em contrapartida, águas do riacho Moraes, ou de subsuperfície (poços), ou de ressurgência, apresentam concentrações em bicarbonatos >200 mg/L. Maiores concentrações em bicarbonatos em águas de subsuperfície apenas confirmam que a principal recarga destes aquíferos são efetivamente as águas pluviais, ainda que estas águas possam ser poluídas por SO_4^- e/ou cloretos (poeira ou efluentes de gesso), antes que infiltração atinja o nível freático.

Os principais fatores que influem na alcalinidade são os bicarbonatos e carbonatos, e hidróxidos de cálcio. A alcalinidade de bicarbonatos (e carbonatos) é equivalente à dureza. Dureza de uma água é a medida da sua capacidade de “cortar” o sabão, isto é, transformá-lo em complexos insolúveis, dificultando a formação de espuma até que o processo de seu uso se esgote. São quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio.

Ao contrário do que ocorre no caso de outros sais, os bicarbonatos assumem proporções mínimas nas águas durante períodos de estiagem prolongada, e atingem valores significativamente maiores durante a estação de chuvas (Figura 33), no caso com máximo de 12,4 mg/L. Duas razões podem aí ser invocadas: falta de chuvas, onde o ácido carbônico

diluído tem participação importante, e o fato que os bicarbonatos são sais com maior assimilação (*uptake*) pela biota.

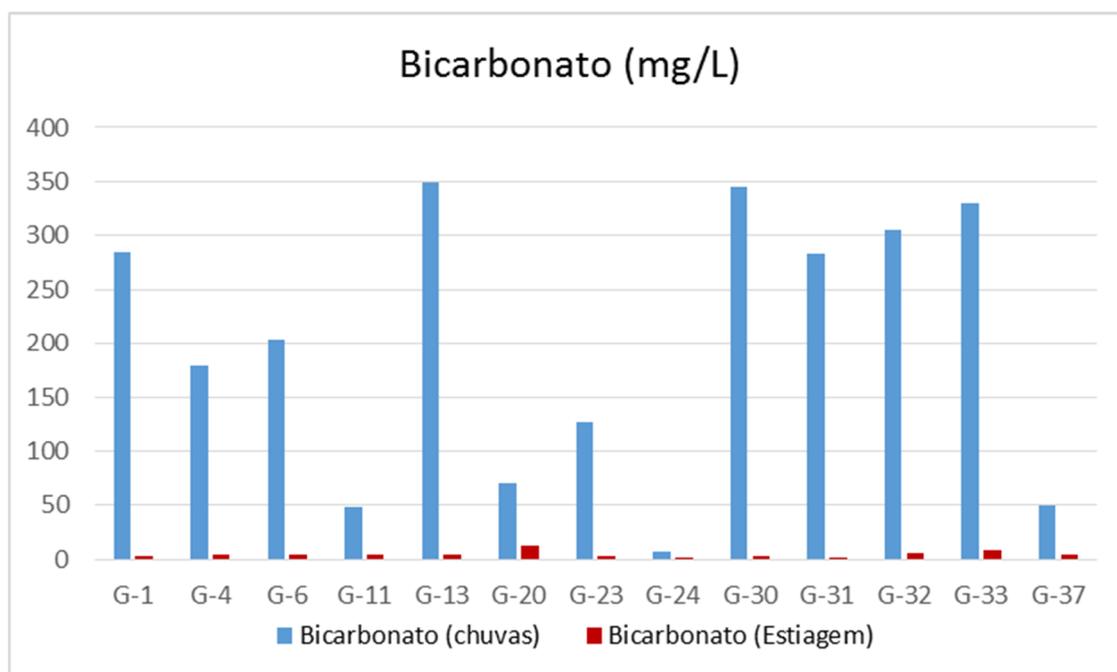


Figura 33. Comparação das concentrações de bicarbonatos em águas represadas, nos períodos de chuvas e de estiagem prolongada, no município de Araripina – PE.

5 CONCLUSÕES

A produção de gesso, mesmo com a utilização de filtros de manga, produz contaminações em sulfato sob a forma de dispersão de poeira fina deste produto; esta contaminação, de granulometria muito fina ($<40 \mu\text{m}$) é justamente a mais susceptível de não ser suficientemente retida pelas defesas do trato respiratório superior, resultando na reconhecida incidência de doenças deste tipo na região de Araripina.

A pluma de dispersão desta contaminação pode ser delineada por concentrações pouco comuns em águas continentais, arbitrariamente estipuladas em 200 mg/L (limiar de contaminação do CONAMA: 250 mg/L). Esta pluma de dispersão é orientada segundo a direção predominante do ventos (SE-NW), tendo um alongamento de 6 Km no período de chuvas, mas alcançando 15Km em período de estiagem prolongada (2 anos). De uma forma geral, há mais incidência de internações relativas a complicações respiratórias durante as estações secas.

Vários corpos de represamento d'água apresentaram contaminações em sulfato >250 mg/L mesmo em estação de chuvas, e inclusive > 500 mg/L (limite para dessedentação animal). Em estiagem prolongada, por diminuição do solvente e por permanente alimentação em poeira sulfática, os teores aumentaram, nas mesmas estações de amostragem, e sob os critérios de amostragem, entre 5 até 10x. Nestas condições, as práticas de uso das águas sem monitoramento, representam um risco não estudado de consequências fisiológicas. Também se constatou teores anômalos em sulfatos em poços subterrâneos estudados, vicinais a indústria de gesso e seus derivados.

Anomalias em cloretos (> 200 mg/L) também foram constatadas, associadamente às anomalias em sulfatos, sendo consequência de teores residuais originários em sódio presentes nas gipsitas regionais. Anomalias em cloretos desvinculadas das de sulfatos, ou francamente dominantes, foram encontradas no Riacho dos Moraes e em poço tubular do Hospital Maternidade Santa Maria, e se interpreta com resultado de emprego de produtos clorados e/ou com participação de sódio, habitualmente aí utilizados para limpeza e/ou cuidados sanitários.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE J.L., 2002. Diagnóstico Ambiental e Questões Estratégicas: Uma Análise Considerando o Pólo Gesseiro do Sertão do Araripe – Estado de Pernambuco. Curitiba, *Univ. Fed. Paraná*, Tese, 185 p.

ANA, 2010. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Brasília, *Ag. Nac. Águas-ANA*. Disponível em <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>> Acessado em: 20 de junho 2011.

ANDREWS J.E., BRIMBLECOMBE P., JICKELLS T.D, LISS P.S., 1996. An introduction to Environmental Chemistry. London, *Blackwell Sci.*, 198 p.

ANTHONY DRAKE, 2008. *The Papaguayo Wind*. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center.

APHA, 2001. Standard methods for examination of water and wastewater. Washington, *Amer. Public Health Assoc. – A. P. H. A.*, Chap. 1, p. 34-38

ARAÚJO S.M.S., 2004. O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração. Campinas, *UNICAMP*, Tese Dout., 278 p.

ARAÚJO S.M.S., PAULA M.V.S., SILVA M.P., 1992. Bacia do Rio da Brígida: Possibilidades e limitações de uso dos recursos naturais. Recife, *DCG/CFCH/UFPE*, Rel. discipl. Geomorf. Aplicada, 8 p. (inédito).

ASSINE M.L., 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Rev. brasil. Geoc.*, 22(3):298-300.

ASSINE, M. L. (2007). Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2), 371-389.

BAIRD C., 2002. Química ambiental. Porto Alegre, *Ed.Bookman*, 650 p.

BARRETO M.R., 2001. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro, *CETEM/MCT*, 215 p.

BOYER K & LEWIS M., 2002. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. *Production and Operations Management*, 1(11): 9-20.

BRAGA B., HESPANHOL I., CONEJO J.G.L., BARROS M.L., SPENCER M., PORTO M., NUCCINI., EIGER S., 2002. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo, *Prentice Hall*, 305 p.

BRANCO, S. M., 1999. Eossistêmica: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. São Paulo, *Edit. Edgard Blücher*, 141 p.

BRAITSCH O., 1971. Salt deposits – their origin and composition. Berlin, *Springer Verlag*, 297 p.

BRAINER M. S. C. P., VIDAL M. F., FERREIRA O. P., NAHUZ M. A. R. 2011. Manejo florestal: uma possibilidade de parceria entre calcinadores e apicultores na chapada do araripe (PE). *ETENA*, Informe Rural.

BRASIL, 1975. Decreto-Lei nº 1.413 de 14 de agosto de 1975. Brasília, Presidência da República, disponível em <<http://www.camara.gov.br>>. Acessado em: 20 de junho 2011.

BOUCINHAS, J. F. da C. 1995. Caracterização da Bacia do Alto Tietê e sua Situação quanto ao Saneamento Básico. In: TAUKTORNISIELO, S. M. et al. (Org.) *Análise Ambiental: estratégias e ações*. São Paulo: T. A Queiroz, Fundação Salim Farah Maluf.

CAGED, 2012. Relação Anual de Informações Sociais/Cadastro Geral de Empregados e Desempregados. Brasília, *Ministério do Trabalho e Emprego – MTE*. Disponível em <<http://www.caged.gov.br>>. Acessado em 6/11/2014.

CARMELLO, QUIRINO A.C. & ROSSI F., 1997. “Hidroponia – Solução Nutritiva” – Manual. Viçosa–MG, *CPT*, 56 p.

CHAPMAN D. & KIMSTACH V., 1992. Selection of water quality variables. *In: An introduction to water quality: Water quality assessments*; D. Chapman (Edit.). London, *Chapman & Hall*, p. 51-119.

CHESTER R., 2000. *Marine Geochemistry*. London, *Blackwell Sci.*, 491 p.

COLOMBANI J. & BERT J., 2007. Holographic interferometry study of the dissolution and diffusion of gypsum in water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71: 1913-1920.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece classificação 113 para águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. DOU, Brasília – DF, de 30 de julho de 1986.

CONAMA, 2005. Resolução N° 357 de 17/03/2005. Brasília, *Cons. Nac. Meio Ambiente – CONAMA*. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acessado em 6/11/2015.

CORBETT C. & VAN WASSENHOVEL, 1993. Trade-offs? What's trade-offs? Competence and competitiveness in manufacturing strategy. *California Management Review*, p. 107-122.

CPRH, 2000. Licenciamento e fiscalização no Estado de Pernambuco: Procedimentos. Recife, Comp. Pernambucana de Meio Ambiente - CPRH, 77 p. Disponível em <<http://www.cprh.pe.gov.br/home>>. Acessado em: 8 de nov. 2011.

DEER W.A., HOWIE R.A., ZUSSMAN J., 1992. An introduction to the rock forming minerals. London, *Longman Ed.*, 696 p. (2nd ed.).

EMBRAPA, 2000. Mapa Exploratório-Reconhecimento de Solos do Município de Araripina, PE. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1:100.000.

EMBRAPA, 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2 edição. Rio de Janeiro; Brasília, 306p.

FARIAS L.C.E. e SILVA D.A., 2007. Apoio Técnico e Institucional para o desenvolvimento do Programa Florestal da Chapada do Araripe em Pernambuco. Produto 2 - Diagnóstico. Curitiba/PR, *Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná*, publ. técn., 181 p. (Inéd.).

FELLENBERG G., 1997. Introdução aos problemas da poluição ambiental. São Paulo, *E.P.U./EDUSP*, p. 28 - 61.

IBAMA, 2010. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília, *Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis* (IBAMA), 96 p.

INAP, International Network for Acid Prevention. Treatment of Sulphate in Mine Effluents. Technical report. October. Available in

INGERSOLL C.G., MacDONALD D.D., WANG N., CRANE J.L., FIELD L.J., HAVERLAND P.S., KEMBLE N.E., LINDSKOOG R.A., SEVERN C., SMORONG D.E., 2001. Predictions of sediment toxicity using consensus based freshwater sediment quality guidelines. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 41: 8-21.

JENNING N., 1999. Al crecer la pequeña minería en los países em desarrollo. Aumentan los riesgos para la salud y la seguridad de mineros , mujeres y niños. *In: Información Pública. Organización Internacional del Trabajo. Comunicados de prensa OIT 99-10*, disponível em: <<http://www.ilo.org/public/spanish/index.html>> Acesso em: 17/10/2012.

JETSTREAM, 2008. "*Origin of Wind*". National Weather Service Southern Region Headquarters.

KEMPER W.D., OLSEN J., Mooy C.J., 1975. Dissolution rate of gypsum in flowing water. *Soil Sci. Soc. America*, 39(3): 458-463.

KRAUSKOPF K.B. & BIRD D.K., 1995. Introduction to Geochemistry. New York, *McGraw-Hill*, 637 p. (3th ed.).

LIMA T.M.S., 2009. Contribuição ao estudo das condições hidroquímicas do rio São Domingos (rio Igarassu), Estado de Pernambuco, Brasil. Olinda, *FUNESO*, Monografia de Spec., 54 p.

LYRA SOBRINHO A.C.P., AMARAL A.J.R., DANTAS J.O.C., DANTAS J.R.A., 1990. Perfil analítico da Gipsita. Recife, *DNPM-IV Distr.*, 19 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/.../gipsita>>. Acessado em 2010.

LYRA SOBRINHO A.C.P., AMARAL A.J.R., DANTAS J.R.A., 2001. Balanço Mineral Brasileiro. Brasília, *DNPM*, 22 p. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp>. Acesso em 06/11/2011.

MARTINS, L.K.P., 2001. Evidência de toxicidade em sedimentos associados à indústria petrolífera :uso de biomarcadores. Salvador, *UFBA*, Diss. Mestrado, 151p.

MARTINS C.R., PEREIRA P.A.P., LOPES W.A., ANDRADE J.B., 2003. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. *Química Nova/Cad. Temát.: Química, Vida e Ambiente*, p. 4-28.

MEDEIROS M.S., 2003. Poluição Ambiental por Exposição à Poeira de Gesso: Impactos na Saúde da População. Recife, *Centro Pesquisas Ageu Magalhães*, Diss. Mestrado, 56 p.

MELO M. L., 1988. Áreas de Exceção da Paraíba e dos Sertões de Pernambuco. Recife, *SUDENE*, Série Estudos Regionais 19, 321 p.

MENOR E.A., 1995. Projeto Gipsita – Etapa I. Recife, *DNPM-IV Distr.*, Rel. Técn. 214 59/C, 42 p. (inéd.).

MEYBECK M., FRIEDRICH G., THOMAS R., CHAPMAN D., 1992. An introduction to water quality. In: Water quality assessments: A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring; D. Chapman (Ed.). London, *Chapman & Hall*, p. 241-320

MILARÉ É., 2001. Direito do Ambiente: doutrina, prática, jurisprudência, glossário. São Paulo, *Revista dos Tribunais*, 783 p.

MOTA, S. & AQUINO, M. D. 2001. Gestão Ambiental. In: CAMPOS, N. & STUDART, T. (Orgs.) Gestão das Águas: princípios e práticas. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 111-127.

MIRWALD P.W., 2008. Experimental study of the dehydration reactions gypsum-bassanite and bassanite-anhydrite at high pressure: indication of anomalous behavior of H₂O at high pressure in the temperature range of 50-300 degrees C. *Jour. Chem. Phys.*, 128(7)

MMA, 1997. Diretrizes ambientais para o setor mineral. Brasília, MMA, 56 p. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 12 de nov. 2011.

NEUMANN V.H. e CABRERA L., 1999. Uma nuevapropuesta estratigráfica para la tectonosecuencia pos-rifte de la cuenca de Araripe, _Noreste de Brasil. In: Bol. V Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e I Simpósio sobre o Cretáceo de América del Sur. Rio Claro (SP), *UNESP- Instituto de Geociências e Ciências Exatas*, p. 279-285.

PARFENOFF A., POMEROL C., TOURENQ J., 1970. Les minéraux en grains: méthodes d'étude et determinations. Paris, *Masson & Cie.*, 561 p.

PERES L., BENACHOUR M., SANTOS V.A., 2001. O Gesso: produção e utilização na construção civil. Recife, *Ed. Bagaçu*, 156 p.

PERNAMBUCO. Secretaria Estadual de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente.(SECTMA). Política Estadual de Controle da Desertificação, Recife, 1995. Disponível em <<http://www.desert.org.br>>. Acesso em 12 nov. 2011.

PIVELIR P. e KATO M.T., 2005. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo, *ABES*, v. 01, 285 p.

PONTES B.M.S., 2009. Elementos diagnósticos físico-químicos da bacia hidrográfica do rio Paratibe, litoral norte do Estado de Pernambuco. Olinda, *FUNESO*, Monogr. Espec., 43 p.

PORTO M. F. A., Branco S. M., Luca S. J., 1991. Caracterização da qualidade de água. *In: S.M. BRANCO: Hidrologia Ambiental. São Paulo, Editora Universidade de São Paulo / ABRH, cap. 2, p. 27-66.*

RAJU K.U.G. & ATKINSON G., 1990. The thermodynamics of scale mineral solubilities 3. Calcium sulfate in aqueous NaCl. *Jour. Chem. Engineering, 35: 361-367.*

REBOUÇAS A. C., 2002. Água Doce no Mundo e no Brasil. *In: A. REBOUÇAS, B. BRAGA, J. TUNDISI (Orgs.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo, Escrituras Editora. p. 01-37, 2ª Ed.*

RICHTER, Carlos A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Edgard Blücher. 2009. 1 ed. 352 p.

SANTOS M.A.V. e SARDOU R., 1996. Diagnóstico das atividades econômicas do Pólo Gesseiro do Araripe. Recife, *SECTMA/SEBRAE*, Rel. técnico, 31 p. (Inéd.).

SANTOS A. M. A., 2001. O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho. São Paulo: *Fundacentro*, Rel. técnico, 96 p. (Inéd.)

SECTMA-PE e GEOPHOTO, 2005. Polo gesso de Pernambuco: diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe. Recife, *Gov. PE/SECTMA*. Disponível em: <<http://www.sectma.pe.gov.br>> acessado em 30 de Nov. 2011.

SILVA E.C., NOGUEIRA R.J.M.C., AZEVEDO Neto A.D., 2004. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. Recife, UFRPE, *Iheringia*, 59(2): p. 201-205.

SOBRAL M.C.M., 1997. Impactos ambientais da exploração do gesso na Microrregião de Araripina. Recife, *Anais Gypsum Fair'97*, p. 66-70.

TOMMASI L.R., 1994. Estudo de Impacto Ambiental. São Paulo, *CETESB*, 354 p.

TUNDISI T.M. & TUNDISI J.G., 2008. *Limnologia*. São Paulo, *Oficina de Textos*, 632 p.

TUREKIAN K.K. & WEDEPOHL K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. America Bull.*, 72: 175-192.

USEPA, 1997. National Recommended Water Quality Criteria. Washington, United States Environmental Protection Agency, 14 p.

VON SPERLING M.V., 1996. Princípios do tratamento biológico de águas residuais. *In*: Vol 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte, *DESA/UFMG*, 243 p.

VON SPERLING, M.V., 2000. Proposição de modelos para a estimativa da remoção de coliformes em lagoas de estabilização com base em dados de 33 lagoas brasileiras. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 5(4):133-152.

WARREN J.K., 1980. *Evaporite sedimentology*. New Jersey, *Prentice Hall*, 250 p.