



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para a Obtenção do Grau de Licenciatura em Química Marinha

**ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO POR NITRATO E COLIFORMES NAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA SEDE DE MUCUPIA, DISTRITO DE
INHASSUNGE.**

Autor:

Fernando Francisco Cachepe Fernando

Quelimane, Novembro de 2017



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia apresentada à Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras da Universidade Eduardo Mondlane como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do grau de Licenciado em Química Marinha.

ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO POR NITRATO E COLIFORMES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA SEDE DE MUCUPIA, DISTRITO DE INHASSUNGE.

Autor:

Fernando F.C. Fernando

Supervisora:

Doutora Valera Dias

Quelimane, Novembro de 2017

Dedicatória

O trabalho é dedicado:

- A Nita Alberto Damião (minha Mãe);
- A Franca Francisco Cachepe (minha irmã).

Agradecimentos

Ao Senhor meu Deus pela vida e por ter dado seu filho unigénito por me, e por ter-me dado força, saúde, inteligência e tempo para realização deste trabalho.

A minha Mãe e irmã que nunca deixaram de acreditar em mim, sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir em frente, por mostrar-me a força na esperança, fortaleza na oração e na Fé. Meu amor e minha eterna gratidão a vocês, meus grandes tesouros. Amo vocês.

A Prof.^a Dr.^a Valera Dias, pela orientação. Obrigado pela paciência de ter-me orientado na concretização deste trabalho, pelo apoio imenso ao longo da jornada, no sentido de transmissão dos seus ensinamento e ideais com dedicação e notáveis cuidados. Que Deus a Abençoe grandiosamente.

A todos representantes do corpo docentes e a todos trabalhadores da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras (ESCMC).

Ao meu tio Damião Alberto e meus avos pelo suporte e atenção durante estes longos anos e nos momentos mais difíceis.

Aos meus colegas e irmãos na fé Silva Mariceta, Domingos João, Plínio Novela pelo apoio, suporte, companheirismo na jornada académica e religiosa. Vocês são uma bênção.

Aos meus colegas: Alberto Roda, Abacar, Raimundo e o Vicente que ajudaram-me de diversas maneiras, possibilitando a conclusão deste trabalho. Agradeço a turma de Química Marinha e toda ESCMC, pela convivência durante esta caminhada.

E por fim agradeço a todos que directa e indirectamente contribuíram para o sucesso da minha formação.

Certificado

O abaixo-assinado certifica que ela leu e recomenda para aceitação pela Universidade Eduardo Mondlane uma dissertação intitulada: Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge, em cumprimento dos requisitos para obtenção do grau de Licenciado em Química Marinha.

Doutora Valera Dias

Supervisora

Quelimane, Novembro de 2017

Declaração de honra

Declaro por minha honra que este trabalho é resultado da minha pesquisa, o seu conteúdo é original e todas as fontes estão referenciadas no texto e na bibliografia. De referir que o trabalho nunca foi apresentado na sua essência para a obtenção de qualquer grau académico.

Quelimane, Novembro de 2017

O autor

(Fernando Francisco Cachepe Fernando)

Resumo

O Posto Administrativo de Mucupia, capital do Distrito de Inhassunge apresenta uma população local que possui com único tipo de sistema de abastecimento que é por meio de poços tubulares e poços rasos, sem rede colectora de esgoto, usando o sistema de saneamento in situ. O presente trabalho consiste em um estudo da avaliação do nível de contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas por sistema de saneamento “in situ” na região. Foram cadastrados na área 17 poços (9 tubulares e 8 cacimbas), mas, para as análises de parâmetros indicadores de contaminação, foram colectadas amostras de água em 10 poços (6 tubulares e 4 rasos). As concentrações de nitrato e amónio foram determinadas por um fotómetro portátil, para análise bacteriológicas foi usado o método da contagem de bactérias através do uso de placas de Petrifilm. A maior concentração de nitrato foi de 12 mg/L, onde 60% das águas dos poços amostrados apresentaram níveis de indício de contaminação por nitrato. As análises bacteriológicas efectuadas nos poços indicaram maior contaminação por coliformes fecais nos poços rasos (55%) em relação aos poços tubulares (45%), em relação a contaminação por *E. coli* foram encontrados em números elevados nos poços raso (81%) em relação aos poços tubulares (19%). Os resultados obtidos de amónio, pH e a temperatura não atingiram valores máximos estabelecidos pelo MISAU (2004). Concluiu-se neste trabalho que, as águas dos poços não apresentaram concentrações elevadas de nitrato, os poços rasos foram os mais afectados pela presença de bactérias do grupo coliforme, portanto, para minimizar a contaminação das águas subterrâneas recomenda-se o estabelecimento de normas de construção de poços de exploração de água, assim como de fossas e latrinas, a implantação de sistemas alternativos de tratamento de esgoto e recomenda-se também a orientar as populações na região desinfectar a água.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, Sistemas de saneamento “in situ”, contaminação, nitrato, coliformes.

Abstrat

The Mucupia Administrative Post, capital of the Inhassunge District, has a local population that has only one type of supply system, which is through tubular wells and shallow wells, without sewage collection system, using the in situ sanitation system. The present work consists of a study of the evaluation of the level of contamination by nitrate and coliforms in groundwater by in situ sanitation system in the region. 17 wells (9 tubular and 8 cacimbas) were registered in the area, but water samples were collected in 10 wells (6 tubular and 4 shallow) for the analysis of contamination parameters. The concentrations of nitrate and ammonium were determined by a portable photometer, for bacteriological analysis the bacterial counting method was used through the use of Petrifilm plates. The highest nitrate concentration was 12 mg / L, where 60% of the waters of the wells sampled showed levels of evidence of nitrate contamination. The bacteriological analyzes carried out in the wells indicated higher contamination by fecal coliforms in the shallow wells (55%) in relation to the tubular wells (45%), in relation to contamination by *E. coli* were found in high numbers in the shallow wells (81%) in relation to tubular wells (19%). The results of ammonium, pH and temperature did not reach maximum values established by MISAU (2004). It was concluded that the wells did not present high concentrations of nitrate, the shallow wells were the most affected by the presence of bacteria of the coliform group, therefore, to minimize the contamination of the groundwater, it is recommended to establish construction of water exploration wells, as well as cesspits and latrines, the implementation of alternative sewage treatment systems and it is also recommended to guide the populations in the region to disinfect the water.

Keywords: Groundwater, in situ sanitation systems, contamination, nitrate, coliforms.

Lista de figuras

Figura 1. Esquema de funcionamento duma fossa séptica (Funasa, 2004)	7
Figura 2. Fossa séptica comum/latrina (Funasa, 2004)	8
Figura 3. Espécies químicas no ciclo do nitrogénio (Varnier, 2007)	9
Figura 4. Ciclo de nitrogénio (Muchimbane, 2010)	11
Figura 5. Equilíbrio amónio - amónia em função do pH (Fenzl, 1988)	15
Figura 6. Mapa de Moçambique e Distrito de Inhassunge (à esquerda) e a Sede de Mucupia (direita) (fonte: Google Earth, 2017)	20
Figura 7. Localização dos respectivos pontos de colectas de amostras de água na vila sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge (Fonte: Google Earth, 2017)	22
Figura 8. Garrafas de polietileno a esquerda e caixa térmica a direita	24
Figura 9. Variação da concentração de amónio em função dos poços	29
Figura 10. Variação dos valores de pH no período de amostragem	30
Figura 11. Variação de valores da temperatura no período da amostragem	31
Figura 12. Variação da concentração de nitrato em função dos poços	32

Listas de tabelas

Tabela 1. Limites Máximos Admissíveis para os padrões de potabilidade da água para consumo humano (MISAU, 2004)	19
Tabela 2. Localização dos pontos de colecta de água	22
Tabela 3. Ficha de cadastro de poços e fossas	23
Tabela 4 - Situação actual dos poços	27
Tabela 5. Situação actual das latrinas e fossas	28
Tabela 6. Resultados de análises bacteriológicas (coliformes fecais e <i>Escherichia coli</i>)	33

Nomenclatura

Abreviatura	Significado
ESCMC	Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
FIPAG	Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Agua
MISAU	Ministério da Saúde
NO ₃ ⁻	Nitrato (mg/L)
NH ₃	Amoníaco (mg/L)
NH ₄ ⁺	Amónio (mg/L)
pH	Potencial Hidrogeniónico
mg/L	Miligramama por litro
DP	Desvio padrão
eq.	Equação

Índice

CAPITULO I	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos	2
1.2. Geral.....	2
1.3. Específicos	2
1.4. Problematização.....	2
1.5. Justificativa	3
CAPITULO II.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Águas Subterrâneas.....	5
2.2. Sistemas de saneamento in situ.....	6
2.3. Geoquímica dos efluentes gerados nos sistemas de saneamento in situ.....	8
2.4. Poluição e Contaminação das Águas Subterrâneas	10
2.5. Nitrogénio	10
2.6. Nitrato na água.....	12
2.7. Solubilidade de nitratos.....	13
2.8. Amónio	14
2.9. Parâmetros físicos	15
2.10. Indicadores bacteriológicos de contaminação.....	16
2.11. Risco à Saúde Humana relacionado a Nitrato.....	17
2.12. Enquadramento legal de água	18
CAPITULO II.....	20
3. METODOLOGIA.....	20
3.1. Caracterização da área de estudo	20
3.2. Clima.....	21
3.3. Recursos Hídricos	21

3.4.	Geologia.....	21
3.5.	Ponto de amostragem.....	21
3.6.	Escolha dos Parâmetros	23
3.7.	Cadastro de Poços Tubulares e fossas na área de amostragem.....	23
3.8.	Colecta e amostragem da Água de Abastecimento.....	24
3.9.	Análise laboratorial.....	25
3.9.1.	Análise químicas	25
3.9.2.	Análise bacteriológica	25
3.10.	Processamento dos dados	26
CAPITULO III.....		27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1.	Cadastro de Poços rasos e Tubulares	27
4.2.	Cadastros de fossas e latrinas.....	28
4.3.	Parâmetros químicos-físicos	28
4.3.1.	Amónio.....	28
4.3.2.	pH.....	29
4.3.3.	Temperatura	30
4.4.	Nitrato nos poços de água tubular e raso	31
4.5.	Coliformes nos poços de águas rasos e tubulares	32
4.6.	Alternativas de minimizar riscos da contaminação das águas subterrâneas	34
4.6.1.	Latrina com fossa seca	34
4.6.2.	Fossa séptica mais filtro anaeróbio	34
CAPITULO IV.....		35
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	35
5.1.	Conclusões	35
5.2.	Recomendações.....	36
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente $\frac{3}{4}$ da superfície da Terra é coberta por água, razão pela qual foi apelidada de Planeta Água. Em termos percentuais, 97,6% da água do planeta é constituída pelos oceanos, mares e lagos de água salgada. A água doce, representada pelos 2,4% restantes, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos seres humanos pelos meios tecnológicos actuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas, que têm-se constituído em importante alternativa para abastecimento de comunidades rurais e urbanas, tanto para uso agrícola, quanto industrial (Capucci et al., 2001).

Apesar da crença popular, de que a água subterrânea está protegida contra as diversas formas de contaminação, os cientistas estão descobrindo poluição em aquíferos de todos os continentes, tanto nas proximidades das lavouras, quanto de fábricas e de cidades. O tempo médio de permanência da água nos depósitos subterrâneos é de 1.400 anos, contra apenas 16 dias para a água fluvial (Rebouças, 2003).

As águas subterrâneas cumprem uma função importante em inúmeros casos, vital para o fornecimento de água potável em muitas áreas urbanas e rurais no mundo (Muchimbane, 2010). A contaminação dos aquíferos está relacionada a inúmeras fontes antrópicas, dos quais se destacam os sistemas de saneamento in situ, (fossas negras e sépticas), vazamento de esgotos e resíduos sólidos (lixões e aterros sanitários). A alta densidade dessas fontes podem gerar um grande volume de carga contaminante poluidora para as águas subterrâneas (Foster & Hirata, 1988).

Em Moçambique, a falta de controle na utilização da água subterrânea dificulta a obtenção de estimativa isenta de erros significativos, mesmo assim, os dados disponíveis revelam que grande parte da população vive na área rural (61%), cuja principal fonte para abastecimento de água nessas zonas são os poços (WE CONSULT, 2005).

Constata-se que nos países em desenvolvimento, a maior parte das cidades não dispõe de esgotamento sanitário de rede colectora e estação de tratamento de esgoto. Em muitos casos, as áreas urbanas são atendidas parcialmente, e em áreas rurais praticamente não são atendidas.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

O sistema mais usual como consequência são as fossas sépticas e as latrinas (Muchimbane, 2010).

Na área de estudo as comunidades são abastecidas em 100% por águas subterrâneas, captadas no aquífero freático por poços rasos e tubulares, e se utilizam dos sistemas de saneamento “in situ” também em 100%.

O presente trabalho consiste em um estudo da influência de fossa e latrinas na contaminação das águas subterrâneas, com a finalidade de conhecer a influência de saneamento in situ no aumento da concentração de nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na região de Mucupia, distrito de Inhassunge- Zambézia.

1.1.Objectivos

1.2.Geral

- ✓ Avaliar o nível de contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas por sistema de saneamento “in situ” na sede da localidade de Mucupia.

1.3.Específicos

- ✓ Realizar o cadastro de fossas e poços (tubulares e rasos) na área do estudo;
- ✓ Determinar os parâmetros químico-físicos que influenciam na nas concentrações de nitrato e coliformes em poços de água.
- ✓ Determinar as concentrações de nitrato e coliformes em poços de água;
- ✓ Propor medidas de modo a minimizar os riscos de contaminação extensiva por nitrato e coliformes fecais aos recursos hídricos subterrâneos.

1.4.Problematização

Os sistemas de saneamento “in situ” (latrinas e fossas sépticas) são as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas em muitos países, principalmente por microrganismos patogénicos e compostos de nitrogénio (nitrato, nitrito e amónio). O nitrogénio dissolvido na forma de nitrato é o contaminante mais comum encontrado na água subterrânea (Muchimbane, 2010).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

O uso das fossas sépticas e latrinas próximas a lugares onde se tem instalados poços, aliado ao fato de existirem poços mal construídos, sem qualquer medida de protecção, constituem as principais fontes de poluição das águas subterrâneas no meio urbano, suburbano e rural. As águas contaminadas podem difundir doenças infecciosas ao Homem causadas por peptógenos como a febre tifóide e paratifóide, cólera, disenteria bacilar, hepatite e, por substâncias químicas (nitrato) como a methamoglobinemia e câncer (Muchimbane, 2010).

Os sistemas de saneamento “in situ”, são largamente utilizados na periferia do Posto Administrativo de Mucupia, onde a rede de esgoto não existe. Em termos de saúde ambiental, esta prática, típica das populações de baixa renda, é preocupante, visto constituir-se num risco de contaminação das águas subterrâneas por nutrientes (nitrato), microrganismos patogénicos e outros, que são consumidos por estas comunidades através de poços tubulares e rasos.

Foi escolhido o posto administrativo de Mucupia para o estudo, por ser o mais populoso e capital do Distrito de Inhassunge, sem água tratada e sem sistema de colecta e tratamento de esgoto doméstico.

1.5. Justificativa

As águas subterrâneas constituem importante fonte de abastecimento em recursos hídricos para a população local de Mucupia, funcionando como uma única fonte de abastecimento, seja por meio de poços rasos ou tubulares profundos consumindo estas águas nas inúmeras actividades humanas (comercial e mesmo doméstica).

A disposição ou lançamento inadequado de resíduos nos corpos de água ou no solo, ou mesmo a falta de manutenção e melhoria dos sistemas de saneamento podem acarretar a poluição das águas subterrâneas, alterando sua qualidade e tornando-as inadequadas para determinados usos (Muchimbane, 2010).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (Unicef et al., 1988), a interacção fossa/poço, problema crónico nos países em desenvolvimento, é responsável pela má qualidade de numerosos poços de abastecimento público e causa, em grande parte, pela alta taxa de mortalidade infantil.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Há uma nítida correlação entre sistemas de saneamento e a contaminação por nitrato e microorganismos patogénicos. Este problema é mais grave em áreas de grande densidade

populacional e de baixa renda, como favelas e conjuntos habitacionais sem abastecimento e esgotamento sanitário por rede pública, onde frequentemente a população emprega fossas sépticas ou negras como meio de eliminação de esgoto e pode eventualmente contaminar a própria água que consome (Foster & Hirata, 1988).

Como nos últimos anos o nível de nitrato nas fontes de água potável tem crescido em muitos países, a determinação quantitativa do analito em águas é fundamental para a saúde ambiental, prevenindo a contaminação dos usuários. Destacando-se que o MISAU prevê que, a máxima concentração permitida de nitrato, para consumo humano, em águas subterrâneas, é de 50mg/L (MISAU, 2004). Devido a isso se ressalta a importância de se trabalhar com a conscientização a respeito deste recurso natural, evidenciando que, sem efectivas mudanças comportamentais da sociedade, e sem a aplicação concreta da legislação e directrizes de protecção ambiental, dentro de poucas décadas a população estará sujeita a um verdadeiro colapso quanto à disponibilidade de água, o que poderá colocar em perigo até a sobrevivência da humanidade (Brasil, 2002).

Apesar de constituírem património da humanidade, as águas subterrâneas, ainda não recebem à devida atenção quanto à sua protecção para evitar a degradação de sua qualidade.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

CAPITULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Águas Subterrâneas

Entende - se por águas subterrâneas, as que, encontrando-se debaixo da superfície da terra, são ou podem ser afloradas por acção do homem. As medidas para a sua protecção, uso e aproveitamento poderão incluir as partes sólidas e líquidas dos aquíferos e, as zonas de protecção que sejam necessárias (Lei nº 16/91).

A água possuiu valor inestimável, sendo vital à manutenção dos ciclos biológicos, químicos e geológicos, mantendo os ecossistemas em equilíbrio e a existência de vida no planeta Terra (Capobianco, 2007). Recorda-se que a mesma é um recurso limitado e com valor económico, sendo que sua escassez pode ocorrer, tanto por condições climáticas, hidrológicas e hidrogeológicas, como por demanda excessiva. Sua importância abrange desde a sobrevivência humana, até o desenvolvimento de todas as actividades produtivas (Soares, 2004).

Até a década de 1970, acreditava-se que as águas subterrâneas estavam naturalmente protegidas da contaminação, pelas camadas de solo e de rochas. Entretanto, a partir de então, foram detectados traços da presença de contaminantes em águas subterrâneas, e diversos estudos foram sendo conduzidos no sentido de se avaliar sua segurança. Como bem descreve Tundisi (2003), a sociedade só percebeu a complexidade dos problemas ambientais a partir da última década do século XX, onde passou a ter uma percepção clara das interacções dos componentes dos ecossistemas, o que gerou acções internacionais, bem como, efectivas iniciativas nacionais, relacionadas ao controle da qualidade e gestão das águas.

Salienta-se ainda que, aproximadamente 97% da água doce, disponível para uso da humanidade, encontram-se no subsolo, na forma subterrânea, e mais da metade da água de abastecimento público no Brasil provém destas reservas. A crescente preferência pelo uso desses recursos hídricos se deve ao fato de que geralmente eles apresentam uma melhor qualidade e um menor custo (Geogoiás, 2002).

Segundo estimativas da UNESCO (1992), no período de 1970-1995 foram perfuradas no mundo cerca de 300 milhões de poços. Essas obras fornecem água subterrânea para o

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

abastecimento de mais de 50% da população do planeta e para irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares.

Com o grande comprometimento da qualidade das águas superficiais, o uso das águas subterrâneas, para abastecimento público, tornou-se uma opção assustadoramente crescente. O fato torna-se preocupante, tendo em vista a falsa premissa de que as águas subterrâneas, diferentemente das águas superficiais, estão protegidas de contaminação. Do ponto de vista quantitativo, o ciclo hidrológico recicla a água, porém do ponto de vista qualitativo não se pode dizer o mesmo. De certa forma, a água também é renovável, visto que, devolve-se ao solo ela suja e retira-se dele água limpa. Esta situação se deve em partes à ocupação de áreas menos providas de águas superficiais, como as regiões semiáridas. Assim como constitui uma forma de se obter água de melhor qualidade em regiões já poluídas e viabilizar grandes volumes para irrigação (Ayach et al., 2007).

2.2.Sistemas de saneamento in situ

Os sistemas de saneamento in situ são implantados em zonas onde geralmente a rede de esgotamento sanitário é nula ou insuficiente (zonas não planejadas, periferias das cidades), Nesses locais o uso de fossas negras e sépticas para a eliminação dos esgotos é comum e a sua manutenção precária pode constituir uma ameaça para a qualidade das águas subterrâneas (Wakida & Lerner, 2005).

Como alternativa de tratar o esgoto doméstico sem comprometer a qualidade das águas subterrâneas, a eficiência dos sistemas de saneamento “in situ” está relacionado à: características construtivas (características intrínsecas); propriedades do terreno onde eles estão instalados (características extrínsecas); manutenção dos sistemas e quantidade por unidade de área. A sua precariedade, na prática, traduz-se na disposição inadequada dos excretos humanos, muitas vezes directamente no aquífero (Muchimbane, 2010).

Segundo Cavalcanti (1996), existem vários tipos de instalações, que dispõem as excretas no próprio local de sua produção e podem ser classificadas basicamente em dois grupos: os sistemas do tipo úmido (utilizam o transporte hídrico) e os sistemas do tipo seco (dispensam um transporte hídrico), respectivamente.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Em função das características intrínsecas e extrínsecas, as instalações dos sistemas de saneamento “in situ” mais utilizadas são:

- Fossas sépticas - são câmaras fechadas com a finalidade de deter os dejectos domésticos, por um período de tempo estabelecido, de modo a permitir a decantação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos transformando-os bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis. Esse sistema na maioria das vezes requer o uso de água (figura 1).
- Fossa comum/latrina - compreende a casinha e o buraco escavado no solo, destinada a receber somente os excretos, ou seja, não dispõe de veiculação hídrica (figura 2). As fezes retidas no interior se decompõem ao longo do tempo pelo processo de digestão anaeróbia.

Segundo Philippi jr. (1992), A escavação da fossa comum negra não deve exceder 1,50 m do nível freático e deve ser localizada no mínimo a 15,0 m da distância dos suprimentos de água. Estes valores são somente indicativos, pois diferentes litologias terão diferentes condutividades hidráulicas e estes causarão diferentes tempos de trânsitos da carga contaminante (microrganismos e nutrientes) nas águas subterrâneas.

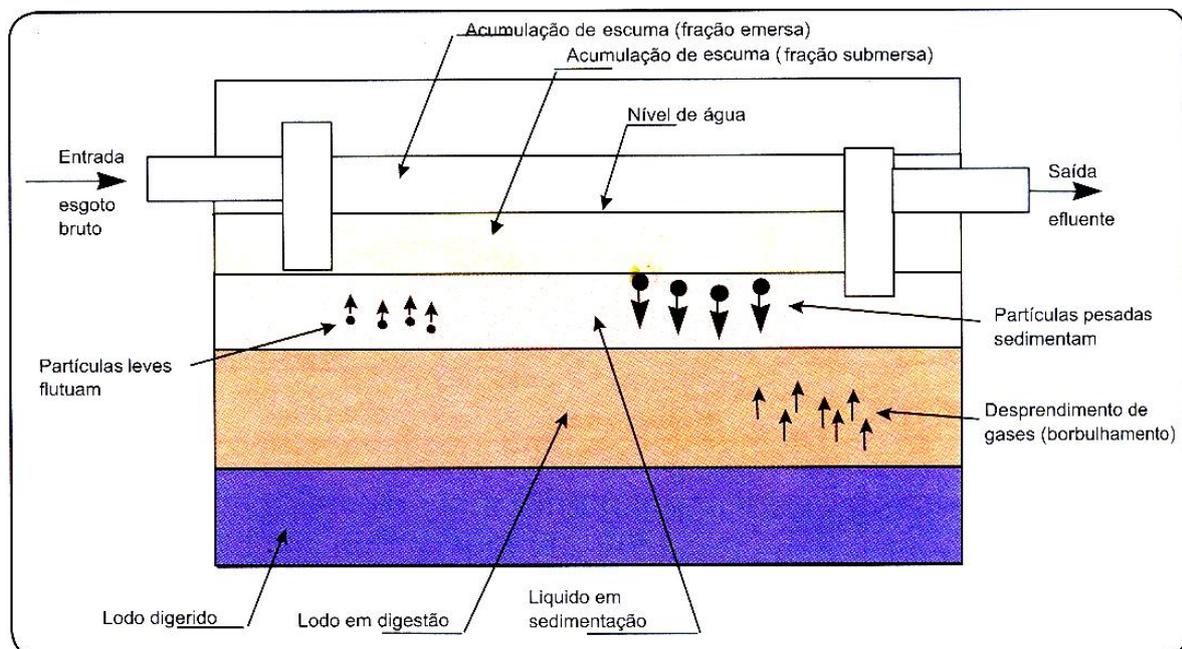


Figura 1. Esquema de funcionamento de uma fossa séptica (Funasa, 2004).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

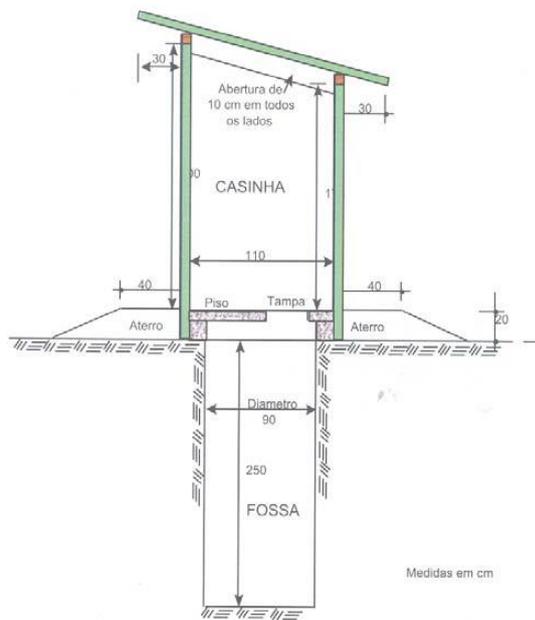


Figura 2. Fossa séptica comum/latrina (Funasa, 2004).

2.3. Geoquímica dos efluentes gerados nos sistemas de saneamento in situ.

Os sistemas de saneamento in situ (fossas negras e sépticas) recebem o efluente com uma carga contaminante que é uma mistura de nutrientes (nitrato e fosfato), sais, microorganismos patogênicos, como bactérias, vírus e nitrato, além de dejectos alimentícios (proteínas, carboidratos, gorduras) e dejectos humanos (com alta concentração de ureia). As proteínas e ureia constituem mais de 97% dos 20-70 mg/L do nitrogénio tipicamente encontrado nos esgotos (Wilhelm *et al.*, 1994).

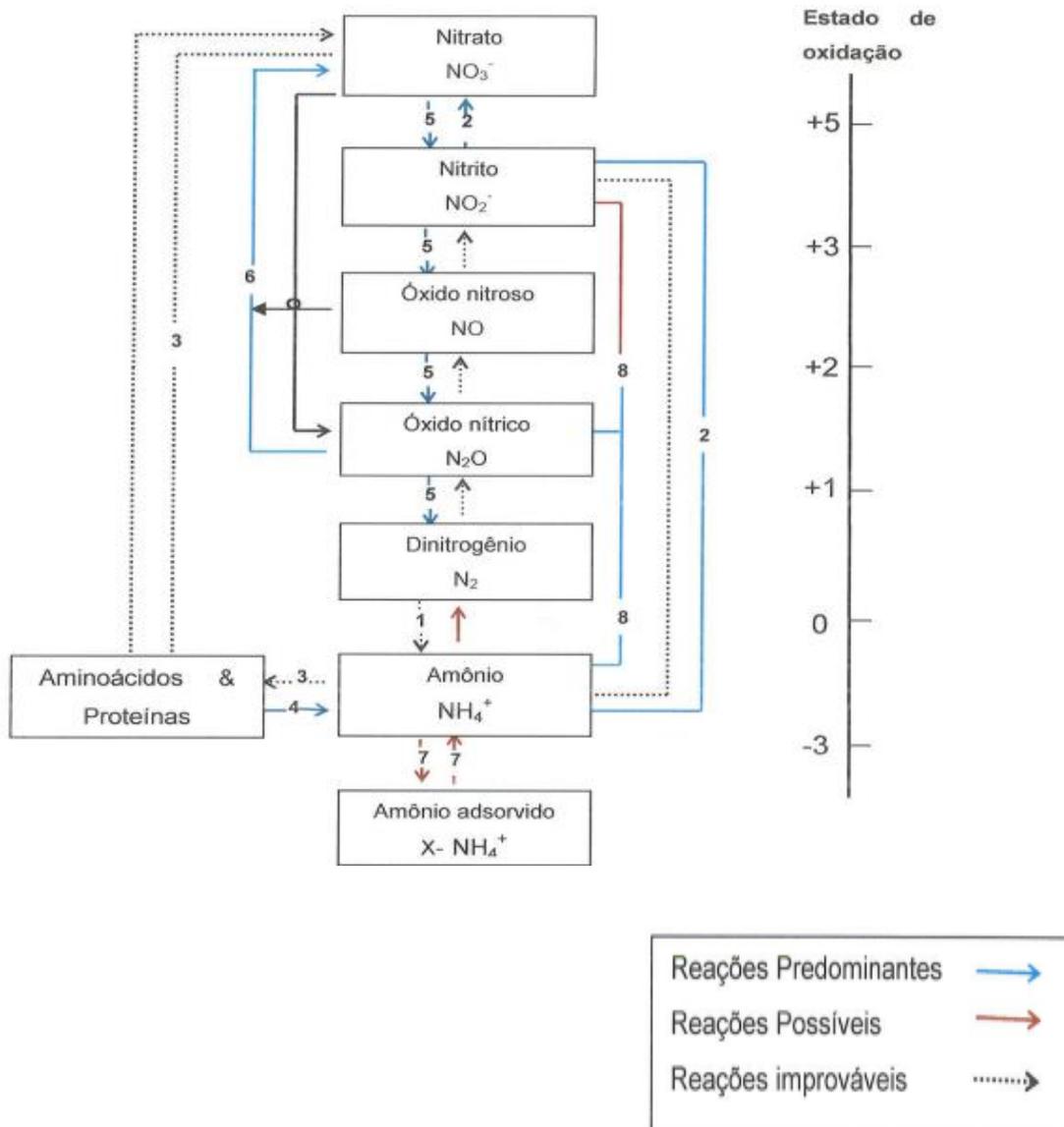
Varnier (2007), identificou uma série de processos químicos que nas zonas não saturada e saturada do aquífero, proveniente de uma fossa negra desactivada. Segundo a autora, destacam-se as principais reacções: i) oxidação da matéria orgânica, ii) amonificação, iii) nitrificação, iv) metanogénese e v) desnitrificação.

Ainda segundo Varnier (2007), no interior da fossa negra ocorrem os processos de transformação do nitrogénio, gerando reacções predominantes, possíveis e improváveis descritas na figura 3.

Tanto nas fossas negras como nas sépticas o processo de conversão da matéria orgânica é caracterizado pelas condições de baixas concentrações de oxigénio dissolvido. A digestão anaeróbica é mediada pela acção de microorganismos que usam aceptores de eléctrons como

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Carbono orgânico, H^+ e CO_2 para oxidar a matéria orgânica e produzir H_2 , CO_2 . A maior parte do nitrogênio é libertada pelas moléculas orgânicas na forma reduzida de amônio (Suhogusoff, 2010).



Reações

1. Fixação
2. Nitrificação
3. Assimilação pelas plantas
4. Mineralização*
5. Desnitrificação

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

6. Nitrato precipitado (como HNO_3)
7. Adsorção e desorção
8. Anamox*

*processos mediados por microorganismos

Figura 3. Espécies químicas no ciclo do nitrogénio (Varnier, 2007).

2.4. Poluição e Contaminação das Águas Subterrâneas

Quanto à questão de contaminação e poluição das águas, destaca-se o pensamento de Rosa Filho et al. (1998), que descreve que a contaminação seria toda a introdução sólida ou líquida, efectivada em um ambiente hidrológico, como resultado da actividade humana, e a poluição, estaria reservada a situações onde as concentrações de contaminantes atinjam níveis perigosos.

2.5. Nitrogénio

Ele ocorre na terra como o principal constituinte do ar (cerca de 78% em volume). Compostos inorgânicos do nitrogénio não são comumente encontrados como minerais, devido a sua grande solubilidade em água (Russell, 1994).

O nitrogénio dissolvido na forma de íon nitrato NO_3^- é um dos mais problemáticos e difundidos contaminantes dentre o vasto número de potenciais contaminantes das águas subterrâneas (Baird, 2002).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

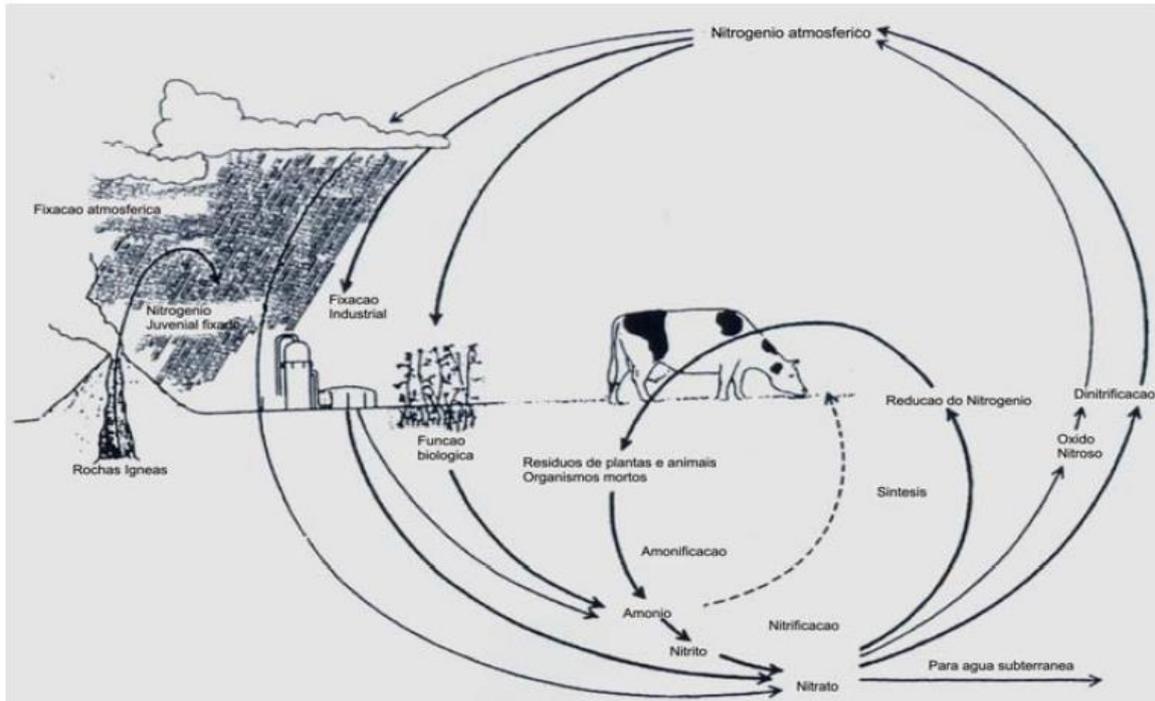


Figura 4. Ciclo de nitrogênio (Muchimbane, 2010).

O nitrogênio é encontrado em compostos orgânicos em todos os seres vivos, animais e plantas. Proteínas, por exemplo, são moléculas gigantes, cujas peças constituintes são compostos contendo nitrogênio chamados aminoácidos (Russell, 1994).

O nitrogênio dos vegetais, animais e esgotos passa por uma série de transformações. Nos vegetais e animais, o nitrogênio se encontra na forma orgânica. Ao chegar à água, ele é rapidamente transformado em nitrogênio amoniacal, que é, posteriormente, transformado em nitritos (ou nitrogênio nitroso) os quais, finalmente, chegam a nitratos (nitrogênio nítrico). Essas duas últimas transformações só ocorrem em águas que contenham bastante oxigênio dissolvido. Assim, se for encontrado muito nitrogênio amoniacal na água, isso significa que existem matérias orgânicas ou esgoto, em decomposição, e que o ambiente é, provavelmente, pobre em oxigênio. (Ayach, 2007).

Em algumas águas naturais, o nitrogênio ocorre em formas inorgânicas e orgânicas que são de interesse para a saúde humana. Existem formas importantes de nitrogênio do ponto de vista ambiental que se diferenciam no grau de oxidação do átomo de nitrogênio. As formas mais reduzidas são a amônia (NH_3), e seu ácido conjugado, o íon amônio (NH_4^+). A forma mais oxidada é o íon nitrato (NO_3^-), que existe em sais, soluções aquosas e no ácido nítrico (HNO_3).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

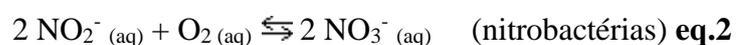
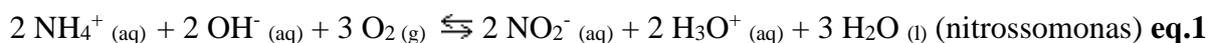
Em solução, as formas mais importantes entre esses extremos são o íon nitrito (NO_2^-), e o nitrogénio molecular (N_2) (Baird, 2002).

Os principais mecanismos de transporte responsáveis pelo movimento do nitrogénio no meio ambiente incluem precipitação, sedimentação em sistemas aquáticos, movimento das águas subterrâneas e superficiais e volatilização (figura 4). Estes mecanismos são controlados pela temperatura, pH, flora microbiológica, potencial de oxidação e redução, disponibilidade do substrato, nutrientes e oxigénio (Muchimbane, 2010).

2.6.Nitrato na água

A presença de nutrientes na água faz parte dos ciclos normais da natureza, sendo que para a maioria dos nutrientes vegetais, não têm sido relatado problemas em relação a níveis excessivos. O problema de contaminação fica restrito a alguns micronutrientes e, principalmente, aos macronutrientes como nitrogénio e fósforo. Das diversas formas de nitrogénio presentes no solo, à amónia (NH_3) e em especial o nitrato (NO_3^-), podem ser causas da perda de qualidade da água. Sendo que, a amónia quando presente na água é altamente letal aos peixes, pela toxicidade que representa para este grupo da fauna; quando originada no solo ou aplicada via fertilizantes essa molécula tende a ser convertida a amónio (NH_4^+) e este por sua vez é convertido a nitrato por meio de processos microbianos (Baird, 2002).

Os nitratos resultam da degradação microbiana de substâncias orgânicas nitrogenadas, como proteínas, a íons amónio (NH_4^+), os quais são biologicamente oxidados para nitratos através do processo de nitrificação, que ocorre em duas etapas:



As duas reacções são levadas a efeito por diferentes bactérias as nitrossomonas e as nitrobactérias. Ambos são organismos aeróbios. Algumas plantas e bactérias podem reduzir nitratos a nitritos, mas como o nitrito é facilmente oxidado para nitrato, a concentração de nitritos em águas superficiais é geralmente reduzida (geralmente inferior a 0,3 mg de nitrogénio nitrito/mL) (Cavalcanti, 1996).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

O processo de nitrificação ocorre normalmente na zona não saturada, onde são satisfeitas as condições de presença de matéria orgânica e oxigénio, em quantidades suficientes (Komor; Anderson, 1993).

O nitrato, segundo Canter; Knox (1988), também pode provir directamente do sistema de infiltração de efluentes, só que em pequenas quantidades, devido às condições anaeróbias presentes. Como os íons nitrato possuem carga negativa, eles não são atraídos pelas partículas do solo, ou seja, não são adsorvidos, sendo por isso mais móveis que os íons amónio, tanto na zona saturada, como na zona não saturada.

O nitrato é a forma mais oxidada do nitrogénio, e é formado durante os estágios finais da decomposição biológica, tanto em estações de tratamento de água, como em mananciais de água natural. Este íon geralmente ocorre em baixos teores nas águas superficiais, mas pode atingir altas concentrações em águas profundas (Baird, 2002).

Observa-se que a WHO (2005) e o MISAU (2004), prevê que a máxima concentração estabelecida de nitrato (NO_3^-), para consumo humano, em águas subterrâneas, é de até 50 mg/L (≈ 11 mg/L de $\text{NO}_3^- \text{N}$).

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém em águas poluídas os teores podem chegar a 1.000 mg/L. Níveis elevados de nitratos indicam ainda contaminação por disposição inadequada de dejectos humanos, industriais ou de indústrias alimentícias, além do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura (Baird, 2002).

Também concorrem outros factores tais como as condições ambientais do meio como as características físico-químicas (Temperatura, Eh e pH), conteúdo de matéria orgânica, variações climáticas e litológicas (Muchimbane, 2010).

2.7.Solubilidade de nitratos

Solubilidade, por definição, é a concentração de soluto dissolvido em um solvente em equilíbrio com o soluto não dissolvido à temperatura e pressão especificadas, ou seja, é a medida da quantidade máxima de soluto que pode ser dissolvida em um determinado solvente (Silva, 2004).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

O nitrato é um ião poliatômico que apresenta carga pequena, -1, e raio iônico de 165 pm. Essas características lhe conferem uma baixa entalpia de hidratação ($\Delta H^{\circ}_{\text{hid}} = -295 \text{ kJ mol}^{-1}$) e entropia relativamente elevada em água ($S^{\circ} = 146,7 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$).

Sais formados por cátions e ânions com tamanhos substancialmente diferentes são solúveis devido à baixa energia de rede. A solubilidade de sais em água também aumenta com o incremento do tamanho de cátions ou ânions, devido a uma variação de entropia mais favorável na solvatação. Entretanto, o efeito da carga do íon é mais importante que o efeito do tamanho. A entropia de íons pequenos hidratados é pouco favorável para a dissolução, especialmente se a carga é elevada. Sais formados por íons de carga baixa, geralmente, são solúveis (ex.: sais de metais alcalinos, de ClO_4^- , NO_3^- , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ e haletos). Existem poucos sais solúveis de ânions de carga elevada, a menos que estejam associados a cátions univalentes (Silva, 2004).

Os sais de ânions com relação carga/raio reduzida, como é o caso dos nitratos, mesmo combinados com cátions pequenos de carga elevada, são solúveis, uma vez que a variação de entropia resultante da solvatação do ânion, associada à entalpia de solvatação do sal, normalmente, é suficiente para compensar o aumento na energia de rede e diminuição de entropia na solvatação de cátions com relação carga/raio elevada (Silva, 2004).

2.8. Amónio

O transporte e o comportamento do amónio em subsuperfície pode envolver, adsorção, troca catiónica, incorporação em biomassa microbiana ou liberação à atmosfera em forma de gás. A adsorção é o principal processo que afecta o transporte do amónio no solo. Em geral há condições anaeróbias no solo logo abaixo do sistema de infiltração, o que faz com que os íons amónio carregados positivamente, sejam adsorvidos pelas partículas do solo com carga negativa. Depois que o solo atinge seu limite de adsorção, o amónio pode se movimentar através da zona não saturada (Cavalcanti, 1996).

A formação do íon amónio (NH_4^+) ou íon amónia (NH_3) depende do pH do meio, obedecendo a seguinte reacção:



Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Em condições ácidas e neutras o nitrogénio amoniacal é encontrado na forma de íon amónio (NH_4^+), enquanto em condições alcalinas o nitrogénio amoniacal é liberado na forma de gás amónia (NH_3) para a atmosfera (figura 5).

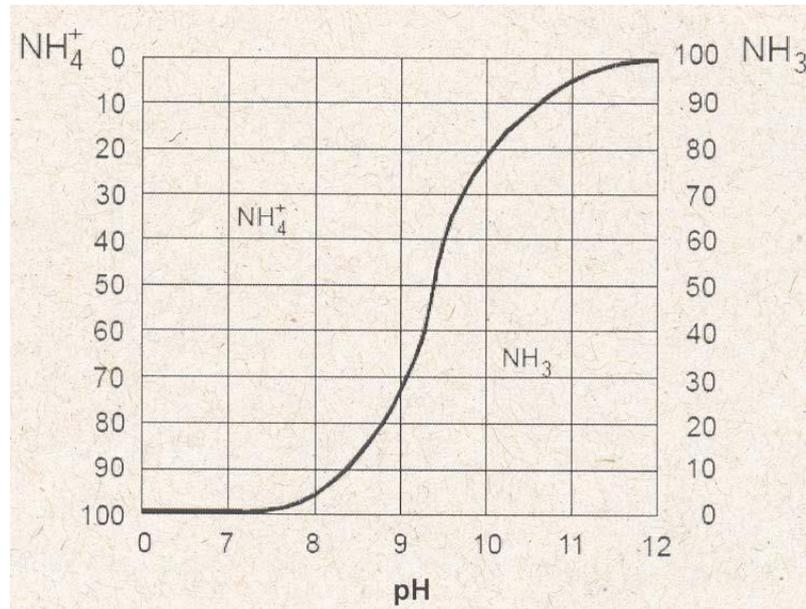


Figura 5. Equilíbrio amónio - amónia em função do pH (FENZL, 1988).

Em sistemas anaeróbios, de água subterrânea com nível freático pouco profundo, a migração de amónio (em vez de nitratos) pode ocasionar problemas locais (Foster et al., 1987). A ocorrência de amónio em águas subterrâneas, com teores superiores a 0,50 mg/L já indica contaminação (Custódilo; Llamas, 1976).

A presença de NH_4^+ em alguns poços indica que a contaminação pode ser recente, não tendo transcorrido tempo suficiente para sua oxidação. A presença de compostos de nitrogénio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiénico-sanitárias insatisfatórias (Baird, 2002).

2.9. Parâmetros físicos

Temperatura: é a medida da intensidade de calor. Sua elevação aumenta a taxa das reacções físicas, químicas e biológicas, diminui a solubilidade dos gases na água e aumenta a taxa de transferência de gases, podendo gerar odores desagradáveis, quando há gases que liberam esse tipo de cheiro (Von Sperling, 2005).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Nas águas subterrâneas a amplitude térmica anual geralmente é baixa (1 a 2°C) e não depende da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos pouco profundos, onde a temperatura da água subterrânea é um pouco superior à da superfície (Feitosa & Manoel Filho, 2000).

pH: é o termo utilizado mundialmente para expressar a intensidade da condição ácida ou alcalina de uma solução. É a forma de expressar a concentração de íons hidrogénio, ou mais precisamente, a actividade dos íons hidrogénio. Seu valor para água pura a 25°C é igual a 7,0 e varia entre 0,0 e 7,0, em meio ácido, e entre 7,0 e 14,0 em meio alcalino. Tem grande importância para o meio ambiente, porque muitas reacções químicas são intensamente afectadas pelo seu valor (Sawyer et al., 2003).

As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogénica (despejos domésticos e industriais). Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve estar situado normalmente entre 6 a 9.

Estudos indicam que quando o pH do solo for superior a 7,0, a fracção de bactérias e vírus retidos pelo solo diminui acentuadamente (WHO, 1998).

2.10. Indicadores bacteriológicos de contaminação

A maneira mais segura para verificar a qualidade sanitária da água é a pesquisa por organismos indicadores de contaminação fecal. Um bom indicador de contaminação deve atender aos seguintes requisitos (WHO, 1993): (i) devem estar presentes em grande número nas fezes de seres humanos e animais de sangue quente, (ii) facilmente detectáveis através de métodos simples, (iii) não devem crescer em águas naturais, e (iv) sua persistência em água e seu grau de remoção durante o tratamento da água devem ser semelhantes aos dos patógenos.

Apesar de serem predominantemente não patogénicos, esses organismos (coliformes totais, *E. coli* e bactérias heterotróficas) dão uma indicação de contaminação da água por material fecal (humano ou de animais), e, portanto, demonstram a potencialidade que a água tem em transmitir doenças.

Alguns dos indicadores de contaminação da água utilizados na presente pesquisa serão comentados a seguir:

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Coliformes totais: as bactérias do grupo coliforme são Gram-negativas, não formadoras de esporos, aeróbias ou anaeróbias facultativas, que fermentam lactose, produzindo ácido e gás (Brasil,2006a). As bactérias do grupo coliformes compreendem mais de 30 microrganismos taxonomicamente diferentes. Os géneros *E.coli* e *Enterobacter* estão entre os mais importantes do grupo (Vasconcelos et al., 2010).

No intestino humano e nos animais de sangue quente, as bactérias do grupo coliformes estão presentes, e são eliminadas nas fezes em números elevados (106 – 108/g) (Brasil, 2005).

Escherichia coli: a bactéria *Escherichia coli* é um membro da família Enterobacteriaceae, caracterizada por possuir as enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase. Cresce a temperatura de 44 a 45 °C, em meios complexos, fermenta lactose e manitol com produção de ácido e gás. É abundante em fezes humanas e de animais, onde pode atingir concentrações de 10⁹/grama de fezes frescas. É encontrada em esgotos, efluentes tratados, e todas as águas naturais e solos sujeitos à contaminação fecal recente, tanto dos seres humanos quanto de animais selvagens e aves. É o indicador de primeira escolha quando os recursos para exames microbiológicos são limitados (WHO, 1993), e o único que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal.

Mesmo em mananciais bem protegidos não se deve desconsiderar a presença de *E. coli*, pois no mínimo indicaria a contaminação por animais silvestres, que podem ser reservatórios de agentes patogénicos aos seres humanos (Brasil, 2006a).

2.11. Risco à Saúde Humana relacionado a Nitrato

A maior preocupação relacionada com o uso de águas subterrâneas com excesso de concentrações de nitrato nas águas subterrâneas está ligada aos efeitos na saúde humana. A toxicidade do nitrato para as pessoas está associada à redução do nitrato a nitrito. Esta reacção ocorre na saliva das pessoas de todas as idades e no tracto (região) gastrintestinal de bebés durante os seus três primeiros meses de vida (Canter, 1997).

O íon nitrato que é absorvido pelo sistema gastrintestinal reage com a hemoglobina, oxidando o ferro das suas moléculas e transformando-o de ferroso (Fe^{2+}) a férrico (Fe^{3+}). A toxicidade de nitrato tem sido demonstrada pelos efeitos cardiovascular e dilatação de vasos em níveis altos e methamoglobinemia em níveis baixo (Canter, 1997).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Methamoglobinemia é o efeito na qual a hemoglobina é oxidada para methamoglobina. Quando a quantidade de methamoglobina aumenta no sangue, os níveis de oxigénio diminuem. Os efeitos da methamoglobinemia são rapidamente reversíveis e não são cumulativos. Quando se combina o nitrato com a hemoglobina para formar methamoglobina, o resultado é a redução da capacidade de transportar oxigénio no sangue. Então, os bebés sofrem de anoxia celular e cianose clínica. Este fenómeno pode ocorrer em bebés quando aproximadamente 10% da hemoglobina total tenham sido convertidos para methamoglobina. Adicionalmente, outra preocupação relacionada à saúde pública é que muitos estudos mostraram que a ingestão de nitrato resulta em cancro de muitos órgãos (Muchimbane, 2010).

Vários estudos epidemiológicos têm indicado significativas correlações positivas entre a exposição do nitrato e o risco de cancro; por exemplo, o nitrato na água potável tem sido correlacionado com o risco de cancro gástrico na Colômbia e na Inglaterra; e está ligada à mortalidade por cancro gástrico no Chile por exposição dos fertilizantes contendo nitrito (Kleinjans, et al., 1991).

Recentemente, foi constatado um aumento no risco do aparecimento de linfoma do tipo não-Hodgkin em pessoas que bebem água com níveis elevados de nitrato em algumas comunidades de Nebraska (com média estabelecida a longo de 4 mg/L de nitrogénio na forma de nitrato (Baird, 2002).

2.12. Enquadramento legal de água

A Lei de Águas e os respectivos regulamentos, e a Política de Águas constituem instrumentos legais importantes na gestão dos recursos hídricos em Moçambique. A lei em conformidade com a consagração constitucional estipula que a água de domínio público compreende todas as águas do interior (lagoas e albufeiras), as águas superficiais, os leitos dos rios e a água subterrânea. Os desafios de Moçambique na gestão e desenvolvimento dos recursos hídricos para o cumprimento das metas do Plano de Acção para a Redução da Pobreza Absoluta e das Metas de Desenvolvimento do Milénio, incluem água potável e saneamento, água para segurança alimentar e desenvolvimento rural, prevenção da poluição da água, e conservação dos ecossistemas, mitigação dos desastres e gestão do risco, gestão dos recursos hídricos transfronteiriços e partilha de benefício (Moçambique, 2007).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Com base no Diploma Ministerial n° 180/2004 de 15 de Setembro, o MISAU, elaborou o Regulamento sobre a qualidade da água para consumo humano. Foram adoptadas definições entre as quais destaca-se:

Água Potável – aquela que é própria para consumo humano, pelas suas qualidades organolépticas, físicas, químicas e biológicas.

Tabela 1. Limites Máximos Admissíveis para os padrões de potabilidade da água para consumo humano (MISAU, 2004)

Parâmetro	Unidade	MISAU/2004
Condutividade	µS/cm	50 – 2000
pH		6.5 – 8.5
Amónia	mg/L	1,5
Nitrato	mg/L	50
Coliformes totais	N° de colónias/100 mL	Ausência
<i>Escherichia coli</i>	N° de colónias/100 mL	Ausência

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

CAPITULO II

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

O posto administrativo de Mucupia localiza-se no distrito de Inhassunge que está localizado na zona sul da província da Zambézia, confinando a Norte com o distrito de Nicoadala que o separa da cidade de Quelimane através do rio Cuácua (Rio dos Bons Sinais), a Sul com o distrito de Chinde através do rio dos Abreus, a Este com o Oceano Índico (canal de Moçambique), e a Oeste com os distritos de Mopeia e Nicoadala

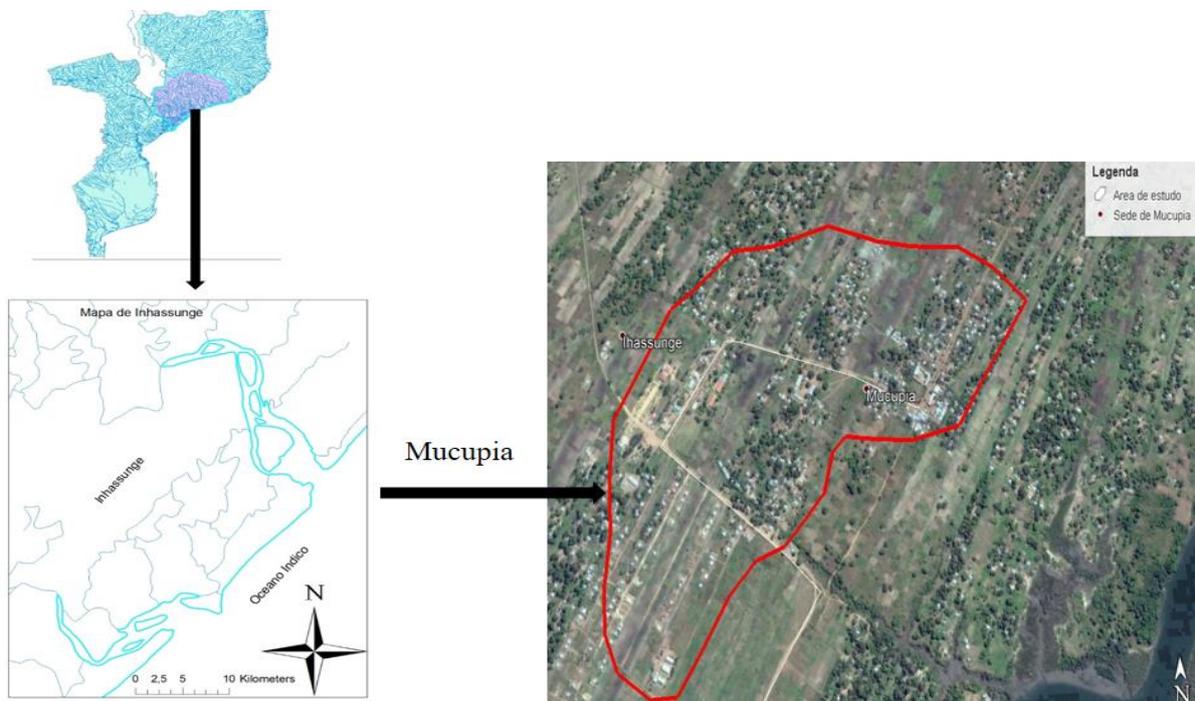


Figura 6. Mapa de Moçambique e Distrito de Inhassunge (à esquerda) e a Sede de Mucupia (direita) (fonte: Google Earth, 2017).

A superfície do distrito é de 757 km² e a sua população está estimada em 98 mil habitantes, na qual inclui aproximadamente 67 mil habitantes do posto administrativo de Mucupia à data de 1/7/2012. Com uma densidade populacional aproximada de 129,1 hab/km², prevê-se que o distrito em 2020 venha a atingir os 106 mil habitantes. O Posto Administrativo de Mucupia, de acordo com o Censo de 2007, inclui uma população de 72 317 residentes.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

3.2.Clima

O clima do distrito é de tipo tropical chuvoso de savana onde as precipitações médias anuais são acima dos 800mm, chegando na maioria dos casos a 1.200 ou mesmo 1.400mm, concentrando-se no período compreendido entre Novembro de um ano e finais de Março podendo localmente estender-se até Maio. A evapotranspiração potencial regista valores médios na ordem dos 1.000 a 1.400mm e as temperaturas médias anuais variam de 24 a 26°C

3.3.Recursos Hídricos

O distrito é constituído por uma ilha e é atravessado por vários rios cujas águas possuem propriedades bastante favoráveis para a criação de salinas. Com o aumento dos seus caudais durante os períodos chuvosos cria-se a ocorrência de inundações no período quente, e secas no período fresco. Em certas zonas, as suas margens são aproveitadas para a agricultura.

3.4.Geologia

O distrito compreende essencialmente a região de baixa altitude, (0-200 metros acima do nível médio do mar), isto é, a faixa costeira. O panorama paisagístico da região é caracterizado por declives planos e localmente quase planos.

É caracterizado pela ocorrência de solos arenosos e de cobertura arenosa, solos derivados de grés e ainda os solos derivados e evoluídos a partir da plataforma de Manangas. Complementam estes agrupamentos de solos as deposições fluvio-marinhas e os aluviões recentes dos principais rios e seus afluentes

3.5.Ponto de amostragem

Foram definidos 10 pontos de amostragem, que foram avaliados no mês de Outubro de 2017, como ilustra na figura 7, onde as coordenadas estão patentes na tabela 2.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Tabela 2. Localização geográfica dos poços rasos (4) e poços tubulares (6) amostrados para a colecta de água na sede de Mucupia.

Poços de colecta de amostras de água	Georreferenciamento (GPS)	
	Latitude S	Longitude E
Poço raso 1	-18.031560°	36.814460°
Poço raso 2	-18.032270°	36.814730°
Poço raso 3	-18.034590°	36.816320°
Poço raso 4	-18.029350°	36.822680°
Poço tubular 1	-18.036930°	36.815440°
Poço tubular 2	-18.030832°	36.815274°
Poço tubular 3	-18.030180°	36.823240°
Poço tubular 4	-18.030350°	36.823870°
Poço tubular 5	-18.029560°	36.824510°
Poço tubular 6	-18.029120°	36.816500°



Figura 7. Localização dos respectivos pontos de colectas de amostras de água na vila sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge. A coloração vermelhada indica os poços rasos e a coloração amarela indica os poços tubulares (Fonte: Google Earth, 2017).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

3.6. Escolha dos Parâmetros

Os parâmetros seleccionados para avaliar a qualidade da água foram os níveis de nitratos e coliformes. De acordo com Abreu (2011), cita nitratos e coliformes como sendo contaminantes do lençol freático induzidos pelas latrinas e fossas.

3.7. Cadastro de Poços Tubulares e fossas na área de amostragem.

Foram cadastrados no total 10 poços, dos quais 4 poços tubulares e 6 poços rasos (privados e públicos) de água existentes na área de estudo, os quais foram georreferenciados usando Ground Position System – GPS, modelo Garmin

Para a realização do cadastro, foi usado uma ficha de campo (Tabela 3). Durante a realização do cadastro, foram efectuadas no total 50 entrevista a comunidade.

Tabela 3. Ficha de cadastro de poços e fossas.

Ficha de cadastro de poços e fossas			
I. Dados Gerais			
Proprietário			
Bairro			
II. Dados de Poços			
Nº do poço:	Ano:	Latitude:	Longitude:
Forma de retirada da água		Balde ()	Bomba ()
III. Sistema de Saneamento			
Fossa séptica ()	Latrina ()	Prof (m):	Largura (m):
Alguma vez encheu: Sim () Não()			
Se for sim. O que foi feito:			
Observações:			
Cadastrando e data:			

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

3.8. Colecta e amostragem da Água de Abastecimento

A amostragem foi definida com base nos critérios:

- ✓ Poços que funcionam constantemente, de forma a garantir uma constante renovação da água assegurando boa representatividade das águas do aquífero;
- ✓ Poços onde é retirada a água consumida pela população;
- ✓ Poço com autorização dos proprietários para o estudo.

A amostragem foi feita usando as próprias bombas instaladas nos poços. A água do poço foi bombeada por tempo suficiente, equivalente a 2 minutos, para eliminar a água estagnada na tubulação, equivalente a um volume de poço. Em poços onde não tinha bombas, no caso dos poços rasos, foi usado como amostrador um balde de polietileno, previamente lavado para a colecta da amostra, conforme os procedimentos descritos pela CETESB (2011).

Após a colecta, as amostras de poços rasos foram filtradas em membranas de filtro de ``Whatman`` de 110 mm de porosidade para retirar o material orgânico e sólidos em suspensão. Cada amostra foi mantida num recipiente de polietileno de 500 ml, previamente lavados em uma solução de detergente alcalino de 0,1%, enxaguado com água quente de modo a retirar todo detergente e enxaguados no final com água destilada. Os frascos foram devidamente etiquetados, conservadas em caixa térmica com gelo e encaminhadas ao laboratório para análise química, no laboratório do FIPAG.



Figura 8. Garrafas de polietileno contendo água amostrada a (esquerda) e caixa térmica contendo gelo para conservação das amostras a (direita).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Em cada poço amostrado, foram medidos “in situ” os parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (°C), usando equipamento portal da marca Boeco multiparâmetro ph meter BT - 600.

3.9. Análise laboratorial

3.9.1. Análise químicas

Após a colecta, as amostras foram levadas para o laboratório, onde foram determinadas as concentrações de nitrato (NO_3^-) e amónio (NH_4^+), usando o aparelho colorímetro portátil (Hach DR 900) moderno controlado por microprocessadores, onde a análise colorímetro é baseada principalmente na medição da intensidade de cor. A luz de uma lâmpada fluorescente, que tem como fonte de emissão um díodo emissor de luz (LDE) é passada através de um tubo de ensaio contendo a amostra, e a luz detectada pela uma fotocélula é exibido como uma resposta digital. O modo de medição é baseado na taxa de transmitância (%), absorvância e posteriormente determinada a concentração. O sistema colorímetro Hach DR 900 é usado para medir a cor produzida na presença de reagentes na amostra, com uma selecção de comprimento de onda automático, isto é, baseado na selecção de método, com intervalo de comprimento de onda de 420, 520, 560, 610 nm (Hach, 2013).

As concentrações de nitrato e amónio foram analisadas com os programas 265 nitrato TNT para amostra de 1-30mg/L, e 388N-Ammonium free para amostra de 1-50mg/L. As análises foram feitas seguindo os procedimentos técnicos descritos no manual de instruções (Photometer Hach DR 900).

3.9.2. Análise bacteriológica

A determinação de indicadores bacteriológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) foi feita usando placas de 3M™ Petrifilm™, que contem nutrientes do meio Vermelho Violeta Bile (VRB), um agente gelificante solúvel em água fria, um indicador de actividade glicuronidásica e um indicador que facilita a enumeração da colónia, e o filme superior da placa que retém o gás formado pelos coliformes e *E. coli* que são fermentadores de lactose (3Mmicrobiologia, 2013).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

A determinação de coliformes totais e *E. coli* foi feita adicionando-se 1 mL da amostra no centro do filme interior, cuidadosamente foi descido o filme superior de modo a evitar a criação de bolhas de ar, posteriormente encubado a uma temperatura de 35°C durante 24h.

Após 24h, foram retiradas as placas da incubadora para a devida contagem das colônias, onde foram observados mudanças nas cores do gel das placas, a cor roxo-azulada na colônia indicava a presença de bactérias *E. coli* e a cores vermelhas escuras nas placas indicava a presença coliformes totais.

3.10. Processamento dos dados

O nível de nitrato, coliformes fecais e *E. coli* encontrados nas amostras de água, de forma a especificar a concentração média encontrada no período, determinar o desvio padrão das concentrações, discutindo-se assim, as taxas de nitrato encontradas e sua correlação com a saúde ambiental

Foi usado o programa Microsoft Excel (2013) para a organização dos dados e as devidas análise estatística descritiva dos parâmetros analisados, confecções de gráficos e tabelas para análise dos resultados.

**Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de
Mucupia, Distrito de Inhassunge**

CAPITULO III

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cadastro de Poços rasos e Tubulares

A área de estudo não dispõe de rede de água tratada. 100% dos moradores utilizam águas subterrâneas para suprir suas necessidades. Durante este estudo foram cadastrados um total de 17 poços (9 poços tubulares e 8 poços rasos), dos quais 13 (76,5% estavam operacionais ou em uso). Foram colectadas as amostras de água em 10 poços para análises físico-químicas e bacteriológicas feitas no laboratório do Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Agua (FIPAG).

A fim de caracterizar a situação actual dos poços os mesmos foram classificados como:

- Em exploração;
- Desactivados/abandonados.

De acordo com o cadastro realizado, os poços foram classificados como em exploração e desactivados, em que 6 dos poços tubulares e 7 de poços rasos estão ainda em exploração, 3 poços tubulares e 1 poço raso estavam desactivados, como mostra a Tabla 4.

Tabela 4 - Situação actual dos poços na área de estudo em Mucupia.

Situação actual	Nº de poços	
	Poços tubulares	Poços rasos
Em exploração	6,0	7,0
Desactivado/abandonado	3,0	1,0
Total	9,0	8,0

Durante o cadastro de poços constatou-se factores que comprometem a qualidade das águas subterrâneas, tais como: a falta de vedação dos poços, a ausência de tampas nos poços e o abandono de poços desactivados, que podem tornar os poços fontes pontuais de contaminação de águas subterrâneas.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

4.2. Cadastros de fossas e latrinas

A área de estudo não dispõe de esgotamento sanitário de rede colectora e estação de tratamento de esgoto. 100% dos moradores utilizam sistemas de saneamento *in situ* “ fossas e latrinas” para suas necessidades.

Foram cadastrados um total de 49 fossas representativas (10 fossas sépticas e 39 latrinas), dos quais 36 em uso (73,5%) tabela 5.

A partir da entrevista feita aos moradores da área de estudo, conclui-se que as fossas sépticas e latrinas são construídas sem obedecer a nenhuma norma. As latrinas e as fossas sépticas possuem dimensões que vão até 2,0 m de profundidade.

Um pequeno número de fossas sépticas é que chegou a encher. Para o caso em que a fossa séptica chegou a encher, o esvaziamento foi manual ou mecanizado utilizando um tractor cisternas desentupidor. No caso de as latrinas ficarem cheias, a opção é a construção de uma nova latrina.

Tabela 5. Situação actual das latrinas e fossas em Mucupia.

Situação actual	Nº de fossas e latrinas	
	Fossa séptica	Latrinas
Activo	10	26
Desactivo	0	13
Total	10	39

4.3. Parâmetros químicos-físicos

4.3.1. Amónio

Observam-se os valores da concentração de nitrogénio amoniacal, obtidos para os pontos analisados na área de estudo, na qual apresentam concentrações de 0,033 para poços tubulares e 0,06 para poços rasos, o desvio padrão de cada média, que esteve entre 0,012 a 0,022 para poços tubulares e rasos mostram que não houve grande dispersão entre valores individuais observados Figura 9. A maior concentração do iao amónio encontrada foi observada nos poços rasos, que pode ser indicando como uma contaminação recente, porque de acordo com Cavalcanti (1996) este facto deve-se a matéria orgânica presente nas fossas e nos resíduos

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

vegetais, que produz amoníaco ou amónia mediante a participação de bactérias especializadas, através do processo de decomposição. Com pH predominantemente neutro registados nos dois tipos de poços (figura 10), há possibilidade de formação do íao amónio (NH_4^+). De acordo com observações realizadas em campo durante a colecta, verificou-se, nos poços rasos, que o aspecto da água era meio amarelada, com odor e algumas partículas em suspensão, apresentando uma turbidez considerável. Esses pontos encontram-se próximo a fossa. A presença de concentrações de amónio também pode estar relacionada com as construções precárias dos poços e a falta de protecção do aquífero.

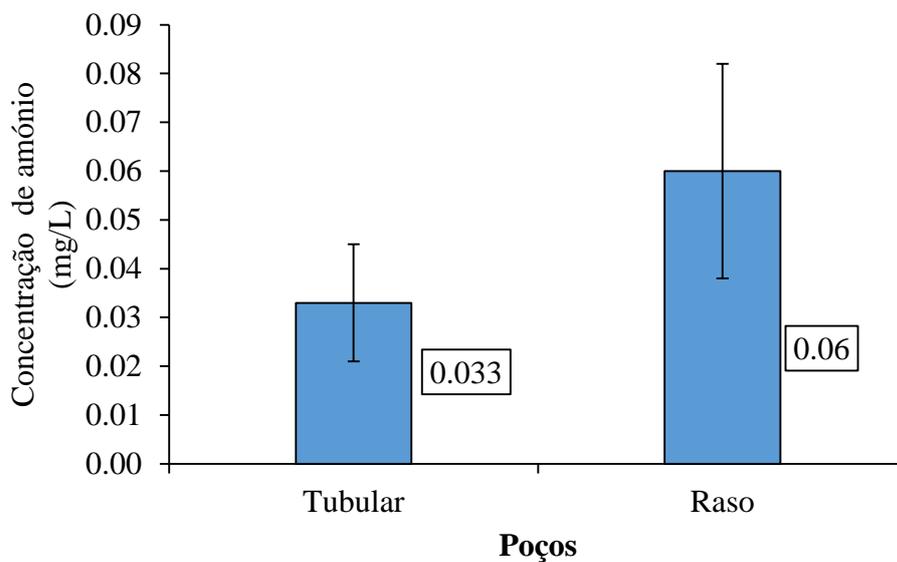


Figura 9. Concentração média (\pm DP) de amónio em poços tubulares e poços rasos amostrados em Mucupia.

4.3.2. pH

Nos poços avaliados, os resultados de pH encontrados indicaram águas com tendências neutras, cujas médias dos valores permaneceram em torno de 6.95 para poços tubulares e 6,73 para poços rasos (Figura 10), variando entre aproximadamente 6,6 a cerca de 8,1 e 6,4 a cerca de 6.9 respectivamente; os desvios dos valores em relação as médias foi muito baixo, cerca de 0,6 para poços tubulares e 0,2 para poços rasos, ou seja, durante o monitoramento, os valores de pH mantiveram-se quase que constantes. Apenas o poço tubular 3 se diferenciou dos demais poços, apresentando um valor um pouco mais alto.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

O pH da água subterrânea é controlado pela relação dióxido de carbono dissolvido, carbonatos e bicarbonatos.

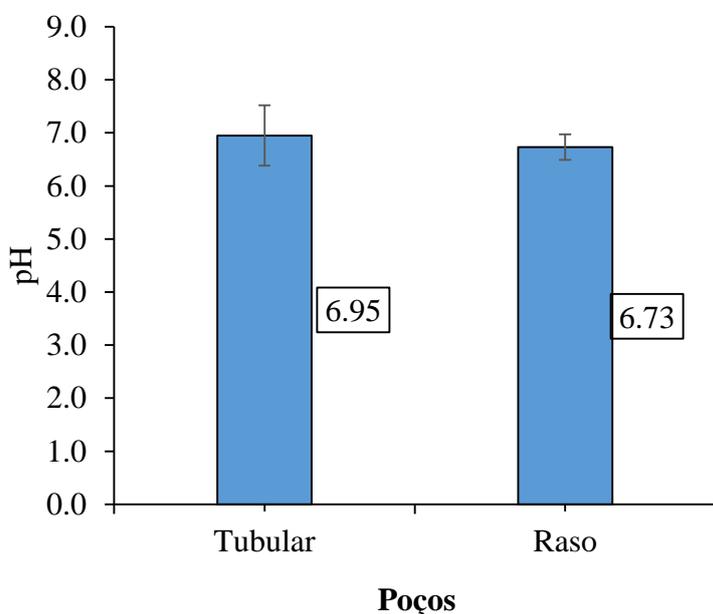


Figura 10. Variação média (\pm DP) do pH em poços tubulares e poços rasos amostrados em Mucupia.

4.3.3. Temperatura

A temperatura média da água nos poços tubulares amostrado foi de 25,4°C, com predominância de temperaturas entre 25 a 25,8°C. Nos poços rasos, a temperatura média foi de 24,7°C, com predominância de temperaturas entre 24 a 25,2 °C.

As temperaturas observadas no período de amostragem estão dentro da média anual da temperatura atmosférica da região, que varia de 24 a 26°C.

Estudo feito por (Muchimbane, 2010) no distrito 4, cidade de Maputo mostram que a temperatura das águas subterrâneas não teve uma variação significativa em relação a media anual da temperatura atmosférica da região. Este resultado foi semelhante dos obtidos neste presente trabalho.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

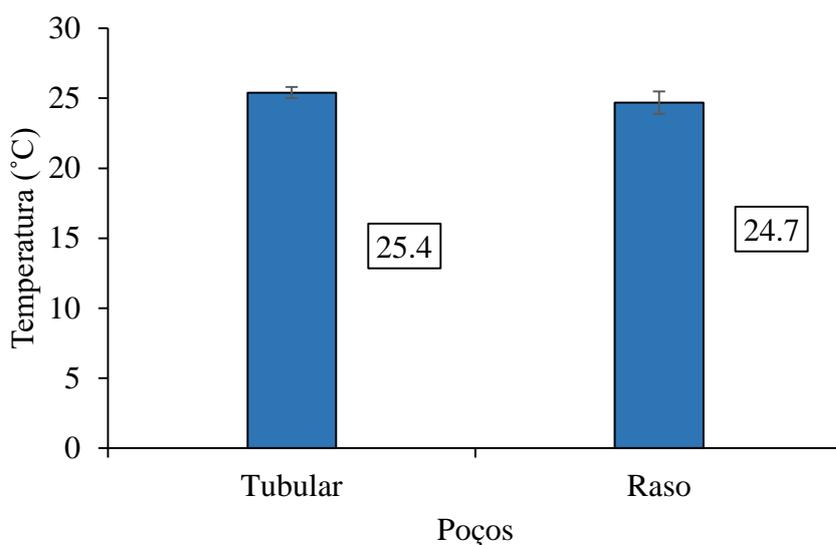


Figura 11. Variação média (\pm DP) da temperatura em poços tubulares e poços rasos amostrados em Mucupia.

4.4. Nitrato nos poços de água tubular e raso

O valor de nitrato (NO_3^-) registado nas águas dos poços tubulares foi de 2,8 e 12,7 mg/L valores mínimos e máximos, respectivamente, com uma média de 6,72 mg/L. Nos poços rasos a concentração média foi de 4,4 mg/L, com mínimo e máximo variando entre 3 e 8 mg/L, respectivamente (figura 12).

Segundo o desvio padrão de cada média mostram que houve uma dispersão dos valores individuais observados, demonstrando heterogeneidade dos resultados, 3,8 para poços tubulares e 2,8 para poços rasos, o que indicam que alguns dados tendem a estar mais próximo, alguns acima e outros abaixo da média.

Ao se analisar especialmente as concentrações de NO_3^- e, tomando o valor de alerta utilizado como crítico para poços com indício de contaminação da água (5,0 mg/L) (CETESB, 1997), pode-se concluir que 60% das águas dos poços amostrados apresenta níveis de indício de contaminação de nitrato.

Segundo a norma do MISAU, 2004, estabelece que a concentração de NO_3^- da água não tratada destinada ao abastecimento público não deve ter mais que 50 mg/L de N- NO_3^- .

Concentrações maiores de nitrato foram observadas nos poços tubulares. Os mesmos resultados foram constatados por Muchimbane (2010), ao estudar o distrito urbano 4 da cidade de Maputo.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Valores altos de NO_3^- observados nos poços tubulares podem estar relacionados com a degradação de NH_4^+ . Na figura 9 observa-se concentrações elevadas de NH_4^+ nos poços rasos, na qual o mesmo pode ser oxidado biologicamente para nitrato. Como os iões nitrato possuem carga negativa, eles não são atraídos pelas partículas do solo, ou seja, não são adsorvidos, sendo por isso mais móveis que os iões amónio, deste modo achados em altas concentrações nos poços mais profundo como poços tubulares.

Segundo Freeze & Cherry (1979), o nitrato apresenta alta estabilidade e mobilidade, fazendo com que o ião se mova segundo o fluxo advectivo, não sendo adsorvido pelas partículas do solo e prevalecendo em águas subterrâneas altamente oxidantes.

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L. foi constatado em um dos poços tubulares teores de nitrato acima de 10 mg/l, indicando possível principio de contaminação daquelas aguas.

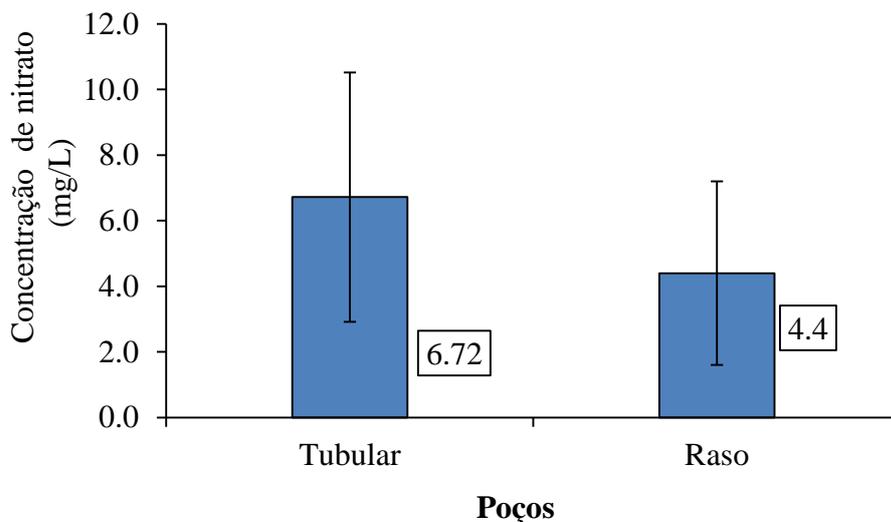


Figura 12. Variação da concentração de nitrato em poços tubulares e poços rasos amostrados em Mucupia.

4.5. Coliformes nos poços de águas rasos e tubulares

Os resultados individuais nas análises bacteriológicas estão apresentados na tabela 6. Todas as 10 amostras (100%) de água provenientes dos poços rasos e tubulares estavam contaminadas por bactérias do grupo coliformes totais e com contagens elevadas, isto é, (55% poços rasos e 45% poços tubulares).

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Os *escherichia coli* foram encontrados em número maior para poços rasos (81%) e menor para poços tubulares (19%) do que os coliformes totais. A não observância da presença das bactérias *E. coli* nos poços tubulares 1, 3 e 5, não expressa a não confiabilidade dos resultados, pós segundo Cardoso et al, 2003, a presença de *E. coli* indica contaminação recente, já que eles não se multiplicam nem persistem por um longo período, possuindo sobrevivência similar à das bactérias patogénicas.

A maior concentração média de coliformes (coliformes totais e *E. coli*) foi observado nos poços rasos, isto poderá ter sido causada provavelmente pelo uso de vários recipientes de retirada de água

A presença das bactérias coliformes nos poços funciona como indicador de contaminação fecal recente devido à utilização de latrinas e fossas sépticas. Segundo Von Sperling (2005), diz que coliformes do tipo *E. coli* é a principal bactéria abundante nas fezes humanas e de animais de sangue quente, e a única que dá garantia que a contaminação seja exclusivamente fecal.

Tabela 6. Resultados de análises bacteriológicas (coliformes fecais e *Escherichia coli*)

<u>Resultados de poços rasos</u>								
Parâmetros bacteriológicos	Limite Referencial	N° de colonia/100 mL						
		Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Media	D.P	
Coliformes totais	Ausência	>100	13	22	64	49,75	40,2	
<i>Escherichia coli</i>	Ausência	28	2	11	5	11,5	11,6	

<u>Resultados de poços tubulares</u>									
Parâmetros bacteriológicos	Limite Referencial	N° de colonia/100 mL							
		Poço1	Poço2	Poço3	Poço4	Poço5	Poço6	Media	D.P
Coliformes totais	Ausência	7	>100	14	>100	15	47	40	46,7
<i>Escherichia coli</i>	Ausência	0	3	0	12	0	1	2,7	4,7

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

4.6. Alternativas de minimizar riscos da contaminação das águas subterrâneas

As soluções mais económicas de saneamento de tratamento de esgoto propostas são a fossa seca simples e a fossa séptica mais filtro anaeróbio. As alternativas foram escolhidas dentre as indicadas pela publicação “Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades”, feita pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Gasl, 1988).

Estas estruturas são escavadas no solo, necessitando de solos permeáveis e pouco coerentes.

4.6.1. Latrina com fossa seca

A latrina com fossa seca compreende a casinha e a fossa seca escavada no solo, destinada a receber somente os excretos, ou seja, não dispõe de veiculação hídrica. As fezes retidas no interior se decompõem ao longo do tempo pelo processo de digestão anaeróbia. Deve estar localizada a uma distância mínima de 15 m do poço de água e uma profundidade de 3m (Tilley, et al., 2008).

4.6.2. Fossa séptica mais filtro anaeróbio

As fossas sépticas são capazes de tratar o esgoto de um conjunto de residências, O efluente ainda contém matéria orgânica, patogénicos e nutrientes, requerendo uma disposição adequada. Propõe-se a utilização do filtro anaeróbio de fluxo ascendente, que consiste de um tanque cheio de pedras ou outro material inerte através do qual o esgoto flui saindo pela parte superior. O tempo de retenção preconizado é de 19 horas. Sobre o leito de pedras uma população de microrganismos realiza o tratamento dos esgotos através do processo anaeróbio. O sistema necessita cerca de três meses para entrar em operação. O lodo do filtro anaeróbio deve ser removido a cada cinco ou seis meses.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

CAPITULO IV

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Tendo em vista os resultados obtidos com as análises físico químicas das águas de poços da área de amostragem na sede de Mucupia, conclui-se que, as águas dos poços não apresentaram concentrações elevadas de nitrato, encontrando-se dentro dos padrões exigidos pela Norma do MISAU (2004).

Em alguns poços, cujas concentrações de nitrato apresentaram-se dentro do padrão de potabilidade, foi constatado indícios de princípios de contaminação daquelas águas, com concentrações acima de 10 mg/L de NO_3^- . Este aumento da concentração, provavelmente, originam-se pelas fossas que estão na região e pela matéria orgânica em decomposição que cai nos poços rasos abertos.

As análises bacteriológicas (coliformes totais, *E. coli*) apresentaram concentrações acima dos Valores Máximos Permissíveis para o consumo humano exigidos pela Norma do MISAU (2004) para os dois tipos de poços, confirmando a contaminação das águas subterrâneas pelas fossas e latrinas distribuídas na região.

Os poços rasos foram os mais afectados pela presença de bactérias do grupo coliforme, o que alerta para a importância e necessidade da área de protecção em torno dos poços e a orientação na construção dos mesmos, visando a preservação da qualidade da água, deste modo foi sugerido duas medidas de minimizar o risco de contaminação das águas subterrâneas (latrina com fossa seca e fossa séptica mais filtro anaeróbico).

Dos poços cadastrados, apenas 13 estavam em operação e os restantes 4 desactivados. Foram cadastrados mais poços tubulares que poços rasos, cujos alguns poços estavam em processo de desgaste.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

5.2.Recomendações

De acordo com a pesquisa efectuada sobre a contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, os resultados obtido tanto como as conclusões inferidas recomenda-se:

- ✓ A escavação da fossa comum negra não deve exceder 1,50 m do nível freático e deve ser localizada no mínimo a 15,0 m da distância dos suprimentos de água;
- ✓ Estabelecimento de normas de construção de poços de exploração das águas subterrâneas; bem como de desactivação de poços inutilizados;
- ✓ Recomenda-se também que se faça um estudo de índices de vulnerabilidade, tanto como o de risco de contaminação das águas subterrâneas por sistemas de saneamento “in situ” na região;
- ✓ A elaboração de mapas temáticos de modo a identificar áreas potencialmente vulneráveis à contaminação na região;
- ✓ Recomenda-se orientar as populações na região a fervura da água ou desinfecção com compostos desinfectantes de modo a eliminar bactérias.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3Mmicrobiologia. (2013). Guia de interpretação. *Placa para Contagem de E.coli e Coliformes, Placa para Contagem de Coliformes*. São Paulo, Brasil: 3M do Brasil Ltda.
- Ambiental, C. E. (1989). Fossa séptica. *Série Manuais/Secretaria do Meio Ambiente*, 20. São Paulo: CETESB.
- Abreu, A. A. (2011). Relatório do Estado do Ambiente em Mocimboa do Castelo. Maputo: Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental.
- Ayach, L. R., Pinto, A. L., & Cappi, N. (: julho - dezembro de 2007). Concentrações de nitrato nas águas freáticas da cidade de Anastácio (MS) e suas implicações ambientais. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, 2, 4. Rio Claro.
- Ayach, L. R., Pinto, A. L., & Cappi, N. (2007). Concentrações de nitrato nas águas freáticas da cidade de Anastácio (MS) e suas implicações ambientais. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, 2, 2. Rio Claro.
- Baird, C. (2002). Química Ambiental. Porto Alegre: Bookman.
- Brasil. (2011 a) Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Brasília, DF.
- Brasil. (2008). Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Em M. d. Ambiente, *Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas*. Brasília.
- Capobianco, J. P. (2007). Importância da água. *Ética no uso da água*. São Paulo: Banas ambiental.
- Cardoso, A., Tessari, E., Castro, A., Kanashiro, A., & Zanata, G. (2003). Incidência de coliforme e Salmonella sp. em águas provenientes de abatedouro avícola. *Higiene Alimentar*, 17, 111, 73-78.
- Cavalheiro, M. (2008). O processo de cheia em bacias hidrográficas urbanas. *Tecnologia em Saneamento Ambiental*. Universidade do Oeste Paulista Presidente Prudente-SP,.
- Capucci, E., Martins, A., Mansur, K. L., & Monsore, A. L. (2001). Pocos tubulares e outras captacoes de agua subterraneas. *DRMRJ Departamento de Recursos Minerais d Rio de Janeiro*.
- Cavalcanti, M. A. (1996). IMPACTO DOS SISTEMAS DE SANEAMENTO "in situ" nas aguas subterraneas no Bairro de Piratininga-Municipio Niteroi (RJ). São Paulo: Universidade de São Paulo Instituto de Geociências.
- CETESB. (2011). Guia Nacional de Colecta e Preservação de Amostras. *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB*.

**Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de
Mucupia, Distrito de Inhassunge**

- Esteves, F. A. (1988). Fundamentos de limnologia. 2, 557. Rio de Janeiro: FINEP.
- Freezy, R., & Cherry, J. (1979). Groundwater. 604. New Jersey: Prentice-Hall.
- Foster, S., & Hirata, R. (1988). Grounwater pollution risk assessment: A methodology using available data. *World/Pan American Health Organization*, 83.
- Funasa, F. N. (2004). Manual de saneamento. *Orientacoes tecnicas*, 407. Brasilia.
- Geogoiás. (2002). Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Agência Ambiental de Goiás.
- Hach. (2013). Manual do Usuario DR 900. 2.
- Muchimbane, A. B. (2010). Estudo dos Indicadores de Contaminação das Águas Subterrâneas por Sistemas de Saneamento “in Situ” - Distrito Urbano 4, Cidade de Maputo, Moçambique. *Universidade de Sao Paulo*.
- Moçambique, G. D. (Agosto de 2007). Política de água
- Philippi jr, A. (1992). Saneamento do meio. Sao Paulo: Fundacentro.
- Rosa Filho, E., Hindi, E., Giusti, D., & Nadal, C. (1998). Utilização das águas subterrâneas no abastecimento público das cidades paranaenses. *Boletim Paranaense de Geociências*, 46, 13-23.
- Russell, J. B. (1994). Química geral. 2, 2. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.
- Saude, F. -F. (2004). Manual de saneamento. *Orientações técnicas*, 407. Brasília.
- Silva, L. A., Martins, C. R., & Andrade, J. B. (2004). Por que todos os nitratos são solúveis? *Química Nova*, 27, 6.
- Soares, J., & Brasil. (2004). Riqueza em água e em Leis de Recursos Hídricos. *ed. 93*. Rio de Janeiro: Revista ECO 21.
- suhogusoff, A. (2010). Mimização de impactos nos recursos hidricos causados por sistemas de saneamento in situ. *Tese de Doutorado. Instituto de Geociências*. São paulo: Universidade de São Paulo.
- Sawyer, C.N; Mccarty P.L; Parkin, G.F. (2003). Chemistry for environmental engineering and science. 5th ed. New York: McGraw-Hill. 752p.
- Tundisi, J. G. (2003). Água no século XXI. *Enfrentando a Escassez*. São Carlos.
- UNESCO. (1992). Ground Water. Paris.
- Unicef, OPS/OMS, & Anesapa. (1988). Manual de pozos. Em *Série: Manuales didácticos*. La Paz, Bolívia.
- Varnier, C. (2007). .comportamento do nitrogênio em uma fossa negra desativada na zona não

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

saturada do Aquífero Adamantina em urânia (são paulo, Brasil). *Tese de Doutorado, Instituto de Geociências*, 144 . São Paulo: universidade de são Paulo.

Von sperling, M. (2005). Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. *Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 452. UFMG.

wakida, F., & Lerner, D. (2005). Non-agriculturar sources of groundwater nitrate: a review and case study. *Water Research* 39.

Wilhelm, S., Schiff, S., & Cherry, J. (s.d.). Biogeochemicar evorution of domestic waste in sept;c systems. *Conceptual Model. Ground Water*, 32, 6, g05 - 916 .

Canter, L. W. (1997). Nitrates in Groundwater. Boca Raton, Lewis Publishers. 263p.

WHO- World Health Organization. (2007). Buidelines for Drinking- water Quality. 3rd ed, v. 1, Geneva.

World Health Organization – WHO. (1993). Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 1: Recommendations.

Ministério da Saúde (2004). Portaria N° 518, de 25 de Março de 2004.

Fenzl, N. (1988). Introdução à Hidrogeoquímica. Belém, Universidade Federal do Pará. 198p.

Estudo da contaminação por nitrato e coliformes nas águas subterrâneas na sede de Mucupia, Distrito de Inhassunge

Anexos



Fotografia 1. Poço instalado junto de uma fossa a (esquerda) e poço sem tampa com diferente baldes-cordas a (direita).



Fotografia 2. Colorímetro portátil a (esquerda) e placa de Petrifilm ilustrando pontos vermelhos de coliformes totais e pontos azul-escuro de *E. coli*.