

## **Dedicatória**

Aos meus familiares, amigos, colegas, namorada e em especial ao meu pai.

Seis pecados sociais: política sem princípios, riqueza sem trabalho,  
prazer sem consciência, conhecimento sem caráter, comércio sem moralidade,  
ciência sem humanidade e culto sem sacrifício+

**Mahatma Gandhi**

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar agradeço a Deus Pai todo-poderoso, pelas bênçãos e proteção que me tem dado; aos meus pais por tudo quanto fizeram, para que hoje pudesse estar onde estou. A minha mãe (in memoriam) Sofia Nambule sou eternamente grato, ao meu pai Bento António, os meus tios, irmãos, primos, amigos e à família Ndamenapose.

Aos meus colegas e amigos da Administração Municipal do Lubango, da Direcção Provincial da Agricultura da Huíla e da Direcção do Instituto Superior Politécnico Tundavala, ao Dr Lutero Campos, Mestre Silvano Levi. Agradeço à minha namorada Salomé Woloti pela compreensão e disponibilidade de colaborar sempre que preciso, e os detentores dos locais de amostragem em que destaco: tio Paulo Tchibalandomgo, Joaquim Massolavela, Sr. Bondo, Todá, tia Lina; tia Gina, mana Justina e o Eduardo Tchiteculo.

Agradeço também ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, em especial a minha orientadora Prof<sup>a</sup> doutora Maria Manuela Vinha Guerreiro da Silva e co-orientadora Dr<sup>a</sup>. Marina Cabral Pinto que com muita paciência e dedicação souberam acompanhar as várias fases da elaboração deste trabalho de tese. Aos meus colegas e companheiros do Mestrado em Geociências do ano 2012/2014, em especial à Elisa dos Santos da Silva, pessoas que muito admiro pela determinação e persistência no trabalho. A todos muito obrigado.

## Resumo

De março a agosto de 2014 realizou-se o trabalho de caraterização hidroquímica das massas de águas subterrâneas nos Municípios do Lubango (especificamente nos bairros do Tchioco, Nambambi, Bula Matadi e Lalula e Comandante Cowboy) e de Humpata na região da Palanca, Província da Huíla, sudoeste de Angola. Amostraram-se 12 cacimbas (poços) na época chuvosa e quente e na época seca e fria com o objetivo de avaliar o grau de contaminação das águas subterrâneas. Os vários bairros onde as águas foram amostradas caraterizam-se pela inexistência ou insuficiência da rede de distribuição de água potável, de esgotos e recolha de resíduos urbanos. Os resíduos sólidos existem dispersos em várias lixeiras e os efluentes domésticos são armazenados em fossas negras, potenciando a contaminação dos aquíferos subterrâneos.

Os parâmetros físico-químicos foram determinados *in situ*, com um medidor multiparâmetros e as espécies químicas foram determinadas com o fotómetro de bancada. A alcalinidade nunca foi detetada indicado que as águas têm baixa capacidade de tamponização para mudanças de pH, devido à litologia. O zinco e manganês nunca foram detetados e o crómio VI apenas foi detetado na época seca. Fez-se a avaliação da qualidade das águas de acordo com o Decreto lei nº 306/2007 da lei Portuguesa, as linhas orientadoras da WHO (2011) e do Ministry of the Environment (2011), (Ontario guidelines). As águas não estão contaminadas em nitrato, fosfato, sulfato em nenhuma época e na generalidade não estão contaminadas em nitrito com exceção de um poço localizado na região da Palanca (PA2). Na generalidade também não estão contaminadas em amónia com exceção de um poço localizado no bairro Comandante Cowboy (CV3). Os teores de ferro e de cobre das águas amostradas estão, principalmente na época chuvosa, em alguns poços, acima do valor paramétrico.

Portanto, observou-se contaminação das águas subterrâneas em alguns poços, provavelmente por atividades antrópicas nomeadamente a disposição não condicionada de efluentes domésticos.

**Palavras chave:** águas subterrâneas; contaminação urbana; hidroquímica; Lubango

## Abstract

The hydrochemical characterization of groundwater bodies was performed from Mars to August 2014 in the municipalities of Lubango (specifically in the neighborhoods of Tchioco, Nambambi, Bula Matadi e Lalula and Comandante Cowboy) and Humpata, region of Palanca, Huíla Province, southwest of Angola. Sampling and analyses of ground waters were performed in 12 wells, during the rainy, hot season and during the dry, cold season with the objective of assessing the degree of contamination of groundwater. The neighborhoods are characterized by the absence, or insufficiency, of the a distribution network of drinking water, sewerage and waste collection. Solid wastes are dispersed in multiple dumpsters and domestic waste are stored in pits black, potentiating the contamination of underground aquifers.

The physical and chemical parameters were determined in situ with a multi-parameter sensor and the chemical species were determined with the photometer bench. Alkalinity was never detected, indicated that the waters have low buffer capability to pH changes, due to lithology. Zinc and manganese were not detected and the chromium VI was only detected in the dry season. To assess the water quality the Decree Law nº 306/2007 Portuguese law, the guidelines of the WHO (2011) and the Ministry of the Environment (2011), (Ontario guidelines) were used. The waters are not contaminated in nitrate, phosphate, sulfate and in general are not contaminated in nitrite with the exception of a well located in the region of Palanca (PA2). In general are also not contaminated in ammonia with the exception of a well located in the Comandante Cowboy (CV3) neighborhood. The iron and copper contents of the sampled waters are above the guideline values, especially in the rainy season , in some wells.

Therefore some groundwater contamination was observed in some wells, probably by anthropogenic activities namely the domestic effluent dsiposal.

**Key words:** groundwater; urban contamination; Hydrochemistry; Lubango

## Índice geral

<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>2. Fundamentação concetual</b> .....	4
2.1. Água subterrânea .....	4
2.2. Ciclo hidrológico.....	5
2.3. Inflência do tipo de solo no processo de infiltração .....	6
2.4. Importância da água.....	8
2.5. Importância da preservação da água subterrânea .....	9
2.6. Contaminação das águas subterrâneas .....	10
2.7. Contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas .....	12
<b>3. Enquadramento da área de estudo</b> .....	13
3.1. Geográfico e administrativo .....	13
3.2. Geológico .....	14
3.3. Geomorfológico.....	16
3.4. Climático e hidrológico .....	17
<b>4. Metodologia</b> .....	19
4.1. Metodologia de amostragem.....	19
4.2. Caracterização dos pontos de amostragem .....	20
4.3. Análise in situ.....	25
4.4. Metodologia operacional no campo .....	26
4.5. Metodologia de análise laboratorial.....	28
<b>5. Resultados e discussão</b> .....	29
5.1. Parâmetros físico-químicos.....	29
5.2. Parâmetros químicos .....	36
5.3. A valiação da qualidade da água .....	49
<b>6. Conclusões</b> .....	51
<b>7. Recomendações</b> .....	52
<b>Referências bibliográficas</b> .....	53

## Índice de figuras

Figura 1 - Recarga de aquífero a partir da chuva, passando pela zona não saturada até atingir a zona saturada do aquífero	5
Figura 2 - Ciclo da água	6
Figura 3 - Infiltração da água no solo	7
Figura 4 - Divisão política e administrativa da província da Huíla	13
Figura 5 - Carta Geológica da região de Lubango	14
Figura 6 . Extrato da carta geológica	16
Figura 7 - Bacia hidrográfica do rio Cunene	18
Figura 8 - Localização geográfica dos pontos de amostragem na região do Lubango e Palanca . Humpata	19
Figura 9 - Localização geográfica dos pontos de amostragem no bairro Comandante Cowboy	20
Figura 10a - Poço sem proteção adequada CV3	21
Figura10b - Interior do poço CV3	21
Figura 11a - Poço com proteção adequada CH7	21
Figura 11b - Interior do poço CH7	21
Figura 12 - Localização geográfica dos pontos de amostragem no bairro do Tchioco (imagem do- Google Earth 2014)	22
Figura 13 - Localização geográfica dos pontos de amostragem nos bairros do Nambambi e Bula Matadie Lalula (imagem do- Google Earth 2014)	23
Figura 14a - Poço com proteção inadequado BML1	23
Figura 14b - Interior do poço- BML1	23

Figura 15 - Localização geográfica dos pontos de amostragem da região Palanca (imagem do- Google Earth 2014	24
Figura 16a - Material argiloso retirado aquando da escavação do poço PA3	24
Figura 16b - Interior do poço PA3	24
Figura 17 - Aparelho multiparâmetros	27
Figura 18 - Medição direta no poço CH9	27
Figura 19 - Tipo de garrafa para amostragem e codificação a vermelho	27
Figura 20 - Fotómetro e outros equipamentos de laboratório	28
Figura 21 - Preparação de amostra para análise da água em laboratório	28
Figura 22 - Diagramas de barras da variação da temperatura nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca na época chuvosa e quente (a) e na época seca e fria (b)	30
Figura 23 - Padrão de variação da temperatura e da condutividade elétrica	31
Figura 24 - Diagramas de barras da variação de pH nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	32
Figura 25 - Padrão de variação da condutividade elétrica e do pH	32
Figura 26 - Diagramas de barras da variação da condutividade elétrica específica nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	33
Figura 27 - Diagramas de barras da variação de oxigénio dissolvido nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	35
Figura 28 - Diagramas de barras da variação do potencial de redução e oxidação nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	35
Figura 29 - Diagramas de barras da variação de nitrato nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	38

Figura 30 - Diagramas de barras da variação de fosfato nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	39
Figura 31 - Diagramas de barras da variação de sulfato nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	40
Figura 32 - Diagramas de barras da variação de sílica nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	41
Figura 33 . variação dos teores de $\text{SiO}_2$ em função da variação do ph das águas amostradas	42
Figura 34 - Diagramas de barras da variação de potássio nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	43
Figura 35 - Diagramas de barras da variação de magnésio nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	44
Figura 36 - Diagramas de barras da variação de ferro nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	45
Figura 37 - Diagramas de Eh - pH para as espécies de ferro das amostras analisadas	46
Figura 38 - Diagramas de barras da variação de crómio nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	47
Figura 39 - Diagramas de barras da variação de cobre nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca	48

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Tempo de permanência da água nos diferentes tipos de reservatórios naturais	10
Tabela 2 - Coordenadas geográficas, profundidades, distância entre poço e foco de contaminação e localização	25
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos determinados <i>in situ</i> na primeira época de amostragem de março a maio de 2014 época chuvosa e quente	29
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos determinados <i>in situ</i> na segunda época de amostragem de junho a agosto 2014 época seca e fria	29
Tabela 5 - Espécies químicas analisadas na primeira época de amostragem de março a maio de 2014	36
Tabela 6 - Espécies químicas analisadas na primeira época de amostragem de junho a agosto de 2014	36

## **1. Introdução**

### **1.1. Fundamentação do trabalho**

As massas de água subterrâneas representam um dos maiores recursos de água doce do planeta, sendo por isso, necessário que sejam preservadas. A água subterrânea pode perder as suas propriedades que a tornam potável por práticas humanas e por fenómenos naturais, pondo em risco a vida dos consumidores.

Hoje, uma das principais causas de poluição das águas superficiais e subterrâneas em Angola é devida à deposição incorreta dos esgotos, que se deve à falta de infraestruturas que afetam os Municípios ou cidades, principalmente os de crescimento rápido e aonde a rede de esgotos construída na época colonial não chegou. O problema tem maior gravidade nas áreas suburbanas, em que se observam construções desordenadas, e onde, de modo indiferente aos padrões construtivos existentes na área urbana, as moradias não são servidas por sistema de saneamento, coleta e tratamento de esgotos. Nestas áreas o destino final das águas residuais é o sistema de fossas negras, que são buracos rudimentares feitos no solo, que em grande parte são os principais responsáveis pela contaminação/poluição das águas subterrâneas. Estas águas subterrâneas são captadas por meio de poços-cacimbas e utilizadas para a satisfação das necessidades primárias de muitas famílias, ficando assim vulneráveis a doenças de origem hídrica.

Atualmente há uma grande preocupação com a preservação dos recursos naturais, principalmente com os recursos hídricos, tendo em conta o aumento da população (crescimento demográfico) e consumo de água. Elevaram-se também os efeitos de poluição e contaminação dos solos e consequentemente da água superficial e subterrânea, assim como os efeitos da falta de planeamento no uso e ocupação do solo de forma desordenada.

De acordo com o Ministério da Energia e Água de Angola (MINEA) (Roosbroeck et al., 2006), do total de habitantes do país apenas 18,5% que residem nas urbes têm as habitações conectadas a uma rede de esgoto ou de saneamento das águas negras e outra parte da população correspondente a 55,6% satisfazem as necessidades fisiológicas em latrinas com poços rotos.

Das 18 províncias que compõem o país, apenas as cidades de Luanda, Huambo, Namibe, Lobito e Benguela dispõem de rede de esgoto, mas nestas cidades o sistema não funciona em pleno, devido a vários fatores em que se destacam: falta de manutenção dos sistemas de condução das águas negras e a sobrecarga do sistema devido ao aumento do número de usuários.

A falta de rede de esgoto nas envolventes das cidades leva a que sejam construídas fossas sépticas, que durante longos anos vão poluindo o solo e a água existente nele. Com frequência, os poços, vulgo cacimbas, são feitos em locais próximos das fossas sépticas motivado na sua maioria pela falta de espaço (zonas desorganizadas), tornando-se assim um potencial problema ambiental e consequentemente de saúde pública. Dai o interesse de se estudar o fenómeno de contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas, o qual foi acrescido pela necessidade de se identificarem os reais problemas que esta ação antrópica causa no meio ambiente e aos seres vivos.

Como a maioria, se não todas, das cidades de Angola, as regiões do Lubango e da Palanca - Humpata, selecionados para desenvolver este trabalho, foram projetadas para um número inferior de habitantes ao existente hoje. Isto significa que as estruturas de apoio não suportam os atuais números de usuários. Nos bairros onde se desenvolveram estes estudos, geralmente, os dejetos humanos são depositados em fossas negras e que na maioria dos casos são construídas sem os devidos cuidados necessários para evitar a contaminação e poluição das fontes de água por falta de conhecimento, condições financeiras e espaço.

Neste sentido faz-se um estudo da composição química das águas subterrâneas nalguns bairros da cidade de Lubango e na região de Palanca, Município de Humpata, para fazer uma avaliação preliminar da qualidade dessas águas. O estudo teve o seu início em março de 2014 (época chuvosa) e foi concluído em agosto do mesmo ano (época seca). Além dos resultados e conclusões obtidas apresentamos algumas formas de mitigação dos impactos ambientais nas águas desta região.

## **1.2. Objetivos do trabalho**

O tema desenvolvido neste trabalho enquadra-se na problemática sobre a hidrogeoquímica da água subterrânea captada artesanalmente através de furos-poços vulgarmente conhecido por cacimbas nos Bairros do Tchioco, Bula Matadi e Lalula, Nambambi, Comandante Cowboy e na região da Palanca.

Este trabalho tem como objetivo principal a determinação dos teores de algumas espécies químicas dissolvidas nas águas subterrâneas, na zona urbana da cidade de Lubango e da região da Palanca e avaliação da sua qualidade em duas épocas sazonais distintas.

### **Os objetivos específicos são:**

A determinação dos parâmetros físico-químicos das águas na época quente e chuvosa e na época seca e fria;

A determinação dos teores de algumas espécies químicas dissolvidas nas águas na época quente e chuvosa e na época seca e fria;

A comparação dos resultados e a explicação das tendências observadas nos resultados;

A avaliação da qualidade da água por comparação com legislação existente;

A obtenção de conclusões e fazer recomendações em função dessas conclusões.

## **2. Fundamentação conceptual**

### **2.1. Água subterrânea**

A água subterrânea encontra-se de baixo da superfície terrestre, nos poros do solo, nas fraturas, diáclases e clivagens das rochas. Esta água circula nos espaços existentes no subsolo, que na ausência de água são ocupados por ar. As falhas são aberturas naturais originadas por movimento de tectónicos, as diáclases são originadas nas rochas pelo arrefecimento ou pela deformação e as clivagens são originadas por deformação.

A quantidade de água doce no sistema subterrâneo está quantificada em aproximadamente 10530000 km<sup>3</sup>, que é duzentas vezes superior ao total dos recursos de água doce renovado anualmente pela chuva (Shiklomanov, 1993). Este armazenamento ou potencial de água subterrânea ajudam a entender o comportamento climático em determinadas localidades ou regiões (Planeta Terra 2007- 2009).

A precipitação atmosférica (geralmente água) ao entrar em contacto com o solo, passa por uma camada onde água não é retida em grande quantidade, denominada zona não saturada do solo. Nesta zona do solo, os poros encontram-se ocupados parcialmente por água e por ar. Uma parte da água que se infiltra é absorvida pelos seres vivos do solo (vegetais em maior quantidade), outra parte evapora-se e volta para a atmosfera como vapor de água. O excedente da água que se encontra no solo oriunda da infiltração atinge as maiores profundidades por ação da gravidade até encontrar estruturas naturais de armazenamento, os aquíferos, preenchendo assim os espaços dos poros na totalidade, formando a zona saturada do solo (Iritani et al., 2012). Os pontos onde é feito o abastecimento natural ou artificial do aquífero são conhecidos como zona de recarga e pode ser direta ou indireta.

A quantidade explorável de água subterrânea está intimamente relacionada com as condições de recarga do aquífero e com as técnicas/tecnologia de captação de água usadas para o caso. O equilíbrio entre carga e descarga deve ser bem mantido, pois pode ocasionar a inutilidade dos poços, quando se verificar maior consumo do que recarga nos aquíferos.



Figura 1 Recarga de aquífero a partir da chuva, passando pela zona não saturada até atingir a zona saturada do aquífero, <http://geografiaensinareaprender>, 2014.

## 2.2. Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o fenómeno global de circulação da água entre os vários compartimentos ou reservatórios da Terra, que é mantido pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Carvalho e Silva, 2006). A água no globo encontra-se nos estados sólido, líquido e gasoso, contida em diferentes reservatórios, tabela 1. No subsolo, a água é retida nos poros e outras aberturas existentes nas rochas (fraturas). Além disso, os seres vivos animais e plantas, constituídos por certa quantidade de água também são um reservatório de água (Iritani et al., 2012).

Os principais fenómenos responsáveis pelo ciclo hidrológico são a precipitação, evapotranspiração (que engloba a evaporação e a transpiração), infiltração, fluxo subterrâneo e escoamento superficial (Fig. 2), (Oliveira, 2009). O processo de infiltração permite que a água precipitada na superfície dos continentes e oriunda do degelo das zonas polares, seja transferida para o subsolo, atingindo os estratos mais profundos (Fig. 1) (Iritani et al., 2012).



Figura 2. Ciclo da água, retirado de USGA (2014) em <http://ga.Water.usgs.gov/edu/watercycle.html>.

A relação existente entre as águas superficiais e a água subterrânea pode manifestar-se de duas formas: quando o nível freático atinge a superfície terrestre há descarga das massas de águas subterrâneas para uma zona superficial (nascentes); ou quando uma massa de água superficial, que se encontra a cota superior da zona freática, origina a recarga do aquífero (Ferreira et al., 2009). Geralmente, o nível freático segue a forma da superfície terrestre, mas com menos relevo (Oliveira, 2009).

### 2.3. Influência do tipo de solo no processo de infiltração

O solo é a camada mais externa da crosta terrestre constituída por uma fração mineral sólida (rochas e minerais), matéria orgânica (restos de animais e plantas decompostos), água, ar e organismos vivos, sendo a interface entre a atmosfera, hidrosfera e geosfera, servindo de suporte aos organismos vivos (Oliveira, 2009).

A compreensão da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para a identificação das técnicas de conservação adequada para cada solo. Segundo Rocha et al. (2005), a fração sólida do solo estrutura-se formando agregados. A formação dos agregados está dependente dos colóides de ligação, que são partículas com dimensão entre 0,001 e 0,1  $\mu\text{m}$ , que podem ser sais minerais (argila) ou orgânicos (húmus).

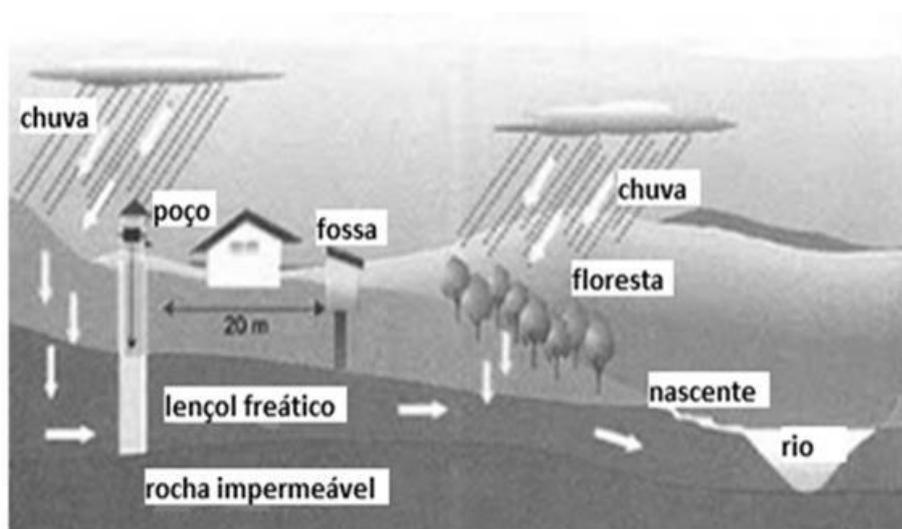


Figura 3, infiltração da água no solo.

Segundo Pinheiro et al. (2009), a estimativa da capacidade de retenção de água no solo, bem como os fluxos que ocorrem tanto na superfície (infiltração e evaporação) quanto na profundidade do solo (drenagem interna), são importantes quando se trata da irrigação, drenagem, erosão, biologia da fauna e flora desse solo, percolação de elementos químicos, poluição do solo e da água, entre outros aspectos. A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo (Paixão et al., 2004).

A capacidade de permitir a passagem de água da superfície para as camadas mais fundas está dependente de vários fatores, com destaque do tipo de solo, forma das partículas (esferoidal, laminar) e da forma como as partículas estão organizadas (textura e estrutura do solo). Os meios porosos naturais são na sua maioria

anisotrópicos, apresentando, em geral, os depósitos naturais maior permeabilidade na direção horizontal do que na direção vertical (Quintela, 2011).

## **2.4. Importância da água**

A água é um bem de capital importância para a existência da vida no planeta que, mesmo sendo renovável, obedece um ciclo finito, e a sua qualidade vem sendo rapidamente deteriorada, principalmente ao longo das últimas décadas. A qualidade da água é afetada por uma série de fatores externos, tanto naturais quanto antrópico, os quais compreendem a hidrografia, o clima, a geologia, os usos do solo, a destruição da cobertura vegetal, o lançamento de esgotos sem tratamento e a urbanização sem planeamento (Xavier, 2005).

Segundo Filho (2000), a utilização da água subterrânea pelo homem data de 800 a.C, assim como a construção ou aberturas de poços na antiga Pérsia (Irão) e na civilização Egípcia (Tolman,1937, citado em Filho, 2000). Anaxágoras (500 - 428 a.C.) já pensava que a água que provinha da chuva servia para abastecer os rios assim como uma determinada parte era retida e armazenada no solo como água subterrânea (Walton, 1970).

A água é o elemento mais difuso na superfície da Terra; as suas agregações formam os oceanos, os mares, os lagos, os rios, as bacias, as nascentes e os lençóis freáticos ou aquíferos (Ardemagni e Angelis,1991). O maior volume de água existente no globo está localizado nos oceanos (cerca de 97%) e provém da cristalização do magma, quando se deu o arrefecimento do planeta (Ferreira, 1988).

A água em condições de ser consumida pelos seres humanos e outros, deve reunir condições físico-químicas e microbiológicas aceitáveis, sem pôr em risco o bem-estar dos consumidores. Para tal deve estar isenta de quaisquer microrganismos patogénicos ou substâncias químicas acima dos valores estabelecidos por legislação (Rocha e Cunha, 2010).

A água continua a ser o líquido mais precioso e de extrema importância para a vida na Terra, pois faz parte de toda a alimentação humana. Tem varias utilidades em que destacamos a produção agrícola nos mais variados recantos do mundo, em que é usada para rega como forma de compensar o défice da chuva (Ferreira, 1988).

A água doce é aquela que contem no máximo 1000 a 2000 ppm de substâncias dissolvidas e a água subterrânea é aquela que se encontra armazenada nos poros e interstícios das rochas na zona saturada (Almeida et al., 2000).

Segundo Filho (2000), o facto das massas de águas que escorrem na superfície da Terra serem visíveis, faz pensar que os rios, barragens e lagos são as maiores fontes de abastecimento das necessidades humanas. Na verdade, um pouco mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo, logo menos de 3% da água potável disponível no planeta provém das águas superficiais.

Como se sabe, a água de distribuição e consumo público/humano deve respeitar certas normas de qualidade editadas por cada país ou pela Organização Mundial de Saúde. No entanto, constata-se que tais regras não são respeitadas. Sabe-se que 80% das doenças humanas têm relação com a água não tratada e o saneamento precário. Nos países de terceiro mundo, onde a camada pobre da população não possui o mínimo de saneamento necessário para a subsistência, não se aplicam as normas de qualidades propostas pelos governos. Em cada ano morrem cerca de 25 milhões de pessoas, vitimadas por doenças transmitidas pelas águas contaminadas (Vianna et al., 2014).

## **2.5. Importância da preservação da água subterrânea**

A água é um dos recursos naturais essenciais à vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas. Por isso é fundamental cuidar muito bem das suas reservas e fontes, garantindo a sua existência para toda a sociedade e para as gerações futuras (Iritani et al., 2012).

Segundo Mendonça (1998), o uso correto e a preservação das massas de água já lideram a lista dos problemas técnicos de maior atualidade, mais complexos e de resolução mais urgente. Tanto as questões ligadas à quantidade como as da qualidade da água assumem cada vez maior relevância. A escassez e o aumento da poluição das massas de água doce são fatores progressivamente mais limitativos no desenvolvimento social e económico das sociedades modernas.

Tabela 1. Tempo de permanência da água nos diferentes tipos de reservatórios naturais

<b>Reservatório</b>	<b>Tempo de permanência</b>
Oceanos e mares	4.000 anos
Glaciares	20 . 100 anos
Água subterrânea	100 . 10.000 anos
Lagos	50- 100 anos
Rios	2 - 6 meses
Humidade no solo	1 a 2 meses
Biosfera	1 semana
Atmosfera	10 dias

Fonte: Shiklomanov (1993).

A água existente na zona subterrânea constitui uma das importantes reservas de água, efetiva ou potencial, a nível local, regional e até mesmo global, tabela 1, que importa defender de maneira a garantir o consumo das gerações atuais sem pôr em causa a necessidades das gerações futuras (Oliveira, 2009).

## 2.6. Contaminação das águas subterrâneas

A água subterrânea é uma mistura de águas derivadas de várias partes do ciclo hidrológico. A composição pode variar devido ao período de residência, extensão do percurso hidrológico, atividade de escoamento, agitação, reações químicas e biológicas e natureza dos materiais com que interagem (Oliveira, 2009) e também devido a atividade antrópica

Contaminação é a introdução na água de uma substância indesejável ou alteração das suas propriedades de forma natural ou antrópica. Quando o seu uso se vê reduzido diz-se que a água esta poluída (Almeida, 2000).

A palavra poluição provém do latim (*polluere* sujar) poluição pode ser definida como a alteração da qualidade físico-químico da água, suficiente para superar os limites ou padrões preestabelecidos para determinado fim. Por exemplo, o aumento da temperatura de uma água, além dos limites tolerados por uma determinada espécie de peixes representa uma poluição da água para finalidade a que se destina (Filho, 2000).

A água poluída pode ter como consequência a transmissão de doenças, e o transporte substâncias químicas nocivas. Na grande maioria dos casos, a água subterrânea apresenta níveis menores de contaminação do que a água dos rios, lagos, lagoas (superficial), uma vez que se encontra protegida da contaminação pela filtragem exercida pelo solo. Este facto faz com que, em diversas partes do mundo, a maior parte da água que se bebe seja de origem subterrânea (Planeta Terra, 2007-2009).

Não podemos esquecer que a contaminação das grandes massas de água pela ação antrópica é uma preocupação de todo o mundo. A transmissão de constituintes dos solos por percolação e consequentes riscos de contaminação dos aquíferos dependem das solubilidades destes constituintes ou retenções nos solos, antes de alcançarem o aquífero subterrâneo (Varenes, 2003). As várias ações do homem em busca da satisfação das suas necessidades e realizações podem estar a comprometer a qualidade do meio ambiente com o mau uso de solo, já que a qualidade da água é resultante de fenómenos naturais e da atuação do homem (Isaías, 2010). Os maiores responsáveis pela introdução de substâncias com poder contaminante na água doce são os resíduos de origem urbana, agrícola e industrial (Aparicio, 1999).

A descontaminação da água subterrânea envolve processos caros e morosos. Existem situações em que os níveis de poluição ou contaminação são tão significativos que a melhor atitude é a de abandonar de forma completa por tempo determinado ou indeterminado a utilização do poço e da água que ali existe (Planeta terra, 2007-2009).

Segundo Borsoi et al. (2002), em geral, a poluição das águas subterrâneas se concentra mais em áreas urbanas, onde se encontram grandes volumes de fontes de poluição, como a descarga descontrolada de esgotos em linhas de água, rios e mares bem como a deposição de resíduos sólidos em locais impróprios e sem merecerem qualquer tratamento. O risco de poluição/contaminação das águas subterrâneas é maior quando o solo é mais permeável (arenoso ou muito fissurado). Na maioria dos casos, os efeitos da poluição do subsolo processam-se de uma forma gradual, e

contínua. Se não for eliminado a fonte poluidora com certa antecedência, pode haver a perda completa do manancial e, conforme o caso, dos mananciais vizinhos também.

Segundo Ribeiro et al. (2007), a preocupação a respeito da poluição e contaminação das águas subterrâneas é recente em países do terceiro mundo, uma vez que o usuário do recurso subterrâneo, particular ou governamental, tem pouco ou nenhum conhecimento acerca da importância da preservação deste recurso, assim como as principais consequências da degradação do mesmo. Uma justificativa para este facto é que ao contrário da contaminação das águas superficiais, identificada na maioria das vezes, a contaminação das águas subterrâneas não é visível e a sua exploração muito distribuída, dificultando assim a identificação do problema. A ação protetora ou de interrupção é aplicada tardiamente, além de que quando a contaminação se torna perceptível, geralmente já atingiu uma larga extensão.

Como a recarga dos aquíferos se dá, na maioria dos casos, devido à infiltração da água de chuva em excesso na superfície do solo, o tipo de atividades realizadas nele pode ameaçar a qualidade da água subterrânea (Ferreira, 1988).

## **2.7. Contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas**

Múltiplos fatores podem comprometer a qualidade da água subterrânea, como por exemplo, a descarga dos esgotos domésticos e industriais, construção de fossas sépticas, o depósito de resíduos sólidos urbanos de modo inadequado. Estas são fontes de contaminação contínuas em países sem rede de esgoto e sem recolha de lixos, como é o caso de muitas províncias de Angola (Camargo e Paulosso, 2009).

Segundo Varnier, et al. (2002), o nitrato é o poluente que aparece com maior de frequência nas águas subterrâneas causado pelo uso exagerado de fertilizantes. Além do uso de fertilizantes agrícolas e criação de animais, os sistemas de saneamento *in situ*, quer por tanques sépticos ou fossas rudimentares, constituem outra importante fonte de nitrato nas águas subterrâneas.

A presença de coliformes, em determinadas concentrações, deve ser encarada como um sinal de alerta, indicando a possibilidade de poluição ou contaminação fecal, principalmente quando ocorrem bruscas variações do número de coliformes e *Escherichia coli* (Camargo e Paulosso, 2009).



Município da Chibia e a oeste pelo Município da Bibala (Namibe), com uma extensão territorial de 1.261 km<sup>2</sup>.

### 3.2. Geológico

Na figura 5 apresenta-se um extrato da carta geológica do SW de Angola, publicada em Pereira et al. (2013) onde se podem identificar as rochas aflorantes na região em estudo. As rochas mais antigas são rochas metamórficas, sendo micaxistos, gnaisses e migmatitos às quais se associam granitos de anatexia, constituindo o Complexo Gnaissico-Migmatítico e Granítico (Carvalho, 1982). Estas rochas são pré eburneanas e fazem parte do cratão do Congo. Estas rochas afloram a NE do Lubango.

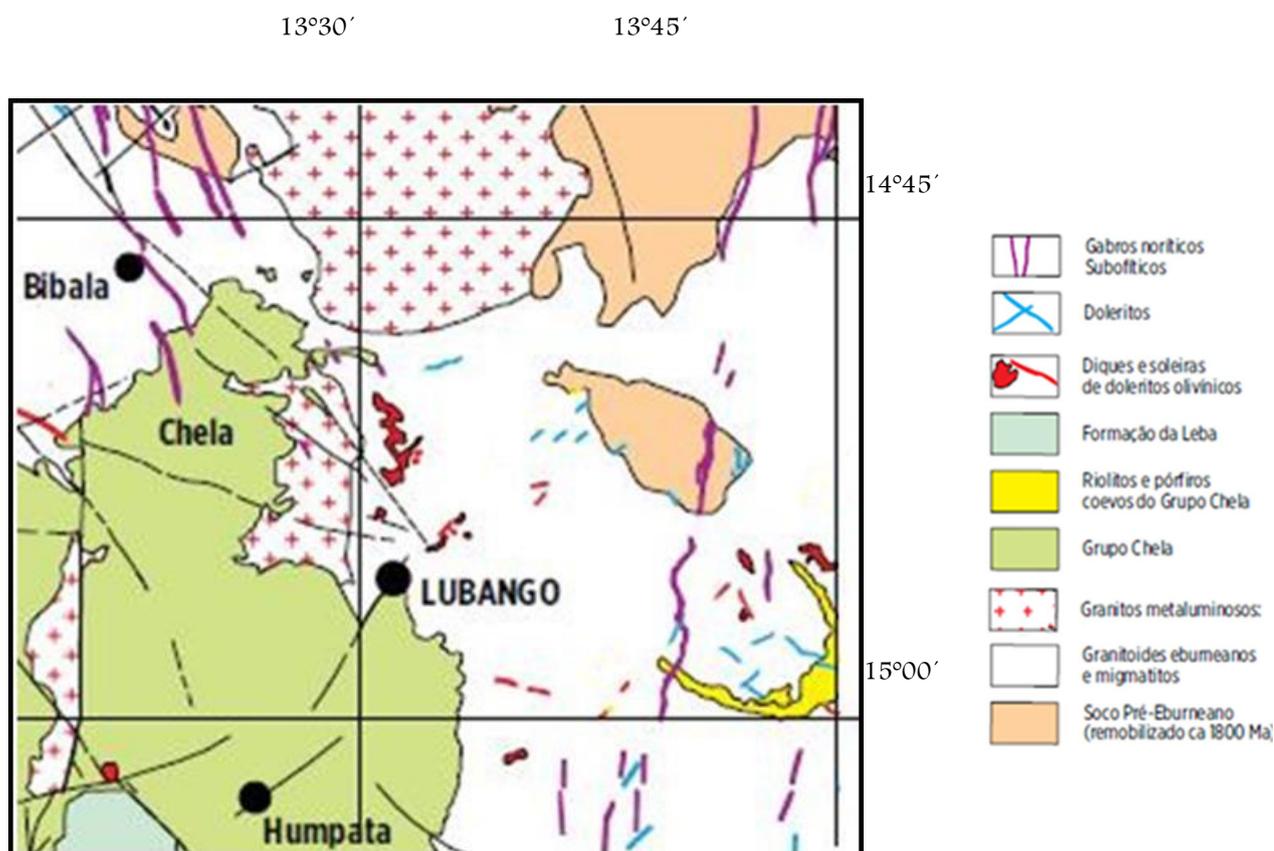


Figura 5. Carta Geológica da região de Lubango. Extraída de Pereira et al. (2013).

A cidade de Lubango assenta essencialmente sobre rochas graníticas biotíticas, granulares ou porfiróides, por vezes muito alteradas, mas é possível encontrar

afloramentos de rocha pouco alterada de tonalidade rósea ou esverdeada se a quantidade de epidoto e clorite for significativa. Estes granitos foram designados por granito regional por Carvalho (1982), pois apresenta grande extensão no SW angolano. São intrusivos no Complexo Gnaissico-Migmatítico e Granítico. Datações recentes de alguma fácies graníticas nesta região (McCourt et al., 2013) indicam que estão relacionadas com a orogenia Eburneana com idades de  $1953,8 \pm 6,4$  Ma e  $2038 \pm 28$  Ma. Neste granito regional Pereira et al. (2013) distinguiram uma fácies metaluminosa, com hornblenda, de origem crustal que dataram por U-Pb obtendo uma idade e  $1947 \pm 5$  Ma, sendo também eburneana.

O granito regional é coberto pelas rochas sedimentares do Grupo da Chela e a cidade de Lubango já se expande sobre esta formação (Fig. 5). O aquífero onde se localiza a captação de água da cidade está localizado nesta formação.

O Grupo da Chela, com 600 m de espessura, é formado por rochas sedimentares depositadas numa bacia epicratónica fluvio-marinha, com rochas vulcânicas intercaladas (Pereira et al., 2011). A base do Grupo é a Formação da Tundavala formada por conglomerados e quartzo-arenitos. A Formação da Humpata de cor avermelhada ou creme, sobre põe-se-lhe por inconformidade litológica e nela ocorrem materiais piroclásticos e intercalações de arenitos siliciosos. Rochas vulcânicas ácidas desta formação têm idades de  $1798 \pm 11$  Ma (McCourt et al., 2013) e de  $1814 \pm 7$  Ma (Pereira et al., 2011).

Sobrepostas ocorrem a Formação do Bruco de carater conglomerático e a Formação de Cangalonge formada por arenitos e shales vermelhos e com carbonatos no topo (Pereira et al., 2011). Sobre esta ocorrem calcários dolomíticos da Formação da Leba, que já não pertence ao Grupo da Chela.

Na região a ESE do Lubango afloram pórfiros ácidos que de acordo com Pereira et al. (2013), são contemporâneos da sedimentação do Grupo da Chela. Diques, e soleiras de rochas ígneas básicas cortam os granitos e o Complexo Gnaissico-Migmatítico e Granítico. Na cidade de Lubango estas soleiras funcionam como níveis impermeáveis que permitem o armazenamento de água no granito alterado (Zeferino, 2010). A idade U-Pb de uma destas soleiras no Planalto de Humpata é de  $1502 \pm 5$  Ma (Ernst et al., 2013), sendo testemunhos dos estágios iniciais de distensão crustal que levou à fragmentação do super continente Rodínia.

### 3.3. Geomorfológico

Feio (1981) apresentou um estudo detalhado sobre a geomorfologia do sudoeste de Angola e no seu mapa Geomorfológico onde considerou 10 unidades geomorfológicas. Na figura 6 apresenta-se um extrato deste mapa geomorfológico referente à região do Lubango. A transição entre o Planalto Principal e o Planalto de Humpata-Bimbe pode observar-se na cidade do Lubango. Um apreciável degrau de erosão, que assume o aspecto de escarpa, por vezes revestida da rocha nua, separa as duas unidades nas imediações da cidade de Lubango.

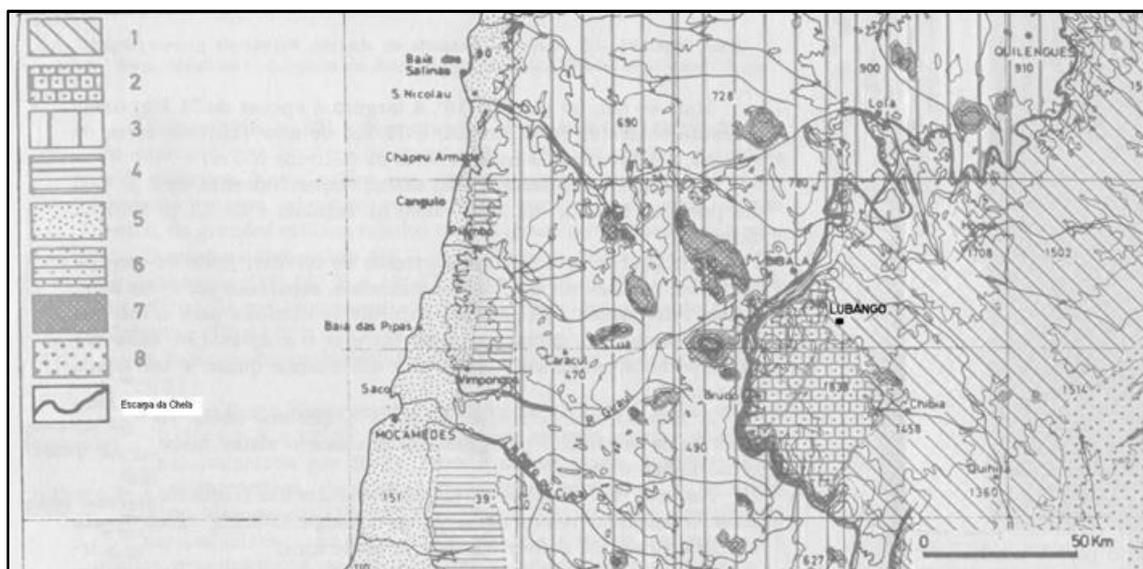


Fig. 6 - Extrato da carta (Feio, 1981). Legenda- 1: Planalto principal; 2: Planalto de Humpata . Bimbe; 3: Superfície intermédia; 4: Superfície de Flexura; 5: Plataformas litorais; 6: Planalto estrutural do Curoca; 7: Relevos residuais; 8: Depósitos da bacia do Cuanhama.

O Planalto Central é caracterizado por uma antiga, extensa e monótona superfície, uma peneplanície, fortemente dissecada pela erosão ativa, em conexão com a forte pluviosidade regional. A extensa superfície planáltica que atinge o seu topo a 1750 m - 1800 m de altitude e na região de Quipungo atinge 1318 m. No seu interior ocorrem montes-ilha que são relevos residuais que, contudo se observam em maior número na superfície intermédia (Fig. 6). Os rios nela existentes, de vertentes suaves serpenteiam por vales muito abertos. O Planalto da Humpata- Bimbe atinge altitudes de 1930-2300 m (Bimbe) e apresenta no seu bordo oeste uma escarpa grandiosa com

desníveis de 1000-1500 m, por vezes praticamente verticais. A superfície do planalto é muito suave, com declives quase horizontais e a drenagem.

### **3.4. Climático e hidrológico**

Os recursos hídricos estão relacionados com o clima, que influencia os regimes hidrológicos, os solos e a vegetação. Angola apresenta grande diversidade e riqueza de recursos hídricos, alguns transfronteiriços, que são, contudo subaproveitados (Roosbroeck et al., 2006) e que apresentam alguns problemas. Destaca-se o acumulado de inertes devido à erosão das rochas, acelerada pela prática de desmatamento, bem como do arrastamento de resíduos sólidos e chorume das cidades, pelas águas de escorrência, levando assim com que haja em alguns casos a contaminação da água tanto superficial quanto da subterrânea.

Os valores de precipitação médios anuais referidos em Cruz (1940) indicam 1468 mm para o Lubango e 917 mm para Humpata. Nos últimos 5 a 6 anos não têm havido registo oficial dos dados climáticos, mas tem-se verificado uma redução na pluviosidade. Segundo a base de dados weatherbase ([www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com)) os valores da precipitação no Lubango nos últimos 13 anos têm uma média anual de 880 mm. A região do Lubango possui um grau de higrométrico de 50° (Cruz, 1940). Registam-se dois máximos de precipitação, um em novembro e outro em março. Em janeiro - fevereiro tem lugar um pequeno período seco de duas a três semanas, em alguns anos sensivelmente mais prolongado.

No global o clima é húmido e moderadamente quente, com temperatura média anual de 18,6°C, sendo o Lubango uma das cidades mais fria de Angola. junho e julho são os meses mais frios, com eventuais geadas. Os valores extremos de temperatura registados nos últimos 18 anos variam de -1 a 38°C, ([www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com)). Na região da Palanca a temperatura do ar é ainda menor, devido à altitude, contudo não há registos atuais de dados climáticos desta região.

A região enquadra-se na bacia hidrográfica do rio Cunene (Fig. 7). A cidade de Lubango é atravessada por vários cursos de água, sendo o principal o rio Mapunda, que tem origem a NE da cidade do Lubango. Este rio é frequentemente chamado de



## 4. Metodologia

### 4.1. Metodologia de amostragem

Para a fundamentação teórica do trabalho recorreu-se a trabalhos académicos (dissertações), livros de Geologia, Hidrologia, Geoquímica, Solos, de informações da Administração Municipal do Lubango, do Governo Provincial da Huíla, assim como ao recurso à internet e a trabalhos publicados em revistas científicas. A seleção dos locais de amostragens (poços) para este estudo foi feita segundo os seguintes critérios:

As populações destas áreas consomem com frequência água destes poços, que em alguns casos são a única fonte de água;

Haver alta densidade populacional ou vir a haver num futuro próximo, devido à grande atividade de construção de habitações;

Ter acesso disponível e ter fossas sépticas localizadas nas proximidades dos poços.

Foram selecionados 12 locais de amostragem (Fig. 8) em quatro bairros: Tchico (pontos: CH6; CH7; CH8; CH9); Nambambi (ponto: NA1); Bula Matadi e Lalula (pontos: BML2 e BML2) de alta densidade populacional.



Figura 8. Localização geográfica dos pontos de amostragem nas regiões do Lubango e Palanca - Humpata (imagem do Google Earth 2014).

Foram seleccionados também dois poços no bairro Comandante Cowboy (pontos: CV1 e CV3), que apresenta atividade agrícola residual. Estes pontos localizam-se na área urbana do Lubango. Foram também escolhidos 3 poços na região da Palanca (pontos: PA1; PA2 e PA3), numa zona que presentemente está a ser ocupada para habitação com grande construção.

O crescimento dos bairros é na sua maioria caótico, com falta da rede de água potável, saneamento básico e recolha de lixos. Os habitantes usam fossas sépticas e cacimbas em suas residências e nos bairros há lixos urbanos dispersos caoticamente.

## 4.2. Caracterização dos pontos de amostragens

A localização dos pontos de amostragem no Bairro Comandante Cowboy é dada na figura 9.



Figura 9. Localização geográfica dos pontos de amostragem no bairro Comandante Cowboy . Casa verde (imagem do Google Earth 2014).

O bairro está localizado na zona oeste da cidade do Lubango, onde até recentemente era praticada a agricultura, atualmente ainda se notam sinais, tais como algumas hortas familiares, pomares, estábulos e gado a pastar nos arredores das moradias. Os poços foram escavados em solo laterítico (Fig. 10) e o substrato rochoso é granito. O poço CV3 desabou recentemente e há introdução direta de águas residuais domésticas e da escorrência.



Figura 10 a. Poço sem proteção adequada.



Figura 10 b. Interior do poço - CV3.

No bairro do Tchioco um dos poços amostrados (CH7) é revestido a tijolo e que possui proteção (Fig.11). Este poço é muito antigo, provavelmente da época colonial.



Figura 11a. Poço com proteção adequada . CH7.



Figura 11b. Interior do poço - CH7.

A localização dos pontos de amostragem no Bairro Tchioco é dada na figura 12. A densidade populacional é maior neste bairro, que se estende até ao perímetro do aeroporto (Fig. 12). O bairro do Tchioco está localizado no sudeste da cidade do Lubango, o solo é na sua maioria de tonalidade avermelhada/acastanhada e as camadas de laterite prolongam-se até abaixo de 3 . 4 m. Quando os poços secam são aprofundados até ser encontrada nova camada de laterite, que funciona como barreira impermeável e o substrato é granito.



Figura 12. Localização geográfica dos pontos de amostragem no Bairro do Tchioco (imagem do Google Earth 2014).

Os bairros do Nambambi e Bula Matadi e Lalula estão localizados na zona leste da cidade do Lubango, a cor do solo varia de vermelho/acastanhado a acinzentado.



Figura 13. Localização geográfica dos pontos de amostragem nos Bairros Nambambi e Bula Matadi e Lalula (imagem do Google Earth 2014).

Os poços são escavados em camada laterítica muito degradada e o substrato é granito. As características dos poços são dadas nas figuras 14a e 14b mostra-se o aspecto do poço BML 1.



Figura 14a. Poço com proteção inadequado . BML1.



Figura 14b. Interior do poço- BML1.

A região da Palanca está localizada na zona leste do Município da Humpata, a sudoeste de Lubango, e o substrato rochoso é constituído pelas rochas do Grupo da

Chela. No solo há desenvolvimento de camadas de laterite mais ou menos degradadas. A localização dos poços é dada na figura 15. No poço amostrado com o código PA3 foi encontrado material argiloso branco, provavelmente rocha vulcânica ácida alterada (Fig. 16).



Figura 15. Localização geográfica dos pontos de amostragem da região da Palanca (imagem do Google Earth 2014).



Figura 16a. Material argiloso retirado aquando da escavação do poço PA3.



Figura 16b. Interior do poço - PA3.

As coordenadas geográficas e a profundidade da água, dos poços amostrados, estão apresentadas na tabela 2. Em todos os pontos de amostragem foi constatado que o nível da água está mais elevado no período da manhã e vai diminuindo à medida que a população usa a água. A altura da água está muito dependente da estação chuvosa. Por um lado há mais infiltração e a população usa menos água do poço, pois usa água da chuva que armazena em recipientes.

Tabela 2- Coordenadas geográficas, profundidades, distância entre poço e foco de contaminação e localização.

Código dos pontos	Coordenadas geográficas	N.P época chuvosa	N.P época seca	Profundidade	Distância poço fossa séptica	Nomes dos Bairros
CH6	14°56'33.63"S 13°32'40.52"E	2,1	2,8	3,72	10,5	Tchico
CH7	14°56'35.52"S 13°32'45.66"E	0,2	0,6	7	70	Tchico
CH8	14°55'49.10"S 13°33'09.54"E	5,1	6,7	8	16	Tchico
CH9	14°55'19.90"S 13°32'39.43"E	3,15	3,3	3,9	13,5	Tchico
CV1	14°54'56.74"S 13°27'47.06"E	1,4	2,2	2,8	33	Comandante Cowboy
CV3	14°55'15.34"S 13°28'05.99"E	1,6	2,15	3	13	Comandante Cowboy
NA1	14°53'20.93"S 13°31'00.37"E	1,3	1,67	13	8,5	Nambambi
BML1	14°53'48.61"S 13°30'49.42"E	1,5	1,7	8	11	Bula Matadi e Lalula
BML2	14°54'30.37"S 13°31'31.17"E	6	6,1	6,2	14	Bula Matadi e Lalula
PA1	15°00'15.91"S 13°25'28.10"E	0,2	0,96	1,1	10	Comuna da Palanca
PA2	15°2'58.79"S 13°27'5.33"E	5,8	6,55	9,8	N.E	Comuna da Palanca
PA3	15°00'39.03"S 13°26'19.31"E	1,5	3,3	5,12	N.E	Comuna da Palanca

CH . codificação atribuída ao Bairro do Tchico; CV . codificação atribuída ao Bairro Comandante Cowboy, NA . codificação atribuída ao Bairro Nambambi, BML . codificação atribuída ao Bairro Bula Matadi e Lalula e PA . codificação atribuída à Comuna da Palanca, NP . altura da água.

A primeira campanha decorreu de março a maio de 2014, correspondente a época chuvosa. A segunda campanha foi efetuada de junho a agosto de 2014 correspondente a época seca.

### 4.3. Análise *in situ*

Em cada ponto de amostragem foram registados os seguintes itens:

Coordenadas geográficas;

Profundidade do poço (utilizou-se fita métrica);

Altura da água (utilizou-se fita métrica);

Caraterísticas da área envolvente;

Distância do foco de contaminação (utilizou-se fita métrica);

Existência de muro de proteção;

Tipo de material geológico encontrado;

Tipo de revestimentos do poço interior;

Uso da água captada;

Fotografia dos locais de amostragem e sua envolvente;

Foi realizada a determinação dos parâmetros físico-químicos da água com recurso a um medidor multiparâmetros (Fig. 17), previamente calibrado no laboratório. Foram determinados: oxigénio dissolvido em % de saturação e em mg/L; pH; temperatura em graus centígrados; condutividade elétrica e condutividade elétrica específica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , potencial de oxidação redução em mV e totais de sólidos dissolvidos em mg/L. No campo fez-se a calibração do oxigénio dissolvido e em cada local foram recolhidas água para análise no laboratório.

#### **4.4. Metodologia operacional no campo**

Em função do nível de água as medições eram feitas diretamente na água do poço (Fig.18), se o nível da água o permitia; caso contrário a água era retirada com um balde preparado unicamente para este propósito e as medições eram feitas dentro deste. O balde era sempre previamente lavado com a água do poço. O elétrodo era lavado todos as vezes que fosse utilizado com água destilada e seco com papel e em seguida guardado na pasta apropriada.

Para a recolha de amostra para análise em laboratório, foram utilizados frascos de água mineral de 1,5 L (Fig. 20) que antes da sua utilização eram lavados três vezes com a água da amostra e em seguida enchia-se totalmente com a água da amostra e levava-se ao laboratório. Fez-se a etiquetagem das amostras indicando a data de

colheita (Fig. 19). As amostras eram acondicionadas na viatura com ar condicionado e levadas rapidamente ao laboratório onde se mantiveram no frio.



Figura 17. Aparelho multiparâmetros no poço CH9. Figura 18. Medição direta no poço CH9.



Figura 19. Tipo de garrafa para amostragem e codificação a vermelho.

## 4.5. Metodologia de análise laboratorial

As análises químicas foram feitas com um fotómetro de bancada de marca HANNA, modelo HI83200 (Fig. 21, 22), que usa os princípios da fotometria. No dia da colheita eram analisados a alcalinidade; nitritos; nitratos e amónia.



Figura 20. Fotómetro e outros equipamentos de laboratório.



Figura 21. Preparação da amostra para análise da água em laboratório.

A determinação dos teores é feita por comparação da quantidade de radiação absorvida pela amostra não reagida com a quantidade de radiação absorvida pela amostra reagida com o reagente usado para determinar o analito em questão.

A lavagem das cuvetes do fotómetro e do material de laboratório de uso corrente foi muito cuidadosa, por serem equipamentos muito delicados. As análises foram executadas nas instalações do Campus do Instituto Superior Politécnico Tundavala, local onde se encontra instalado o laboratório.

Cuidados antes, durante e depois de manuseamento do fotómetro e no laboratório:

1. Usar bata e luvas (Fig. 21);
2. Passar a cuvete do aparelho onde se coloca a amostra, três vezes pela água da própria amostra, depois de ter sido lavada com água desmineralizada;
3. Limpar a cuvete e sua envoltória de maneira a não ficar resíduos de humidade e impressões digitais, fatores estes que em muitos casos condicionam a leitura feita pelo aparelho.

## 5. Resultados e discussão

### 51. Parâmetros físico-químicos

Os resultados obtidos na determinação dos parâmetros físico-químicos das águas para as duas campanhas de amostragem (época chuvosa e época seca) são dados nas Tabelas 3 e 4 respetivamente.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos determinados *in situ* na primeira campanha de amostragem de março a maio de 2014 - épocas chuvosa e quente

Parametros físico-químicos determinados in situ Primeira fase de amostragem de março a Maio de 20014													
Bairros	Tchioco				Nambambi	Bula Matadi e Lalula			Comandante Cowboy		Palanca		
Codigo de amostragem	CH6	CH7	CH8	CH9	NA1	BML1	BML2	CV1	CV3	PA1	PA2	PA3	
T °C	21,6	19,97	19,97	23,1	22,42	22,34	21,69	22,25	22,09	20,39	21,08	20,33	
pH	5,66	4,52	5,08	5,83	4,91	5,68	5,78	4,67	4,97	5,28	4,49	3,83	
DO(mg/L)	2,85	0	0	1,42	1,32	0,88	3,16	4,24	4,46	2,22	3,51	5,58	
C.E.ep (µS/cm)	276	128	128	933	843	1652	496	708	66	60	20	5	
C.E (µs/cm)	258	116	116	899	801	1568	465	671	62	54	19	5	
ORP (mV)	5,1	58,2	3,8	34,6	293,6	295,2	296,3	34,2	70,3	173,5	77	144,1	

T: temperatura; DO: oxigénio dissolvido; C.E.ep: condutividade elétrica específica, C.E: condutividade elétrica; ORP: potencial de oxidação redução.

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos determinados *in situ* na segunda campanha de amostragem de junho a agosto 2014 - época seca e fria

Parametros físico-químicos determinados in situ Segunda fase de amostragem de Junho a Agosto de 20014													
Bairros	Tchioco				Nambambi	Bula Matadi e Lalula			Comandante Cowboy		Palanca		
Codigo de amostragem	CH6	CH7	CH8	CH9	NA1	BML1	BML2	CV1	CV3	PA1	PA2	PA3	
T °C	20,82	18,33	19,82	22,45	21,63	21,66	21,04	20,07	17,95	17,72	20,51	18,24	
pH	5,45	5,18	5,75	6,72	5,78	6,47	5,94	5,84	6,33	5,46	4,72	5,58	
DO (mg/L)	0,15	0	0,73	1,5	0,17	0,52	3,45	1,29	0,94	4,99	3,07	3,66	
C. E.ep. (µS/cm)	194	172	61	924	892	1767	238	83	191	31	162	0	
C.E. (µs/cm)	179	151	55	880	835	1655	220	75	166	27	149	0	
ORP (mv)	70,7	33,1	97,2	-30,7	59	48,3	130,1	27,4	29,5	65,2	36,4	26,9	

T: temperatura; DO: oxigénio dissolvido; C.E.ep: condutividade elétrica específica, C.E: condutividade elétrica; ORP: potencial de oxidação redução.

Os valores de temperatura registados nos vários pontos de amostragem variaram de 20 a 23,1°C, na época chuvosa e quente, com média de 21,4°C e variaram de 17,7 a

Fábio Paulo Lunge António

22,5°C na época seca e fria (Fig. 22), com média de 20°C. Os valores médios da temperatura das águas não são muito distintos e são próximos dos encontrados por Zeferino (2011) e Cavantchane (2013) em trabalhos realizados na mesma área, que variaram entre 21 e 22°C nas duas épocas.

Esta pequena variação nos valores da temperatura deve-se ao facto de serem águas subterrâneas, que possuem uma magnitude térmica pequena, isto é, a temperatura que se observa na superfície/atmosfera não altera os valores térmicos das águas subterrâneas. Deve-se, contudo notar que na época seca há maior variação na temperatura da água (Fig. 23), pois esta é mais usada, havendo maior aporte da água para os poços.

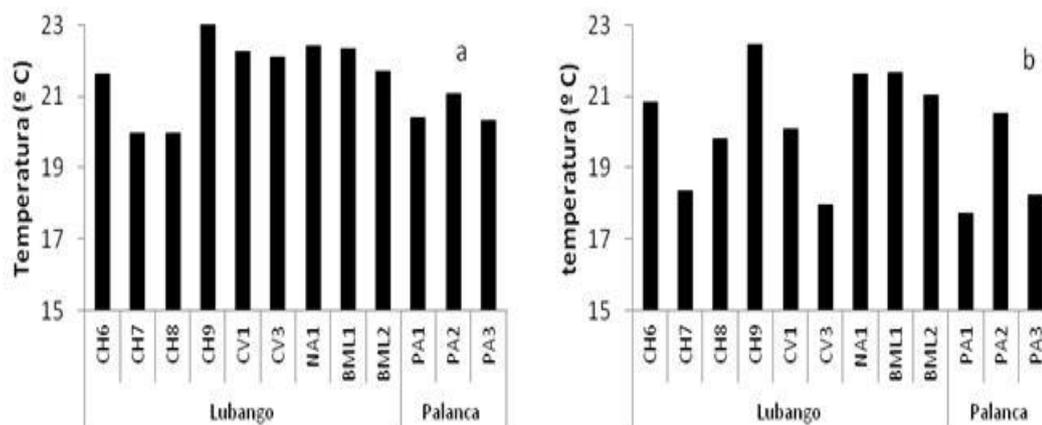


Figura 22. Diagramas de barras da variação da temperatura nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca na época chuvosa e quente (a) e na época seca e fria (b).

A temperatura da água aumenta a solubilidade da maioria dos sais, pelo que, na época chuvosa e mais quente a condutividade elétrica específica é maior do que na época seca e fria e estes dois parâmetros mostram um padrão de variação semelhante (Fig.23).

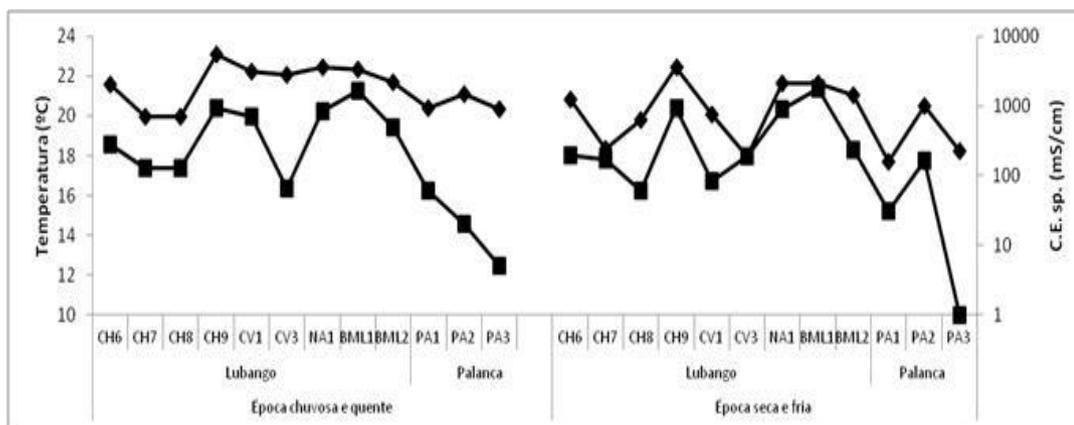


Figura 23. Padrão de variação da temperatura e da condutividade elétrica.

O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez de um ambiente e é determinado pelo balanço entre iões hidrogénio ( $H^+$ ) e hidróxido ( $OH^-$ ), que irão determinar o valor ácido ou básico da água. Na água quimicamente pura os iões  $H^+$  estão em equilíbrio com os iões  $OH^-$  e seu pH é neutro, ou seja, igual a 7. Os fatores fundamentais que controlam o pH da água são o gás carbónico dissolvido e a alcalinidade. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 (Corcóvia e Celligoi, 2012), dependendo da litologia, sendo os valores mais baixos encontrados em rochas ácidas e os mais elevados em rochas carbonatadas.

O pH influencia o equilíbrio geoquímico e a solubilidade de muitas espécies iónicas na água subterrânea. Em  $pH < 5$ , os metais são mais facilmente solubilizados e tornam as águas mais tóxicas. Em valores mais elevados de pH, os metais tendem a precipitar.

Os valores registados de pH variaram de 3,8 a 5,8 na época chuvosa e de 4,7 a 6,7 na época seca (Fig. 24), tratando-se de águas ligeiramente ácidas. Estes valores são inferiores aos valores 4,6 a 7,5 encontrados por Cavantchane (2013), em águas subterrâneas na área urbana de Lubango. Deve notar-se que os valores mais baixos de pH foram encontrados nas águas dos poços escavados nas rochas do Grupo da Chela.

Os valores mais baixos de pH na época chuvosa provavelmente controlam a quantidade de espécies em solução e por isso os valores da condutividade elétrica específica são maiores na época chuvosa e estes dois parâmetros físico-químicos mostram um padrão de variação que é semelhante (Fig. 25).

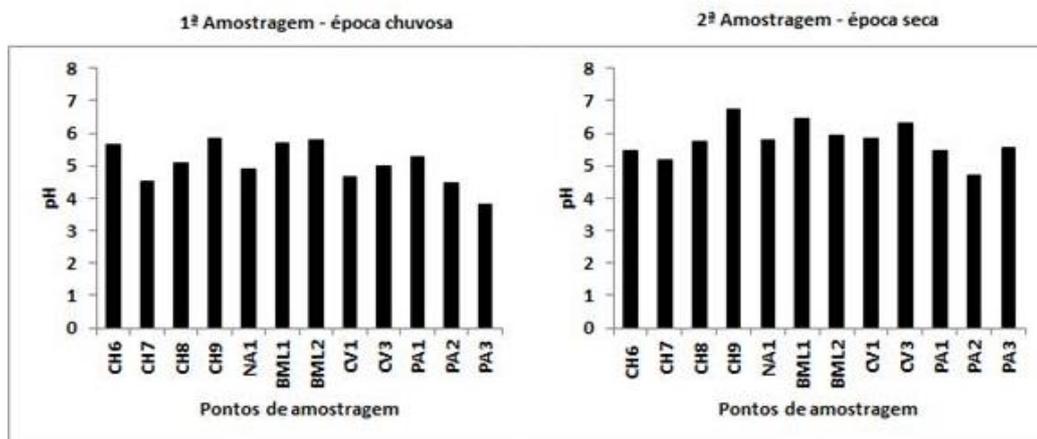


Figura 24. Diagramas de barras da variação de pH nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

As figuras 23 e 25 mostram que a variação de T e de pH influenciam a quantidade de sais que a água pode dissolver.

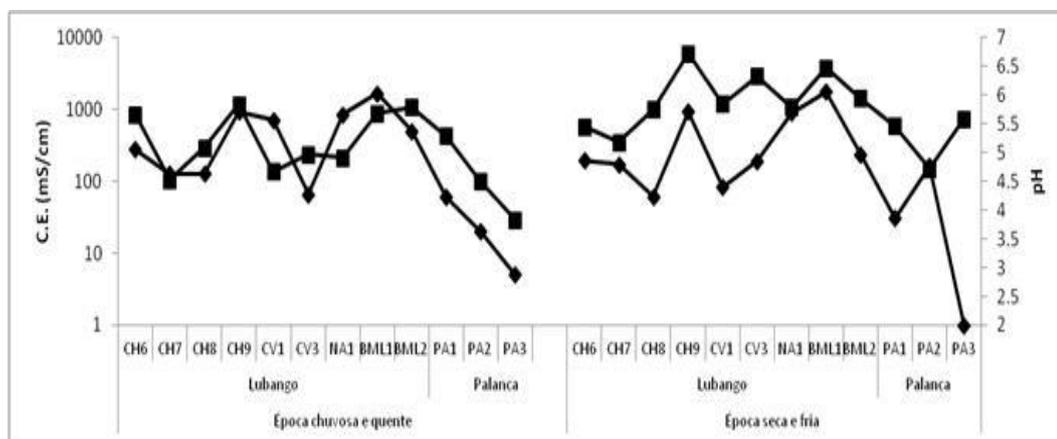


Figura 25. Padrão de variação da condutividade elétrica e do pH.

A condutividade elétrica relaciona-se com a quantidade de sais dissolvidos e ionizados existentes na água. A dissolução de sais transforma a água num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica e quanto maior a quantidade de sais dissolvidos maior a condutividade elétrica. Como existe uma relação de proporcionalidade entre o teor de

sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se calcular o teor de sais pela medida de condutividade de uma água (Corcória e Celigoi, 2012).

A condutividade elétrica de uma água está dependente da temperatura, pois depende da velocidade dos iões dissolvidos, pelo que para anular este efeito na interpretação dos resultados, normalizam-se os valores da condutividade elétrica medida a uma dada temperatura para 25°C e o valor obtido é a condutividade elétrica específica.

Os valores da condutividade elétrica específica determinada nas duas épocas de amostragem variaram de 5 a 1652  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na chuvosa e 0 a 1767  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na época seca (Tabelas 3 e 4 e Fig 26). Se bem que os valores mais elevados tenham sido encontrados na época seca, há uma tendência para que na época de chuvas os valores da condutividade sejam mais elevados, o que se pode dever ao facto da temperatura ser maior e a dissolução vir também a ser maior (Fig. 27).

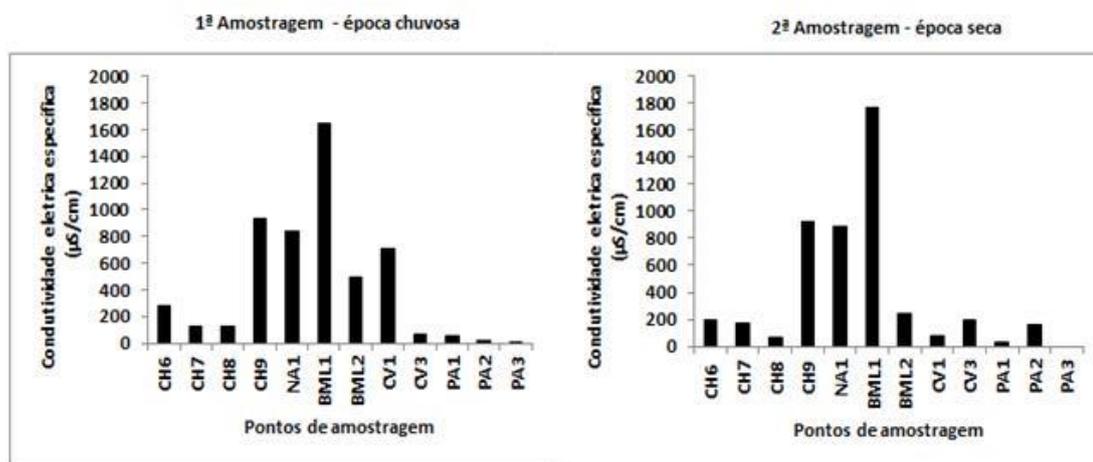


Figura 26. Diagramas de barras da variação da condutividade elétrica específica nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Os valores mais elevados de condutividade elétrica específica foram encontrados no ponto BML1 nas duas épocas. Este ponto fica localizado no Bairro Bula-Matade e Lalula e a água está a 1,5 e 1,7 m de profundidade na época chuvosa e na época seca respetivamente e o poço tem 8 m de profundidade e é revestido a blocos de cimento. O ponto CH9, localizado no Bairro do Chioco também apresenta valores elevados de

condutividade elétrica específica 933 e 924  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os poços localizados na Palanca são os que têm a água com a menor condutividade elétrica (Fig. 15) e o poço PA3 apresenta valores muito baixos de 0 e 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este poço possui na sua base uma camada argilosa (Fig. 16) o que pode explicar a baixa condutividade elétrica desta água, pois os minerais de argila possuem cargas elétricas negativas. Devido às cargas negativas, as partículas de argila atraem catiões.

As águas dos poços localizados na Palanca são as que possuem condutividade elétrica mais baixa. Tal deve-se à litologia, pois as rochas ácidas do Grupo da Chela são constituídas essencialmente por quartzo, mineral que é de difícil meteorizar. As argilas provenientes da meteorização das rochas vulcânicas ácidas alteradas possuem grande poder de adsorção o que contribui para baixar a condutividade. Além disso, a ocupação antrópica é muito recente.

Os valores de TDS das amostras analisadas são calculados pelo medidor multiparâmetros a partir dos valores da condutividade elétrica, pelo que as relações encontradas se referem a ambos os parâmetros. Segundo a WHO (2011), uma água com um TDS superior a 1000 mg/L é inaceitável pelo seu paladar, e que valores inferiores a 600 mg/L são geralmente aceitáveis, mas não indica valor guia relacionada com a saúde dos consumidores. A água dos poços BML1 tem 884 e 826 mg/L de TDS, valor que a torna imprópria para o consumo dos habitantes do bairro, pelo seu sabor salgado.

Os valores de oxigénio dissolvido na água variaram de 0 a 5,58 mg/L na época chuvosa e de 0 a 4,99 mg/L na época seca (Tabelas 3 e 4). Estes valores são baixos e caraterísticos de águas subterrâneas, isoladas do ar ambiente. Há uma variação muito grande nos teores de oxigénio dissolvido nas águas nas duas épocas e nos vários locais o que se deve provavelmente à frequência com que a água é extraída dos poços (Fig.27).

Na época seca os teores de oxigénio dissolvido são na generalidade menores pois nesta época há mais consumo desta água logo maior abstração da água do aquífero, que não está em contacto com o oxigénio.

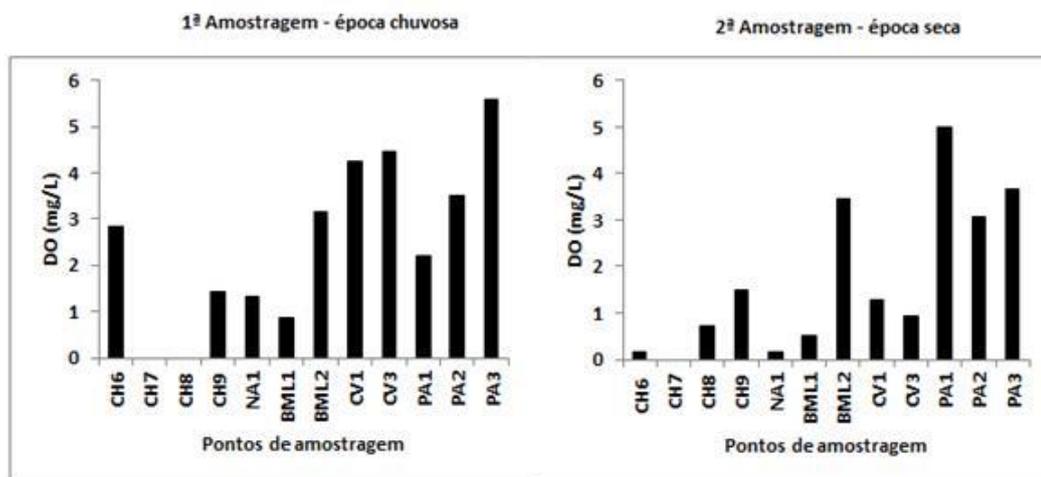


Figura 27. Diagramas de barras da variação de oxigénio dissolvido nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Os valores de Potencial de Oxidação Redução da água variaram de 3,8 a 296,3 mV na época chuvosa e -30,7 a 130,1 mV na época seca (Tabelas 3 e 4). Estes resultados são similares aos encontrados por Zeferino (2011) e Cavantchane (2013), com registos de 128,4 a 142 mV e 77,9 a 195 mV na época chuvosa e -58,7 a 38,5 mV e -81.9 a 207.4 mV na época seca. Os valores do potencial de oxidação redução estão diretamente relacionados com a quantidade de oxigénio dissolvido, o que explica haver subida dos valores de ORP quando sobem os teores de oxigénio dissolvido (Fig. 27 e 28),

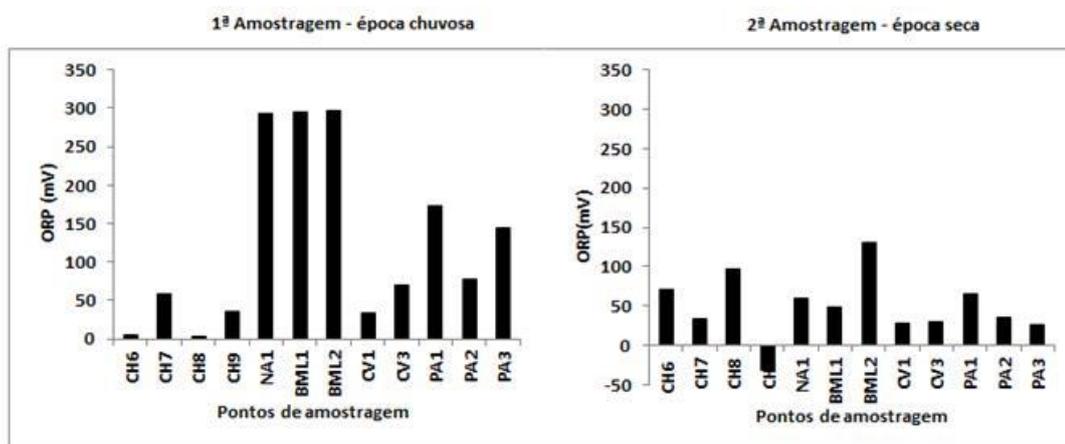


Figura 28. Diagramas de barras da variação do potencial de redução e oxidação dos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

## 5.2. Parâmetros químicos

Os resultados obtidos nas análises químicas das águas amostradas são dados nas tabelas 5 (época chuvosa) e 6 (época seca).

Tabela 5. Espécies químicas analisadas na primeira época de amostragem de março a maio de 2014

Parâmetros físico-químicos determinados in situ Primeira fase de amostragem de março a maio de 2014													
Bairros	Tchioco				Nambambi		Bula Matadi e Lalula		Comandante Cowboy		Palanca		
Código de amostragem	CH6	CH7	CH8	CH9	NA1	BML1	BML2	CV1	CV3	PA1	PA2	PA3	
Alcalinidade - (mg/L)	Não detetada em nenhum dos pontos de amostragem												
Nitrito - (mg/L)	<l.d	0,07	<l.d	<l.d	0,05	<l.d	0,09	<l.d	0,03	<l.d	<l.d	<l.d	
Nitrato - (mg/L)	5,3	1,9	1,1	20,1	23,7	23,8	3,9	<l.d	4,2	10	0,5	0,7	
Fosfato - (mg/L)	0,52	0,17	0,1	0,37	0,28	0,5	0,3	0,2	0,31	0,18	0,13	0,07	
Sulfato - (mg/L)	25	5	5	65	10	l.d>	25	<l.d	10	<l.d	<l.d	<l.d	
Amónia - (mg/L)	<l.d	<l.d	0,04	<l.d	<l.d	0,06	<l.d	<l.d	<l.d	0,02	0,09	0,03	
Sílica - (mg/L)	11,16	12,96	8,76	12,96	12,16	7,92	12,64	11,64	15,84	7,62	8,88	2,82	
Potássio - (mg/L)	19	4	<l.d	20	19	20	6,5	4	13	2	1,5	<l.d	
Magnésio - (mg/L)	10	5	5	15	10	35	10	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	
Zinco - (mg/L)	Não detetada em nenhum dos pontos de amostragem												
Ferro - (µg/L)	408	355	136	44	48	34	126	53	63	<l.d	74	33	
Crómio - (µg/L)	Detetada apenas na amostra CV1 com o registo de 13												
Manganês - (µg/L)	Não detetada em nenhum dos pontos de amostragem												
Cobre - (µg/L)	<l.d	<l.d	150	<l.d	16	<l.d	2	<l.d	57	46	<l.d	<l.d	

<l.d: menor limite de detenção.

Tabela 6. Espécies químicas analisadas na segunda época de amostragem de junho a agosto de 2014

Parâmetros físico-químicos determinados in situ Segunda fase de amostragem de junho a agosto de 2014													
Bairros	Tchioco				Nambambi		Bula Matadi e Lalula		Comandante Cowboy		Palanca		
Código de amostragem	CH6	CH7	CH8	CH9	NA1	BML1	BML2	CV1	CV3	PA1	PA2	PA3	
Alcalinidade - (mg/L)	Não detetada em nenhum dos pontos de amostragem												
Nitrito - (mg/L)	0,01	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	0,01	0,03	0,1	<l.d	<l.d	1,7	<l.d	
Nitrato - (mg/L)	30	3,5	3,3	20,9	30	5,8	<l.d	0,7	0,7	0,4	<l.d	1,9	
Fosfato - (mg/L)	0,39	0,3	0,33	0,28	0,12	0,17	0,48	0,29	0,16	0,14	28	0,16	
Sulfato - (mg/L)	5	<l.d	<l.d	35	95	10	5	5	5	<l.d	0,18	<l.d	
Amónia - (mg/L)	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	0,12	<l.d	0,54	<l.d	<l.d	<l.d	
Silica - (mg/L)	13,3	15,2	6,8	15,2	15,3	17,7	19,3	11,9	15,4	9,7	8	3,4	
Potássio - (mg/L)	<l.d	5,5	1,5	<l.d	17,5	16,5	<l.d	5,5	6	0,5	<l.d	<l.d	
Magnésio - (mg/L)	<l.d	8	<l.d	15	25	40	<l.d	<l.d	<l.d	15	3,05	<l.d	
Zinco - (mg/L)	Detetada apenas na amostra CH6 com o valor de 0,04												
Ferro - (µg/L)	132	340	121	61	179	90	93	285	387	314	15	90	
Crómio - (µg/L)	<l.d	19	8	1	8	3	<l.d	7	9	<l.d	18	1	
Manganês - (µg/L)	Não detetada em nenhum dos pontos de amostragem												
Cobre - (µg/L)	7	86	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	127	<l.d	100	<l.d	

<l.d: menor limite de detenção.

A alcalinidade é a medida da capacidade de uma água de neutralizar ácidos. É um parâmetro gregário da água que depende da soma das quantidades de iões carbonato, bicarbonato e hidroxilos dissolvidos na água e os seus valores são expressos em mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Celligoi, 1999). Para os valores de pH encontrados nas águas analisadas a alcalinidade é determinada pela quantidade de bicarbonato presente, pois os seus valores de pH são inferiores a 8,1. Águas com pH inferior a 4,5 possuem o carbonato total sob a forma de ácido carbónico e não possuem alcalinidade.

Não foi detetada alcalinidade nas águas dos pontos de amostragem nas duas épocas. As razões para tal fato podem estar relacionadas as características geológicas da área de estudo em que predomina as rochas ricas em quartzo de difícil meteorização.

A maior parte do nitrogénio ocorre como gás na atmosfera, no solo e nas substâncias orgânicas.  $\text{N}_{\text{org}}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_3$  são as formas bioquímicas inter-conversíveis e componentes do ciclo do nitrogénio. No processo de oxidação da matéria orgânica, os microrganismos transformam  $\text{NO}_2^-$  em  $\text{NO}_3^-$ , cujo teor está relacionado às condições de oxigenação da água. Concentrações elevadas de  $\text{N}_{\text{org}}$  e  $\text{NH}_4^+$  indicam poluição recente (Celligoi, 1999).

A concentração dos compostos de nitrogénio nos corpos de água é normalmente baixa. Contaminação de águas superficiais e profundas é consequência de atividade agrícola, devido ao excesso de aplicação de fertilizantes inorgânicos nitrogenados e adubos orgânicos (estrume), ou proveniente do tratamento de águas residuais e da oxidação de resíduos nitrogenados nas fezes humanas e animais, inclusive das fossas sépticas (Barbosa, 2009).

Os valores de nitratos detetados variaram de 0 a 23,8 mg/L na época chuvosa e 0 a 30 mg/L na época seca, os valores máximos foram registados no ponto CH6 (Tabela 5 e 6 e Fig. 29). Os valores registados bem como a tendência de aumento de teores de nitratos na época seca foram também encontrados por Zeferino (2011) e Cavantchane (2013) em trabalhos realizados na mesma área. Os teores por eles medidos vaiaram de 42,9 a 93,4 mg/L e 5,3 a 86,4 mg/L na época chuvosa e 38,1 a 132 mg/L na época seca.

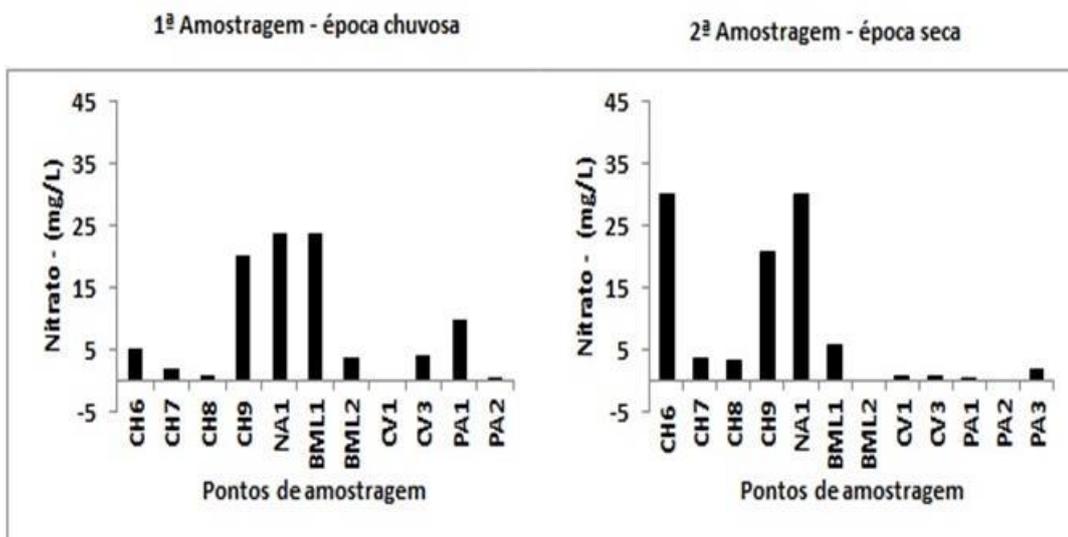


Figura 29. Diagramas de barras da variação de nitrato nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Os valores detetados de nitrito variaram de 0 a 0,09 mg/L na época chuvosa e 0 a 1,7 mg/L na época seca (Tabelas 5 e 6). Os teores de nitrito apresentaram um comportamento similar ao do nitrato em que se observaram subidas na época seca, esta constatação é também confirmada por Zeferino (2011), que detetou valores de 0 a 0,26 mg/L na época chuvosa e 0,04 a 0,75 mg/L na época seca.

Os valores de amónia detetados variaram de 0 a 0,09 mg/L na época chuvosa e 0 a 0,54 mg/L na época seca, o maior registo foi detetado no ponto CV3 na época seca (Tabelas 5 e 6), e que leva-nos a pensar que por falta de condições de segurança do poço e a quantidade de resíduos existente a sua volta, possa estar na causa do elevado valor detetado.

De maneira geral os valores de nitrato, nitrito e amónio não colocam em perigo a vida dos consumidores destas águas, mas há sinais de que este quadro poderá vir a mudar para pior em função da contínua introdução de substâncias contaminantes no manancial subterrâneo.

O fósforo aparece em água natural devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó utilizados para uso

doméstico, constituem as principais fontes. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com catiões formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controlo de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

Os valores detetados de fosfatos variaram de 0,07 a 0,52 mg/L na época chuvosa e 0,12 a 28 mg/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 30). Esta variação de valores pode-se observar nos trabalhos de Zeferino (2011) e Cavantchane (2013), com teores que variaram de 0,61 a 0,76 mg/L, e 0,24 a 0,88 mg/L na época chuvosa e 0,52 a 0,79 mg/L na época seca.

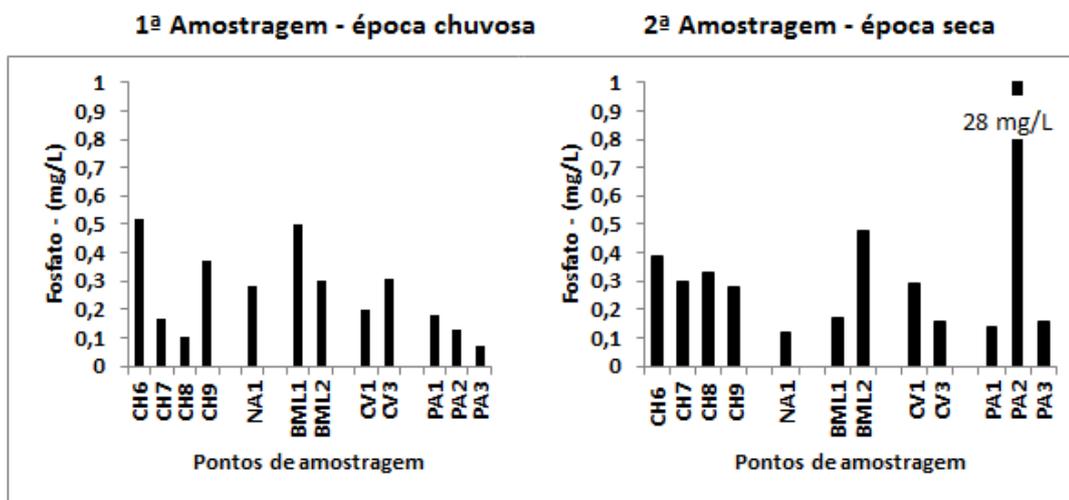


Figura 30. Diagramas de barras da variação de fosfato nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Esta variação pode ser explicada pelo facto de na época chuvosa, em virtude das quedas pluviométricas, não serem muito utilizadas as águas dos poços, afastando assim todas as atividades antrópica. Durante as lavagens de roupas com detergentes

Fábio Paulo Lunge António

nas proximidades dos poços, as águas de lavagem escorrem por vezes diretamente para o poço. Já na época seca, por causa da escassez de água as atividades de lavagem de roupa nos arredores dos poços com uso de detergentes, eleva os valores de fosfatos nestas águas.

Os sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) são sais moderadamente a muito solúveis, exceto sulfatos de estrôncio e de bário, que são insolúveis. A presença de sulfato nas águas está relacionada com a oxidação de sulfuretos nas rochas e com a lixiviação de gipsite e anidrite. Em águas subterrâneas podem ter origem da oxidação de pirites. O sulfato pode ser reduzido a sulfureto devido à ação da matéria orgânica.

Muitos dos processos físico-químicos que ocorrem no sistema águas-rocha-atmosfera são reações de oxidação redução. Sulfuretos insolúveis são oxidados na presença de oxigénio a sulfatos. Este processo da origem ao enriquecimento das águas subterrâneas em aniões sulfato. Nas águas subterrâneas circulantes em rochas ígneas, a concentração de sulfato é geralmente baixa (<30 mg/L). Em rochas evaporíticas podem existir altas concentrações (Celligoi, 1999).

Os valores detetados de sulfatos variaram de 0 a 65 mg/L na época chuvosa e 0 a 95 mg/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 31). Os valores encontrados foram superiores aos registados por Zeferino (2011) com teores de 0 a 45 mg/L na época chuvosa e 8,5 a 35 mg/L na época seca. Este facto pode ser devido a qualquer atividade humana que possam introduzir este elemento na água.

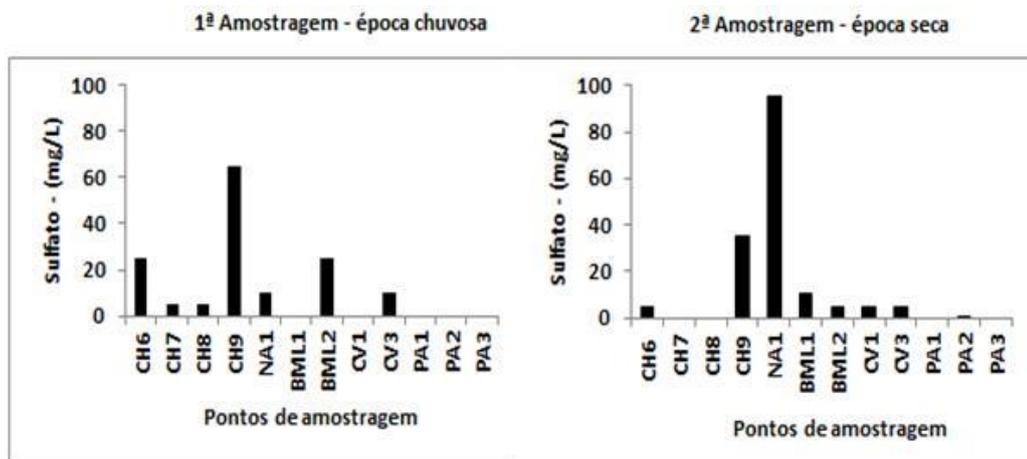


Figura 31. Diagramas de barras da variação de sulfato nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre. O volume de sílica ocorrente nas águas subterrâneas vem do intemperismo de minerais silicatados, enquanto a sílica cristalina (quartzo) é quase insolúvel. Concentrações muito altas de sílica são encontradas em água com pH acima de 9 e são muito raras (Celligoi, 1999).

Os valores detetados de sílica variaram de 2,82 a 15,84 mg/L na época chuvosa e 3,4 a 19,3 mg/L na época seca, (Tabelas 5 e 6 e Fig. 32). Estas variações indicam haver maior concentração de silício na época seca. Estes valores detetados podem ter a sua origem no facto das cacimba (poços) estarem sobre material granítico alterado com camadas de laterite bem evidenciadas.

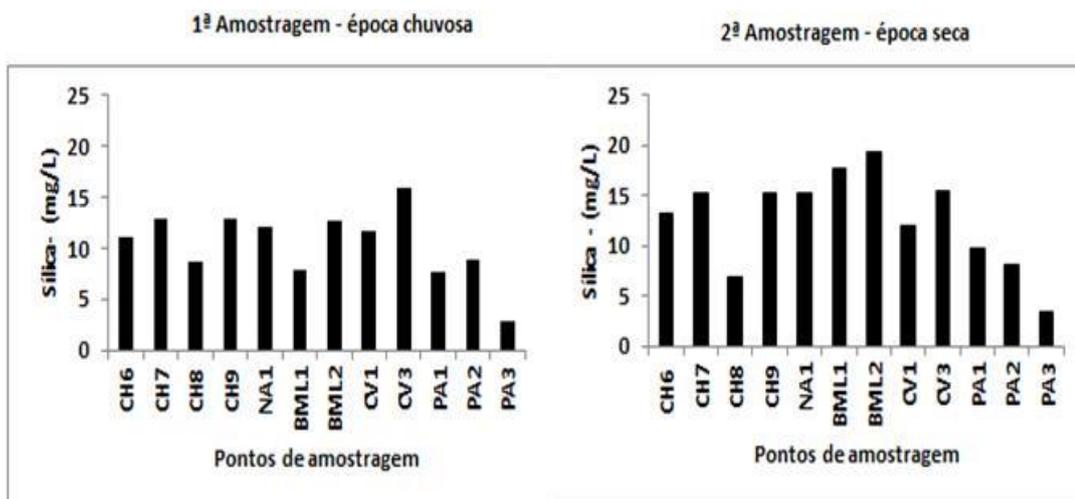


Figura 32. Diagramas de barras da variação de sílica nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Observa-se uma tendência de aumento dos teores de sílica dissolvida na água com o aumento de pH (Fig.33) o que se deve ao facto da sílica apresentar maior solubilidade em meios alcalinos (Custódio e Llamas, 1976).

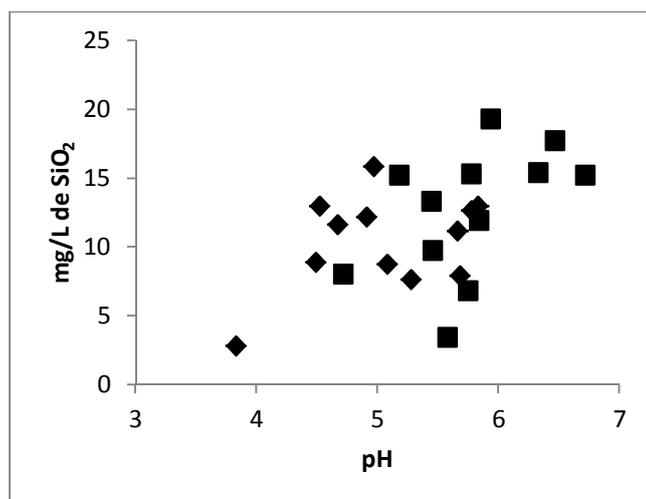


Figura 33. Variação dos teores de SiO<sub>2</sub>, em função da variação do pH das águas amostradas. Legenda: losangos - colheita da época de chuvas; quadrados- colheita na época seca.

O potássio é o sexto elemento na escala de abundância dos metais nas rochas ígneas. Ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelos minerais de argilas e intensivamente consumido pelos vegetais (Shuqair, 2002).

Os valores detetados de potássio variaram de 0 a 20 mg/L na época chuvosa e 0 a 17,5 mg/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 34). Não existem registos de outros autores, o que impossibilita fazer comparação dos resultados. Na figura 34 pode observar-se que na época chuvosa os teores de K são maiores nas águas do que na época seca, o que se deve aos valores mais baixos de pH das águas na época chuvosa (Fig. 24), que aumentam a solubilidade o potássio.

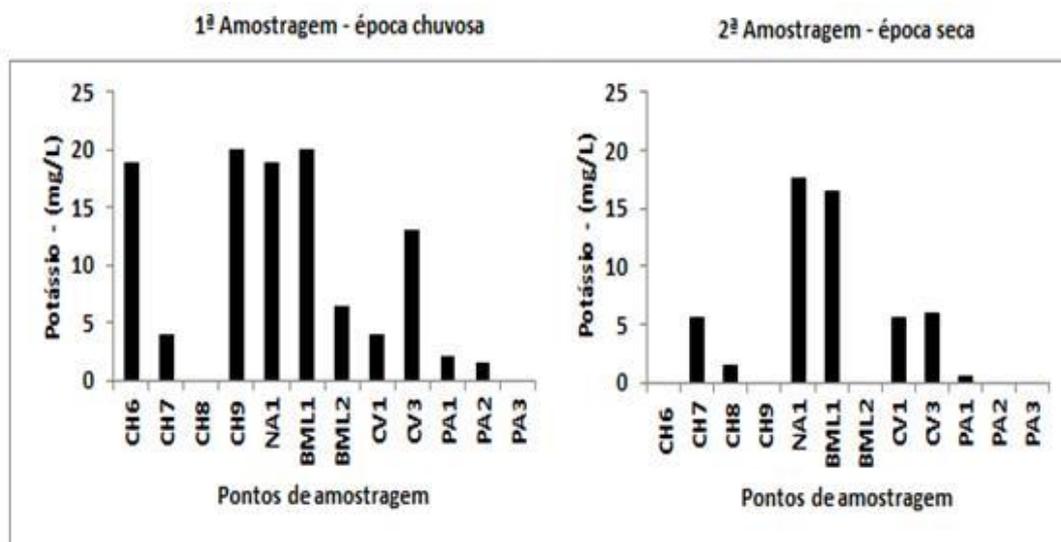


Fig 34. Diagramas de barras da variação de potássio nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento, mas é mais solúvel e mais difícil de precipitar quando comparado com cálcio. É também responsável pela dureza nas águas. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são os minerais ferromagnesianos em rochas ígneas e metamórficas e carbonatos (calcite magnésiana e dolomite) em rochas carbonatadas. Os minerais ferromagnesianos são mais resistentes à meteorização do que os carbonatos de cálcio por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele em áreas de rochas carbonatadas.

Os valores detetados de magnésio variaram de 0 a 35 mg/L na época chuvosa e 0 a 40 mg/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 35). Estes valores aproximam-se do encontrado em estudo anterior realizado por Cavantchane (2013), na mesma zona, de 5 a 20 mg/L na época chuvosa, não foi possível comparar os valores na época seca por inexistência dos mesmos.

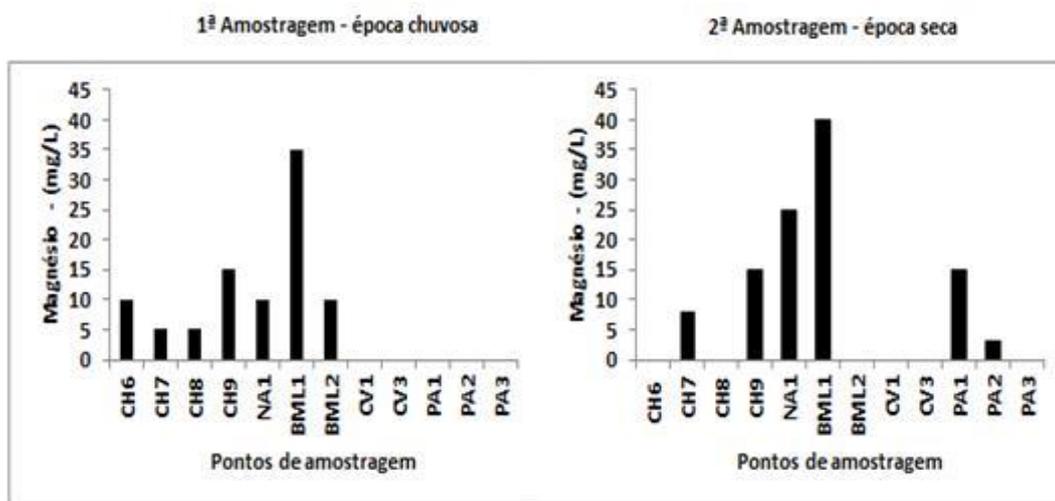


Figura 35. Diagramas de barras da variação de magnésio nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

O zinco é um elemento-traço amplamente distribuído na natureza e ocorre em pequenas quantidades em quase todas as rochas ígneas. Ocorre nas águas superficiais ou subterrâneas em pequenas concentrações. A água de torneira pode conter altas concentrações de zinco provenientes da corrosão de canos e tubulações metálicas revestidas desse elemento (Barbosa, 2009). O zinco pode ser adsorvido por óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio e matéria orgânica existentes nos solos. A concentração de zinco no solo é determinada por diferentes fatores como a rocha geradora, presença de matéria orgânica, granulometria e o pH.

Não foram detetados valores de zinco nas duas épocas de amostragem. Os teores de Zn encontrados por Zeferino (2011) e Cavantchane (2013), na mesma região em águas subterrâneas, não passaram de 0,1 mg/L e pensamos ser devidos ao tipo de rocha existente nas áreas amostradas.

O ferro presente nas águas tem como origem nos minerais ferromagnesianos existentes nas rochas e solos. É dissolvido destes e precipita sob a forma de hematite. O ferro no estado ferroso ( $Fe^{2+}$ ) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em águas não poluídas, seu teor varia muito em função da litologia do local e do período chuvoso (Barbosa, 2009).

Os valores detetados de ferro variaram de 0 a 408 µg/L na época chuvosa e 15 a 387 µg/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 36). Se bem que o valor mais elevado tenha sido encontrado na época chuvosa na generalidade os teores de ferro são superiores na época seca (Fig. 36). Os valores encontrados na época seca diferem pouco do encontrado por Zeferino (2011) na mesma região na época seca, com variação de 9 a 888 µg/L, não tendo sido feito registo na época chuvosa.

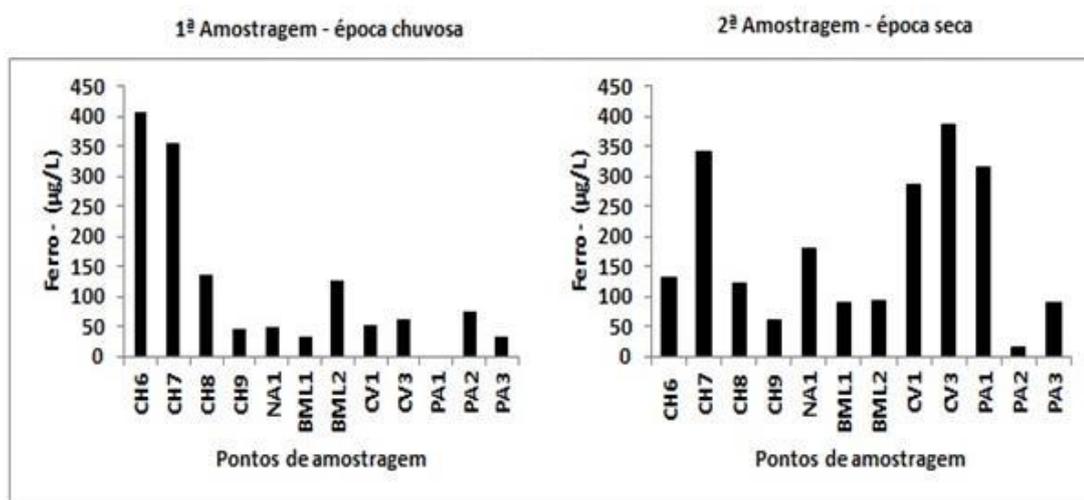


Figura 36. Diagramas de barras da variação de ferro nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Nas águas o ferro pode ser encontrado sob as formas bivalente e trivalente em solução, colóide, suspensão ou em complexos orgânicos e minerais. As espécies de ferro predominantes numa água dependem do pH e Eh dessa água. Na figura 38 faz-se a projeção dos valores de pH e Eh das amostras analisadas no diagrama extraído de GSP (2005). Os valores de Eh foram calculados a partir dos valores de ORP de acordo com (Nordstrom, 2005).

Como se pode observar na figura 37 as formas predominantes de ferro nas águas analisadas são o ião  $Fe^{2+}$  e a hematite, indicando que estas águas estão a precipitar este mineral, pois estão em contacto com solos lateríticos. O facto de haver formação de hematite pode explicar que o Zn não tenha sido detetado nas águas analisadas, pois é adsorvido pelos óxidos e hidróxidos de ferro.

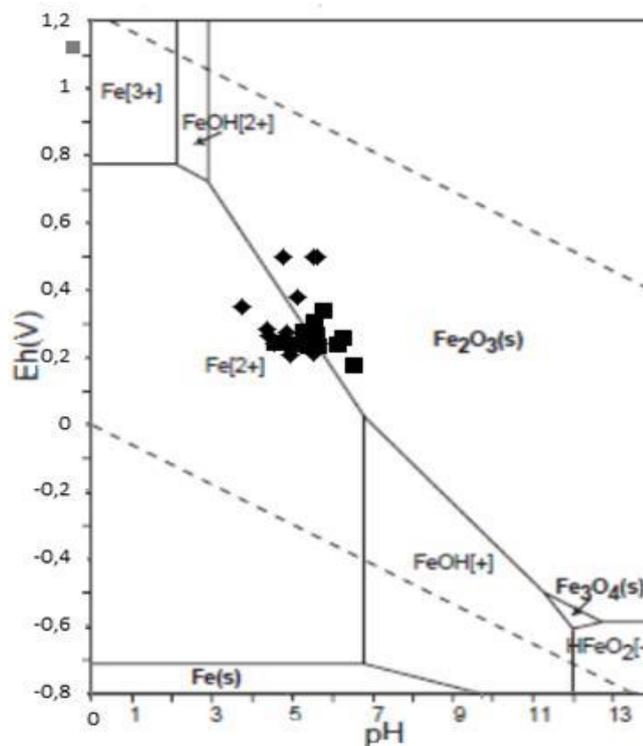


Fig. 37. Diagrama Eh-pH para as espécies de ferro das amostras analisadas. Legenda: losangos - colheita da época de chuvas; quadrados- colheita na época seca. Diagrama extraído de GSP (2005)

Águas com alto conteúdo de Fe, sem contacto com o ar são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigénio do ar ficam com cor alaranjada, o que lhes confere uma aparência pouco agradável.

A presença de crómio na água em grandes quantidades está normalmente associada actividade antrópica. A contaminação das águas com este elemento deve-se principalmente à descarga de efluentes domésticos no meio hídrico. O comportamento químico do crómio em solução aquosa é em função de diversos fatores, como a concentração, a temperatura, a carga iónica, o pH e o potencial da solução. O pH é um dos parâmetros que mais afecta a especiação do crómio em solução (Pina, 2011).

A concentração e a mobilidade do crómio nas águas subterrâneas estão directamente relacionadas com o estado de valência dominante (especiação), que é controlado pelas condições de pH e Eh. Em ambientes de baixo Eh e pH predominam espécies de  $\text{Cr}^{3+}$  como catiões  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{CrOH}^{2+}$ ,  $\text{Cr(OH)}_2^+$ ,  $\text{Cr(OH)}_3^0$  e aniões  $\text{Cr(OH)}_4^-$ . Sob

condições oxidantes (Eh elevado) e de pH predominantemente alcalino, as espécies de  $\text{Cr}^{6+}$  predominam como aniões nas formas de  $\text{HCrO}_4^-$  e  $\text{CrO}_4^{2-}$  (Bertolo et al., 2009).

Baixos teores do crómio III são necessários ao metabolismo humano e animal, porém a espécie hexavalente não tem função nenhuma no organismo humano, além de ser extremamente tóxica (Barbosa, 2009).

Entre os vários estados de oxidação, o  $\text{Cr}^{3+}$  e o  $\text{Cr}^{6+}$  são estáveis em água. O crómio é relativamente bem distribuído, mas com baixa solubilidade. Os níveis de crómio em água são geralmente baixos (<1mg/L). Entretanto, existem exemplos de contaminação de água por cromatos e dicromatos (>25mg/L) (Celligoi, 1999).

Os valores detetados de crómio VI variaram de 0 a 13 g/L na época chuvosa e 0 a 19 g/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 38). Na época chuvosa foi detetado apenas no ponto CV1, já na época seca o crómio foi detetado em maior número de amostras.

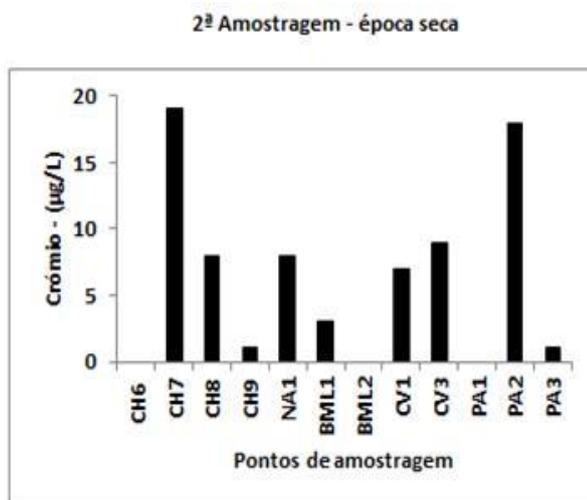


Figura 38. Diagramas de barras da variação de crómio nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

Durante as duas campanhas de amostragem não foram detetados valores de manganês. Por falta de análise deste elemento em outros trabalhos realizados na mesma área de estudo, não foi possível comparar os resultados.

O manganês é um elemento que acompanha o ferro em virtude de seu comportamento geoquímico. Ocorre em teores abaixo de 0,2 g/L, quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida em presença do ar, dando origem a precipitados negros (Celligoi, 1999).

Ocorre naturalmente na água superficial e subterrânea, no entanto, as atividades antrópicas são também responsáveis pela contaminação da água. Raramente atinge concentrações de 1,0 g/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2 g/L ou menos em águas subterrâneas. Desenvolve coloração negra na água, podendo se apresentar nos estados de oxidação  $Mn^{+2}$  (mais solúvel) e  $Mn^{+4}$  (menos solúvel), muito usado na indústria de aço.

O cobre ocorre em águas naturais em pequenas concentrações. Maiores teores são decorrentes de sua utilização como algicida, do lançamento de escoamentos industriais e do desgaste de canalização de cobre (Barbosa, 2009).

As fontes de cobre para o meio ambiente incluem minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de metais por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir do uso agrícola do cobre e precipitação atmosférica de fontes industriais. Estudos indicam que uma concentração de 20 g/L de cobre ou um teor total de 100 g/L por dia na água é capaz de produzir intoxicações no homem, com lesões no fígado. Concentrações acima de 2,5 g/L transmitem sabor amargo a água; acima de 1 g/L produzem coloração em louças e sanitários (GEP, 2009).

Os valores detetados de cobre variaram de 0 a 150 g/L na época chuvosa e 0 a 127 g/L na época seca (Tabelas 5 e 6 e Fig. 39), sendo semelhantes. Valores semelhantes foram também encontrados por Zeferino (2011), que variaram de 0 a 107 g/L, na época chuvosa e 10 a 168 g/L na época seca. Pode-se observar que o ponto CV3 encontra-se contaminado nas duas épocas de amostragem o que lhe torna imprópria para o consumo durante todo o ano.

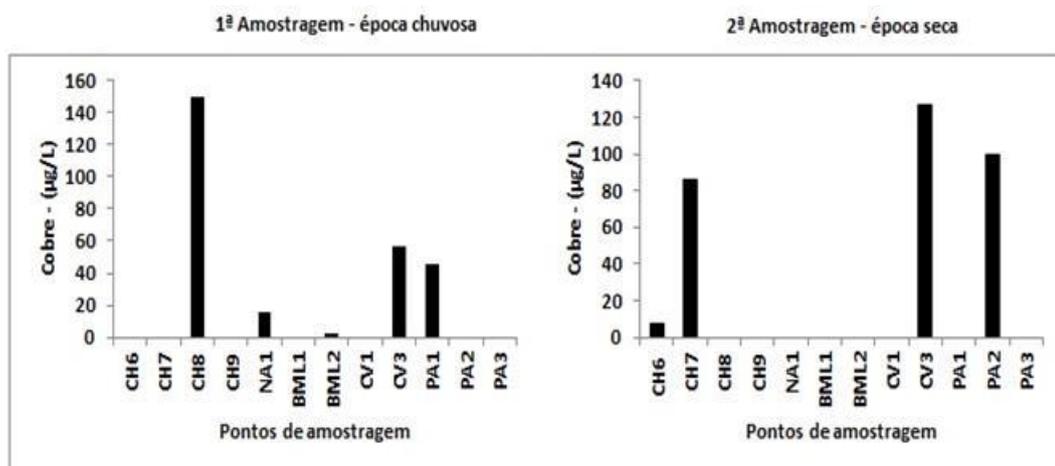


Figura 39. Diagramas de barras da variação de cobre nos pontos amostrados na região de Lubango e Palanca.

### 5.3. Avaliação da qualidade da água

A avaliação da qualidade da água dos poços amostrados foi feita com base nos seguintes documentos: decreto-lei nº 306/2007 da lei Portuguesa; WHO (2011) e as Ontário Guidelines (Ministry of the Environment, 2011) que para cada elemento analisado indicam os valores admissíveis para água de consumo humano.

Os valores de pH determinado variaram de 3,83 a 5,83 na época chuvosa e 4,72 a 6,72 na época seca e o valor decretado é de 6,5 e 9,0 o que indica que as águas amostradas apresentam valores abaixo do valor mínimo referido no decreto, mas este facto não torna imprópria esta água para o consumo humano.

Os valores da condutividade elétrica determinados variaram de 5 a 1652 S/cm na época chuvosa e 31 a 1767 S/cm na época seca, o valor indicado no decreto-lei nº 306/2007 é de 2500 S/cm a 20°C. As águas que possuem condutividades elétricas mais elevadas são salobras e as populações não as consomem.

Não foram detetados valores de alcalinidade, o que caracteriza as águas amostradas como sendo ácidas e com baixo poder tampão, o que torna estas águas vulneráveis a acidificação. A organização mundial da saúde WHO (2011) e o DL nº306/2007 não indicam valores limite para a alcalinidade ou dureza total.

Os valores detetados de nitrato variaram de 0,5 a 23,8 mg/L na época chuvosa e 0,4 a 30 mg/L na época seca, o valor decretado é de 50 mg/L assim, os pontos amostrados não apresentam níveis de contaminação em nitrato.

Os valores detetados de nitrito estão na generalidade abaixo do decretado por lei 0,50 mg/L, o que indica não haver problema de contaminação destas águas subterrâneas por nitrito com exceção do ponto PA2 (1,7 mg/L na época seca).

Os valores de amónio variaram de 0,03 a 0,09 mg/L na época chuvosa e 0,12 a 0,54 mg/L na época seca. O valor decretado é de 0,50 mg/L, o que se explica não haver contaminação geral, excetuando o ponto CV3 que possui 0,54 mg/L. Os valores de sulfato variaram de 5 a 65 mg/L na época chuvosa e 0,18 a 95 mg/L na época seca. O valor decretado é de 250 mg/L, o que se explica não haver qualquer contaminação nos pontos de amostragem.

Os valores de ferro variaram de 33 a 408 g/L na época chuvosa e 15 a 387 g/L na época seca. O valor decretado é de 200 g/L equivalente a 0,20 mg/L. Na época chuvosa os pontos CH7, PA1, CV1 e CV3 registaram valores superior a 200 g/L, e na época seca apenas os pontos CH6 e CH7. Os valores de crómio variaram de 13 g/L na época chuvosa e 1 a 19 g/L na época seca. O valor decretado é de 50 g/L, o que demonstra não haver qualquer contaminação nos pontos de mostragem.

As águas também não estão contaminadas em Mn. Os valores de cobre variaram de 2 a 150 g/L na época chuvosa e 7 a 127 g/L na época seca. De acordo ao Ministry of the Environment, (2011) para águas subterrâneas o valor recomendado é de 5 g/L, assim dos pontos amostrados o ponto BML2 é o único que não apresenta nível de contaminação, isto na época chuvosa e na época seca todos os pontos amostrados apresentaram níveis de contaminação.

O decreto lei nº 306/2007 da lei Portuguesa, WHO (2011) e Ministry of the Environment, (2011) decretaram estes valores paramétricos como guias de controle da qualidade da água para o consumo humano. As medições referidas pelo decreto são efetuadas nas torneiras o que indicam que estas águas aqui referenciadas são antes submetidas a processos de tratamentos para tornar a água apta para o consumo. Já a água retirada nos pontos de amostragens não foram submetidas a qualquer processo de tratamento.

## 6. Conclusões

A região do Lubango especificamente os bairros do Tchioco, Nambambi, Bula Matadi e Lalula e Comandante Cowboy, bem como a região da Palanca, pertencente ao Município da Humpata apresentam problemas de falta de saneamento básico, rede inexistente ou inoperante de distribuição de água potável e redes de esgoto. A falta de sistemas de distribuição de água potável leva com que alguns populares recorram a água subterrânea por meio de poços vulgo cacimbas, que em alguns casos esta água não passa por nenhum processo de tratamento como por exemplo a fervura ou desinfecção com lixívia, pondo assim em risco a vida dos consumidores.

A existência de resíduos sólidos depositados em locais impróprios, a falta de rede de esgoto nos bairros e cidade, a utilização de fossas sépticas e o uso de cacimbas como fontes de abastecimento de água, irão possivelmente inviabilizar o uso da água subterrânea caso não sejam tomadas medidas preventivas.

As cidades estão a crescer, o número de moradias está aumentando e conseqüentemente o número de fossas sépticas, e cada vez mais é notório a abertura de furos e cacimbas. A falta de políticas ambientais de preservação faz com que não haja qualquer orientação na construção de fossas sépticas bem como na abertura de cacimbas.

Neste trabalho de modo global não foram detetados níveis de contaminação alarmantes, pensa-se que com o passar dos anos as conseqüências das más práticas ao meio ambiente começarão a repercutir-se nas vidas dos consumidores destas águas.

Das várias espécies químicas determinadas e detetadas o ferro e o cobre foram aquelas que apresentaram teores acima dos estabelecidos pela legislação Portuguesa, em maior número de poços. Os nitritos e a amónio são também contaminantes da água em dois poços amostrados.

A população consumidora destas águas desconhece os problemas ambientais que estão a causar ao manancial, bem como as conseqüências de saúde que poderão advir.

## **7. Recomendações**

As instâncias administrativas locais e regionais e seus parceiros devem trabalhar na educação e sensibilização ambiental, para mostrar à população os grandes riscos e problemas que possamos ter devido à falta de água com qualidade e quantidade admissível.

Deve-se regulamentar a construção de cacimbas, para se proteger o recurso subterrâneo, assim com prevenir doenças de origem hídrica.

Os trabalhos de planeamento territorial devem contemplar futuros sistemas de esgotos e indicações de como devem ser construídas as fossas para evitar a contaminação continuada que se verifica em quase todos os bairros periféricos da cidade do Lubango e Humpata.

Devido a falta de saneamento e da inexistência de rede de esgotos nos bairros em crescimento ou até mesmo em novos bairros, os órgãos competentes devem fazer um estudo minucioso do tipo de solo e dos aquíferos existentes e em função do resultado determinar se a área pode ser destinada a construção ou não.

Deve-se melhorar o sistema de abastecimento de água potável para reduzir/terminar com a necessidade de escavar cacimbas-poços, pois as águas subterrâneas podem conter elevadas concentrações de minerais dissolvidos e quando não tratados pode causar doenças aos consumidores.

Deve-se continuar com este trabalho de monitorização dos níveis químicos analisados e estende-lo para análises microbiológicas, para se prevenir dos possíveis efeitos do consumo de água contaminada.

Devem usar-se de forma sustentável os recursos hídricos existentes, sem comprometer a utilização e satisfação das necessidades das gerações vindouras.

## Referências bibliográficas

- Almeida C. J. J. L. Mendonça; R. S. Duarte; P. Quina; J. R. Neves (2000) - Glossário de Termos Hidrogeológicos, Centro de Geologia, Instituto da Água.
- Ardemagni M., Angelis C. M. (1991) - Hidráulica e regadio, I Edição, Cooperazione Italiana . Italconsult.
- Aparicio M.; J. (1999) - Guia básico de ecologia, 1ª Edição, Editorial Estampa, Lda Lisboa 1999.
- Barbosa A. D. M. (2009) - Análise química multi-elementar de amostras de água tratada e aspectos de saúde pública de Municípios da mesorregião Sul de Goiás, Goiânia-Goiás, Universidade Católica de Goiás, Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde, 125p.
- Bertolo R. A; Marcolan L. N. O. e Bourotte C. L. M. (2009) - Relações Água-Rocha e a Hidrogeoquímica do Crómio na Água Subterrânea de Poços de Monitoramento Multiníveis de Urânia, SP, Geol. USP, Sér. cient. v.9 n.2 São Paulo jun. 2009.
- Borsoi Z. M. F.; Lanari N.; e Gomes S. M. (2002) - águas subterrâneas, águasub2.doc 29/01/2002, 6p.
- Camargo M. F., Paulosso L. V. (2009) - Avaliação qualitativa da contaminação microbiológica das águas de poços no município de Carlinda . MT - Qualitative evaluation of microbiological contamination of the wells water in the Carlinda . MT, 6p.
- Carvalho D. F. e Silva L. D. B (2006) - Hidrologia. Ciclo hidrológico, Capítulo 2. 14p, [www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/apostila/hidro - Cap2 - ch.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/apostila/hidro - Cap2 - ch.pdf).
- Carvalho, H. (1982) - Geologia de Angola, Folha 3, à escala 1:1000000. Laboratório Nacional de Investigação Científica e Tropical.
- Cavantchane B. M. N. (2013) - Caraterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas nas zonas rural e urbana na região de Lubango. Tese de mestrado não publicada, Universidade de Coimbra, 51p.

- Celligoi A. (1999) . Considerações sobre análises químicas de água subterrâneas, Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina, 7p.
- Corcóvia J. A. e Celligoi A. (2012) - Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã-pr, REA . Revista de estudos ambientais (Online), Universidade Estadual de Londrina,10p.
- Custódio, E e Llamas, M.R. (1983) - Hidrologia subterrânea. Ed. Omega S. A. Platon. Barcelona, 1224p.
- Cruz J. R.(1940) - O clima de Angola. Elementos de climatologia, Sem editor 96p.
- Decreto - Lei N.º 306/2007 de 27 de Agosto. Diário da República, N.º 164/2007 . I série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- Ernst, R.E.; Pereira, E. ; Hamilton, M.A.; Pisarevsky, S.A.; Rodrigues, J.; Tassinari, C.C.G; Teixeira, W. Van-Dunem, V. (2013) - Mesoproterozoic intraplate magmatic barcode record of the Angola portion of the Congo Craton: Newly dated magmatic events at 1505 and 1110 Ma and implications for Nuna (Columbia) supercontinent reconstructions. Precambrian Research, 230, 103-118.
- Feio, M. (1981) - O relevo do sudoeste de Angola, Estudo de Geomorfologia. Memórias da Junta de Investigações Científicas do Ultramar, nº 67 (2º série), 326 pp.
- Ferreira J. M. (1988) - Ecologia, Edição contraponto.
- Ferreira J. P. L., Manuel M. O; Teresa E. L., João S. R. e Ana E. B. (2009) - Proteção das origens superficiais e subterrâneas nos, sistemas de abastecimento de água, Edição: Instituto Regulador de Águas e Resíduos - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Filho J. M., (2000) - Água subterrânea: Histórico e importância. In Hidrogeologia Conceitos e aplicações, 2ª Edição, (Feitosa e Filho, Ed.) CPRM.
- Filho J. M. (2000) - Ocorrência das águas subterrâneas. . Hidrogeologia, 2ª Edição, Capítulo 2.

Filho J. M., (2000) - Contaminação das águas subterrâneas. . Hidrogeologia, 2ª Edição, Capítulo 6.

Governo provincial da Huíla, (2007) - Huila presente e futuro.

GEP Governo do Estado de São Paulo Secretaria do meio ambiente (2009) - Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo, série relatórios, apêndice a significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem, 44p.

GSJ (2005) - Atlas of Eh-pH diagrams. Intercomparison of thermodynamic database. Geological Survey of Japan Open File Report, nº419.

Isaias M. (2010) - Caracterização físico-químico e avaliação de impactes antrópicos da água do rio Caculuvar na região do Lubango . Angola. Tese de Mestrado não publicada, Universidade de Coimbra, 71p.

Iritani M. A. e Ezaki S. (2012) - As águas subterrâneas do Estado de São Paulo . São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 104p.

Ministry of the Environment (2011) . Soil, ground water and sediment standards for use under part XV.1 of the environmental protection Act, PIBS#7382e01.

Mendonça, J. L. (1998) - Caracterização Hidrogeológica e Contaminações de alguns Sistemas Aquíferos de Portugal. 4º Congresso da Água, Vol. Tema 5 - Utilização da água em actividades produtivas - agricultura, aquicultura, indústria e turismo, Feira Internacional de Lisboa, 11p.

McCourt, S., Armstrong, R.A., Jelsma, H., Mapeo, R.B.M. (2013) - New U. Pb SHRIMP ages from the Lubango region, SW Angola: insights into the Palaeoproterozoic evolution of the Angolan Shield, southern Congo Craton, Africa. Journal of the Geological Society, 353-363p.

Nordstrom, D. K., Wilde, F. D. (2005) - Reduction . oxidation potencial (electrode method). US Geological Survey TWRI Book, 9p.

Oliveira F. R. B (2009) - Cemitérios: Impacte nas águas subterrâneas, Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento. Tese de Mestrado não

publicada, Universidade de Aveio Departamento de Ambiente e Ordenamento, 113p.

Planeta Terra (2007- 2009) - Água subterrânea reservatório para um planeta com sede? Brochura disponível online. Ano internacional do Planeta Terra, 16p.

Paixão F. J. R., Andrade A. R. S., Azevedo C. A. V; Silva J. M., Costa T. L.; Feitosa R. M (2004) - Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares, Revista de biologia e ciências da Terra, Volume 5 - Número 1,11p.

Pereira E; Rodrigues J. F., Tassinari C. C. G e Van-Dúnen M V (2013) - Geologia da região de Lubango, SW de Angola, Evolução no contexto do cratão do Congo, Instituto Nacional de Geologia, 1ª Edição, 2013.

Pina F.D.S. (2011) - Tratamento de águas contaminadas com crómio (VI) por biossorção em algas marinhas, Mestrado integrado em engenharia do ambiente, Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente . Ramo de Gestão.

Pinheiro A., Teixeira L. P., Kaunfmann V. (2009) - Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. Universidade Regional de Blumenau, 12p.

Quintela A. C., (2011) - Hidráulica, 12ª Edição, Edição da Fundação Calouste Gulbenkian.

Rocha M. D. M. e Cunha V. F. (2010) - Dicionário de direito do ambiente, 1ª Edição, Novembro de 2010, Texto Editora, Lda.

Rocha, A. J. F., Pinheiro A. L. F. B., Duro M. A. S., Zivieri J. N., Silva P. J. (2005) - Contaminação do solo pela Disposição e Destino Final de matéria orgânica fresca. Revista CENIC Ciências Biológicas, 0253-5688, Centro Nacional de Investigaciones Científicas Cuba.

Roosbroeck P. V., José D. B., Abias H. (2006) . Actualização do perfil ambiental de Angola, ref MWH 470/000883-22.001rev.1, 95p.

- Ribeiro M. L.; Lourencetti C.; Pereira S. Y; Marchi M. R. R. (2007) - Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar, Centro Universitário de Araraquara . SP, Brasil, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Shuqair M. S. S. (2002) - Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no Estado do Paraná, 129p.
- Shiklomanov I. (1993) - "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources (Oxford University Press, New York), download em setembro de 2014.
- USGS (2014) - The water cycle. Em <http://ga.Water.usgs.gov/edu/watercycle.html>.
- Varnier C., Hirata R. (2002) - Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil, Rev. Águas Subterrâneas, 8p.
- Vianna R. C., Junior C. C. V. e, Vianna R. M. (2014) - Os recursos de água doce no mundo . situação, normatização e perspectiva, Rio Grande, 18 de Agosto de 2014.
- Varenes A. (2003) - Produtividade dos Solos e Ambiente, 1ª Edição, Setembro 2003, Escolar Editora.
- Xavier C. D. F., (2005) - Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba . Paraná, Dissertação de Mestrado não publicada, Universidade Federal do Paraná . UFPR, 153p.
- Walton, C. W., (1970) . Ground water resources evaluation. Estados Unidos: Mc Graw-Hill.
- WHO (2011) . Guidelines for drinking . Water quality. FOURTH EDITION, ISBN 978 92 4 154815 1, (NLM classification: WA 675), World Health Organization.
- Zeferino B. (2011) - Caraterização hidrológica e hidrogeológica dos domínios envolventes do cemitério da Mitcha, Lubango . Avaliação de impactes nas massas de água locais. Tese de Mestrado não publicada Universidade de Coimbra, 47p.

Caraterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas nas regiões do Lubango e Palanca (Humpata)

Fábio Paulo Lunge António

<http://geografiaensinareaprender>, 20014.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_hidrol%C3%B3gico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico), 2014.

[www.physicalgeography.net/fundamentals/8b](http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b).

[www.kunenerak.org/pt/rio.aspx](http://www.kunenerak.org/pt/rio.aspx).

[www.watherbase.com](http://www.watherbase.com).