

Agradecimentos

A Deus, pelo Dom da Vida e da Sabedoria.

Aos meus pais, que com muita dificuldade deram-me a educação e fizeram com que eu me tornasse o homem que hoje sou.

Os meus cordiais agradecimentos são extensivos ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, aos funcionários e aos professores do Curso do Mestrado e em particular, a Prof.^a Doutora Maria Manuela da Vinha G. da Silva e Dr.^a Paula Cristina Simões de Carvalho, que com muito zelo acompanharam-me nesta longa empreitada.

Resumo

O rio Cavaco situado na província de Benguela, centro oeste de Angola, apresenta regime torrencial, tem apenas água numa parte do ano, como resultado de um clima quente e semi-árido. A montante do rio Cavaco ocorrem rochas metamórficas do Precâmbrico e a jusante na bacia sedimentar de Benguela ocorrem rochas detríticas, evaporíticas e calcárias do Cretácico-Cenozóico. Os sedimentos colhidos na aluvião do rio Cavaco mostram que as amostras da zona urbana e da zona rural não apresentam distinção na sua composição mineralógica, sendo constituídos maioritariamente por quartzo e feldspato, mas também por moscovite, dolomite, calcite, hematite, anfíbolos, minerais de argilas, magnetite e algumas amostras possuem sulfuretos e turmalina. O pH dos sedimentos da zona urbana é mais alcalino que os sedimentos da zona rural, o que sugere a influência marinha, das rochas carbonatadas e as contribuições antrópicas relacionadas com os esgotos domésticos e industriais e de lavagens de roupa e carros. No entanto, não há distinção nos valores de condutividade eléctrica dos sedimentos da zona urbana e da zona rural. As águas da zona urbana apresentam condutividades eléctricas, valores de pH, teores de amónia, sulfatos, potássio, e algumas amostras de crómio hexavalente, superiores aos teores das águas da zona rural, sugerindo contaminação antrópica das águas da zona urbana por despejos de esgotos domésticos, industriais e lavagem de roupa e carros. O aumento dos valores de pH das águas da zona urbana pode também ser devida a transferência de sais alcalinos dos sedimentos para as águas. As águas amostradas estão impróprias para consumo humano, pois algumas amostras de água estão contaminadas em amónia e em fosfatos, todas as amostras estão contaminadas em nitritos, nitratos e algumas amostras de água da zona urbana apresentam elevados teores de ferro e crómio hexavalente. A elevada salinidade das águas da zona urbana impede o seu uso para rega.

Palavras-chave: rio Cavaco, hidrogeoquímica, sedimentos, águas subterrâneas, Benguela

Abstract

The Cavaco river flows across the Benguela region, central-west of Angola. The river has a torrential regime and flowing superficial water only after rainy periods, due to the morphology of the drainage basin and warm and semi-arid climate. Upstream it flows across Precambrian metamorphic rocks, while at downstream it cross limestones, detritic and some evaporatic deposits of Cretaceous-Cenozoic age. The sediment samples located close to the urban area and those collect in the rural area have a similar mineralogical composition. They are mainly composed by quartz and feldspars, but also by muscovite, dolomite, calcite, hematite, amphiboles, clay minerals, magnetite and some samples also contain sulphides and tourmaline. The pH values of sediments samples from the urban area are higher than those from the rural area, due to the ocean influence, the outcropping rocks and the anthropogenic contributions in the urban area. However, there is no distinction in the electrical conductivity of the sediments from both areas. The waters in the urban area show higher electrical conductivities, pH values, ammonium, sulphates and potassium contents, and some samples also Cr(VI), than the waters from the rural area, which is due mainly to the anthropogenic contributions. The higher pH values in urban waters may also be the result of the alkaline salts exchange from the sediments to the waters.

All analyzed waters are contaminated in nitrites, nitrates, some of them are contaminated in ammonium and phosphates and a few, from the urban area, are also contaminated in Fe and Cr(VI), therefore they cannot be used for human consumption, according to the Portuguese and Brazilian Laws. The waters from the urban area cannot be used for irrigation due to their high salinity.

Key-words: Cavaco River, hydrogeochemistry, sediments, groundwaters, Benguela

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstrat	iii
Capítulo 1. Introdução	1
Capítulo 2. Enquadramento Regional da Área em Estudo	5
2. Enquadramento geográfico e administrativo.....	5
2.2. Enquadramento Geológico.....	7
2.3. Geomorfologia e solos	10
2.4. Enquadramento Climático e Hidrológico	11
Capítulo 3. Metodologia	14
3.1 Amostragem	14
3.2 Análises das águas	16
3.3 Preparação das amostras de sedimentos	17
3.4 Determinação da condutividade eléctrica, do pH e da fracção silto-argilosa dos sedimentos	18
3.5 Análise por difracção de raios-X (DRX).....	19
Capítulo 4. Resultados e Discussão	22
4.1 Sedimentos	22
4.1.1. Mineralogia	22
4.1.2 Fracção silto-argilosa, Condutividade eléctrica e pH	24
4.2. Águas	27
4.2.1 Parâmetros Físico-químicos analisados nas águas	27
4.2.2. Especíes químicas analisadas nas águas	33
Capítulo 5. Conclusões e Recomendações	39
Capítulo 6. Referências bibliográficas	42

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa administrativo de Angola e localização da província no mapa	6
Figura 2. a) Localização geográfica da área em estudo; b) Mapa geológico adaptado de Giraud et al, 2010.....	7
Figura 3. Rochas do Cretácico e do Quaternário da região de Benguela: a) Depósitos arcóscico; b) Depósitos conglomeráticos do Cretácico inferior; c) Depósitos Margas e calcários do Cretácico superior; d) Aluviões do Quaternário.....	8
Figura 4. Localização de ocorrências da Minérios na região de Benguela (Galvão e Silva, 1972-2010)	10
Figura 5. a) Aspecto da corrente fria de Benguela; b) Aspecto do leito do rio Cavaco na estação seca	12
Figura 6. Localização dos pontos de amostragem (imagem retirada do Google Earth)	14
Figura 7. a) Aspecto do furo localizado no interior de um quintal na cidade de Benguela. b) Aspecto de um furo localizado na zona rural de Benguela; c) Imagem do Multiparametro; d) Análise com o Fotómetro	17
Figura 8. Esquema da difracção de raios-X em planos atómicos	20
Figura 9. Gerador de raios-X do DCT, constituído por Goniómetro e Diffractómetro	21
Figura 10. Exemplo de difractograma obtido na amostra A1.Símbolos: q- quartzo; f- feldspato; d- dolomite; m- moscovite; Ar- minerais de argila; c- calcite; a- anfíbola	23
Figura 11. Variação dos valores do pH nos sedimentos estudados	26
Figura 12. Variação dos valores da condutividade eléctrica nos sedimentos estudados	26
Figura 13. Relação entre condutividade eléctrica e a proporção silto-argilosa nos sedimentos ...	27
Figura 14. Diagramas de barras mostrando variação dos parâmetros físico-químicos das águas analisadas	30
Figura 15. Gráfico de correlação entre o pH e o oxigénio dissolvido (% Sat.). Símbolos: quadrados águas da zona urbana; losangos- águas na zona rural	32
Figura 16. Relação entre o pH e a alcalinidade. Símbolos: quadrados- águas da zona urbana; losangos- águas da zona rural	33
Figura 17. Diagramas de barras mostrando a variação de algumas espécies químicas nas águas analisadas	34
Figura 18. Relação entre a alcalinidade e a condutividade eléctrica específica	34

Índice de Tabelas

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de águas e de sedimentos amostrados	15
Tabela 2. Resultados da difracção de raios-X nos sedimentos colhidos na envolvente do rio Cavaco	22
Tabela 3. Valores de pH, condutividade eléctrica e da proporção silto-argilosa dos sedimentos ..	25
Tabela 4. Parâmetros Físico-químicos e químicos dos das amostras de águas subterrâneas na região de Benguela.....	29
Tabela 5. Correlação entre parâmetros químicos analisados nas águas	32

Capítulo 1. Introdução

A água ocupa cerca de 71% da superfície terrestre, mas 97,3% dessa água constitui os oceanos e 2,05% está contida nas calotes polares e glaciares (Pidwirny, 2006), pelo que a água disponível para o Homem e suas actividades é escassa no planeta. A sua taxa de renovação é lenta comparada com a sua taxa de utilização, o que faz com que este recurso seja extremamente precioso.

É um recurso de capital importância, pois todos os seres vivos dependem dele. O corpo humano é essencialmente constituído por água (75%), e esta ajuda também na realização de algumas funções no organismo humano, como por exemplo no controlo da temperatura do corpo.

A hidrogeologia estuda a ocorrência, distribuição e circulação das águas subterrâneas, tendo em conta as suas características físicas e químicas. As águas subterrâneas constituem um sistema aberto: a água da precipitação atmosférica entra no sistema quando se infiltra no solo, atravessa as rochas, movimenta-se através do sistema e, por último aflora à superfície em nascentes, lagos e ribeiros ou sapais. Estes locais de afloramento das águas subterrâneas designam-se por zonas de descarga natural. No entanto, também existem zonas de descarga artificiais que resulta da extracção das águas subterrâneas através de poços, que são escavados quando a profundidade é relativamente pequena, ou de perfurações (furos), em zonas onde o aquífero se encontra a profundidades consideráveis (Carapeto, 1999).

O movimento contínuo de água pelos seus reservatórios (atmosfera, oceanos, solos, rios, lagos, mares interiores, calotes polares e biosfera), constitui o ciclo da água na Terra, conhecido também cientificamente por ciclo hidrológico. A água movimenta-se nestas geoesferas através dos processos de evaporação, evapotranspiração, precipitação e escoamento superficial e subterrâneo.

Nos processos geológicos a água desempenha um papel crucial. A presença de água na litosfera permite que as rochas deste fundam a temperaturas mais baixas, pelo

que a água tem um papel importante na origem dos magmas, principalmente naqueles associados a zonas de subdução. Na superfície da Terra a água é responsável por reacções químicas que originam meteorização das rochas, formação de solos, erosão e transporte dos materiais resultante da meteorização originando sedimentos, que se acumulam nas bacias de sedimentação continentais ou marinhas. Os sedimentos depositam-se e originam as rochas sedimentares que compõem o registo geológico da história da terra.

Usando técnicas apropriadas pode-se ter acesso à água que circula subterraneamente nos reservatórios, que recebem o nome de aquíferos. Os aquíferos são formações geológicas subterrâneas que permitem a circulação e o armazenamento de água nos seus espaços vazios, permitindo normalmente o aproveitamento desse líquido pelo ser humano, de forma economicamente rentável e sem impactes ambientais negativos (Custódio e Llamas, 1983). São as águas que precipitam sobre a superfície da Terra que se infiltram no solo e por acção da gravidade originam as águas subterrâneas. Estas águas podem ser armazenadas em dois tipos de aquíferos: aquíferos livres e aquíferos confinados.

Os aquíferos livres podem ser superficiais ou subsuperficiais o que não só facilita a sua exploração e recarga como também a sua contaminação. Os aquíferos confinados são limitados no topo e na base por camadas impermeáveis e ao contrário dos aquíferos livres, a quantidade de água que contêm varia pouco com as estações do ano (Custódio e Llamas, 1983).

A água subterrânea, armazenada em aquíferos, é utilizada para beber e a sua escassez ou contaminação podem ter efeitos muito graves. As principais causas da diminuição de reservas e/ou deterioração da qualidade da água subterrânea são: poluição térmica, poluição agropecuária, poluição industrial, actividade mineira, poluição urbana, poluição microbiológica e a sobreexploração.

A poluição da água prejudica o seu uso, podendo atingir o homem de forma directa, pois ela é usada por este para ser bebida, higiene pessoal, lavagem de roupas e utensílios e, principalmente, para sua alimentação e dos animais domésticos. Além disso, abastece as nossas cidades, sendo também utilizada nas indústrias e na irrigação agrícola.

A água deve ter aspecto limpo, pureza de gosto e estar isenta de microrganismos patogénicos, o que é conseguido através do seu tratamento, desde a recolha até à chegada nas residências urbanas ou rurais. Para a água se manter em condições de qualidade, deve evitar-se sua contaminação por resíduos, sejam eles agrícolas (de natureza química ou orgânica), esgotos, resíduos industriais ou sedimentos provenientes da erosão.

No presente trabalho nos propusemos estudar a hidrogeoquímica das águas subterrâneas nas zonas rurais e urbanas na região de Benguela, Angola, na bacia hidrológica do rio Cavaco. Na região de Benguela as águas subterrâneas provenientes dos poços e furos são usadas com grande frequência na agropecuária, nas actividades domésticas e também para o consumo humano, embora deste se verifique uma diminuição nos últimos anos, devido à implementação de água canalizada nos distintos bairros da cidade. Contudo nas zonas fora da área urbana as águas subterrâneas continuam a ser usadas para consumo.

Foram amostradas as águas de furos nas áreas urbanas e rurais, localizadas nas proximidades do rio Cavaco, Benguela. Recolheram-se seis amostras para cada área, o que totalizou doze pontos de amostragem. Os parâmetros físico-químicos foram medidos no local. Recolheram-se também amostras de água para fazer a determinação dos teores de algumas espécies químicas dissolvidas nestas águas.

Como a composição das águas subterrâneas é fortemente influenciada pela litologia dos aquíferos fez-se também a recolhas de sedimentos para se fazer a sua caracterização. Foram seleccionados 17 pontos para a recolha. Não havendo

possibilidade de amostrar os sedimentos em profundidade estes foram colhidos nos mesmos locais de amostragem das águas.

Pretendeu-se averiguar a diferença nos parâmetros analisados entre os sedimentos e as águas da zona urbana e da zona rural e apurar a qualidade das águas em termos da legislação a que se teve acesso (portuguesa e brasileira) e das normas da OMS e examinar se há diferenças nas características dos sedimentos e da água entre as duas zonas.

Portanto o objectivo global deste trabalho é a comparação, e explicação de prováveis diferenças, da hidrogeoquímica da água subterrânea, na bacia do rio Cavaco, entre a zona rural e a zona urbana, com ênfase na sua qualidade.

Objectivos específicos

- Caracterização mineralógica e comparação de algumas propriedades texturais e físico-químicas dos sedimentos na zona urbana e rural de Benguela.
- Análise das águas subterrâneas amostradas na zona urbana e rural de Benguela.
- Interpretação dos resultados com comparação entre os dois tipos de águas.
- Avaliação da qualidade das águas na zona urbana e na zona rural e sua comparação, tendo em conta as legislações a que se teve acesso.

Capítulo 2. Enquadramento regional da área em estudo

2.1. Enquadramento Geográfico e administrativo

A província de Benguela ocupa uma área de 39.827 km², está localizada a oeste da zona central da república de Angola (Fig. 1). Faz fronteira a norte com a província do Kwanza Sul, a leste com a do Huambo, a sudeste com a da Huila e a sudoeste com a província do Namibe. A província de Benguela é atualmente constituída por 10 municípios, que por sua vez estão divididos em comunas. Administrativamente o município de Benguela é constituído por zonas, que estão subdivididas em ruas e bairros.

O município de Benguela, encontra-se localizado na região centro oeste da província. Com uma área de 2.100 km², o município encontra-se entre as coordenadas 12° 32' e 13° 10' 32" de latitude Sul e 13° 16' a 13° 58' de longitude este. Benguela, chamada também de cidade das acácias rubras (árvore da família das leguminosas) é a capital da província e antigamente era chamada cidade de São Filipe. A província de Benguela é conhecida também por possuir alguns locais turísticos, destacando-se a Praia Morena e Baía Azul.

Com uma altitude média de 36 metros, o município de Benguela esta limitado a noroeste pelo município de Catumbela; a nordeste pelo município do Bocoio; a leste pelo Caímbambo; a sul pela Baía-Farta e a oeste pelo Oceano Atlântico (CONSULT, 2007).

A localização geográfica da província de Benguela permite o desenvolvimento da agropecuária. O algodão, o açúcar, o café, a banana, o feijão e horticulturas, são as principais produções vegetais. Já a produção animal é feita com carne de porco, e bovina, além de leite e seus derivados. Os solos desenvolvidos sobre as aluviões do rio Cavaco são intensamente usados na agricultura recorrendo à irrigação com água subterrânea.

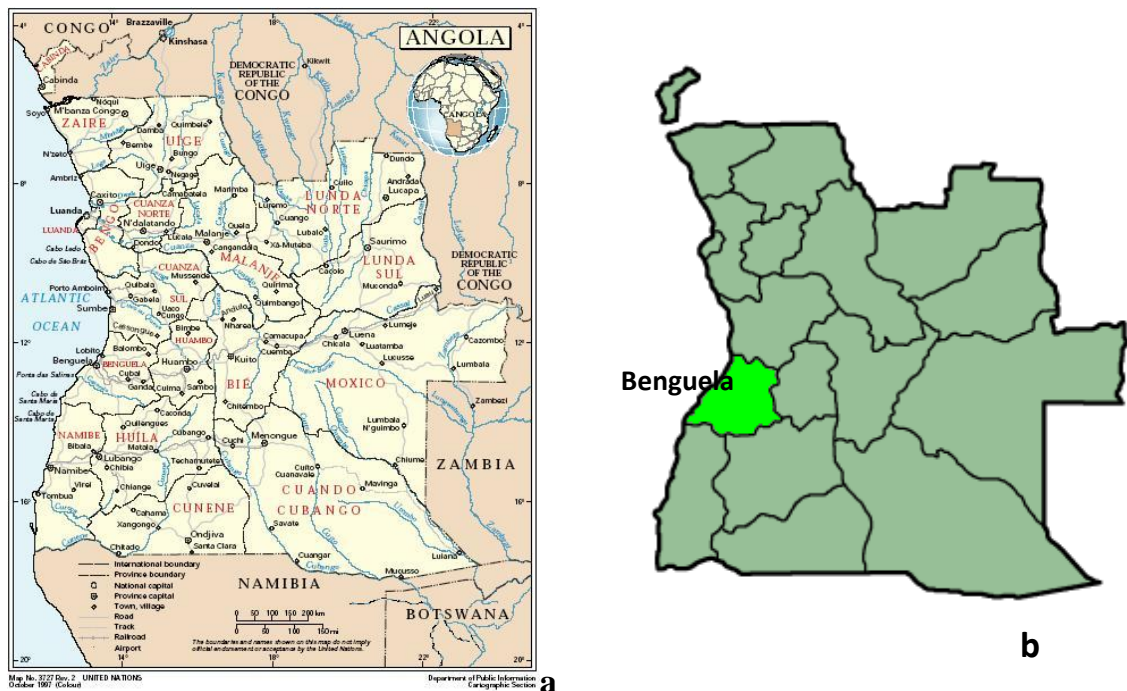


Fig. 1- Mapa administrativo de Angola (Fonte: United Nations) (a) e localização da província de Benguela no mapa de Angola [http://pt.wikipedia.org/wiki/Benguela_\(prov%C3%ADncia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Benguela_(prov%C3%ADncia)) (b).

Grande parte da população de Benguela pertence à etnia dos Ovimbundu, mas os diferentes grupos - (Mu) Ndombe, (Mu) Hanha (ortografia internacional: Hanya), (N) Ganda, Lumbo, Quilengues, foram em geral "umbundizados" apenas no século XIX. A guerra civil em Angola acelerou o êxodo rural e muitos Ovimbundu de outras regiões, principalmente das províncias fronteiriças, migraram para a cidade de Benguela que, como todas as grandes cidades de Angola cresceram consideravelmente nas últimas décadas.

A população de Benguela esta concentrada grande parte na periferia onde se dedica a actividades de pequenos negócios. Dados do inquérito sobre a saúde e ambiente da população (Administração Municipal de Benguela, 1997), mostram que cerca de 59% da população está inserida em pequenos negócios informais, seguida pelo funcionalismo público, agricultura e a pesca.

2.2. Enquadramento Geológico

A bacia hidrográfica do Cavaco insere-se na Bacia sedimentar de Benguela, que é considerada um prolongamento sul da Bacia sedimentar do Cuanza (Neto, 1961). A bacia hidrográfica do rio Cavaco desenvolve-se de montante para jusante, sobre rochas graníticas e metamórficas de idade Pré-Câmbrica (Complexo de base) e sobre rochas sedimentares do Cretácico Inferior (pré-Aptiano) ao Holocénico (Fig. 2), que constituem a Bacia de Benguela.

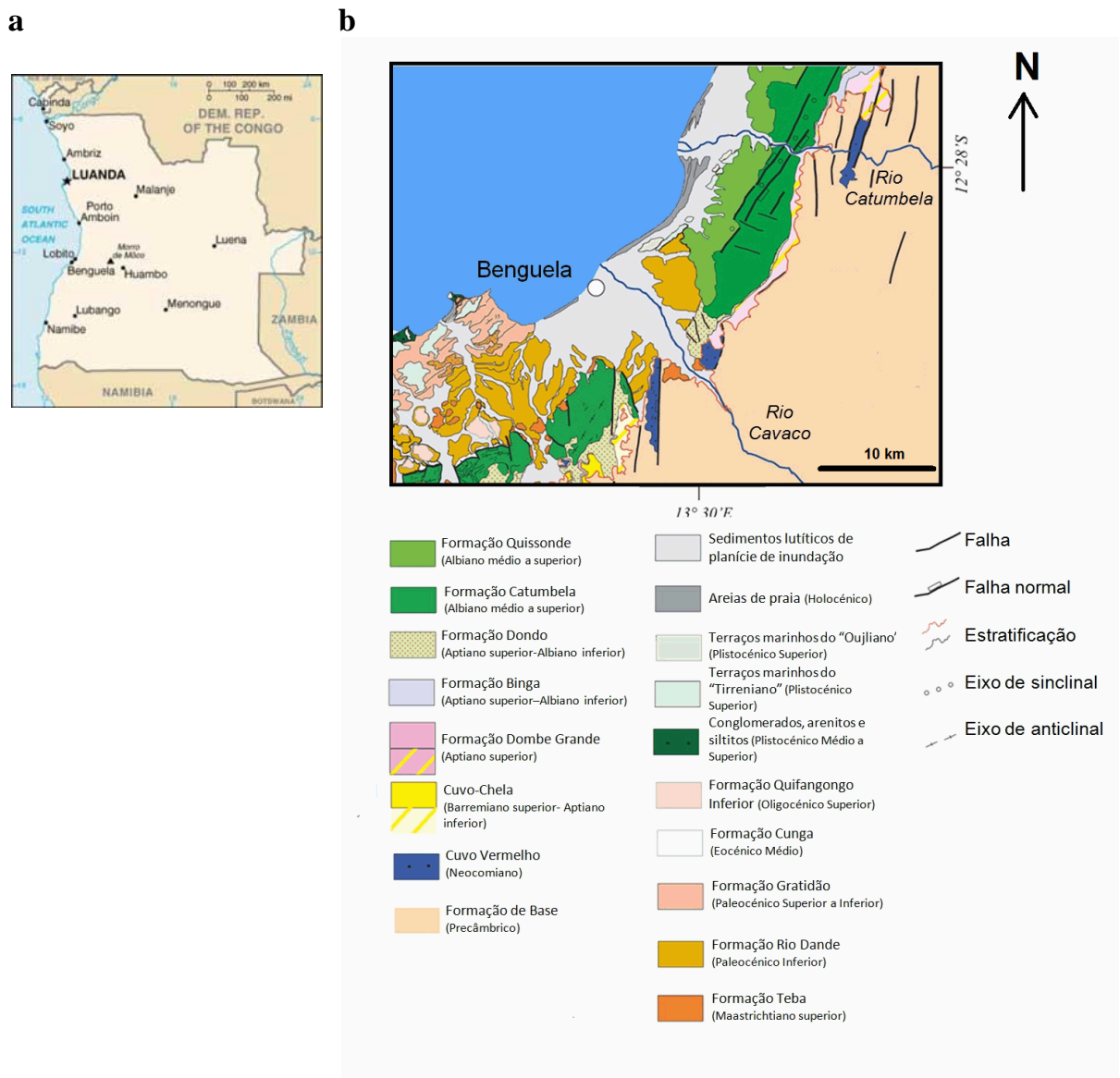


Fig. 2. a) Localização geográfica da área de estudo; b) Mapa geológico adaptado de Giraud et al., 2010.

As rochas do Complexo de Base mais representativas na área são gnaisses, migmatitos e micaxistos e associados aos gnaisses ocorrem também granitos. As rochas graníticas e as metamórficas são por vezes atravessadas por rochas filonianas, sobretudo diques doleríticos e pegmatíticos.

No Cretácico distinguem-se dois grandes conjuntos de formações. O primeiro de idade pré-Aptiano é um conjunto detrítico continental, cuja base é constituída por conglomerados, arenitos de grão grosseiro, lutitos e depósitos arcóxicos (Fig. 3a) e onde os conglomerados incluem grandes blocos de rochas do complexo de base (Fig. 3b). Esta formação (Cuvo Vermelho) marca o início do enchimento sedimentar da bacia (Neto, 1960; Guiraud et al., 2010).



Fig.3- Rochas do Cretácico e do Quaternário na região de Benguela; a) depósitos arcóxicos; b) depósitos conglomeráticos do Cretácico Inferior; c) margas e calcários do Cretácico Superior; d) aluviões do Quaternário.

Seguem-se argilitos e arenitos de grão fino (Formação do Cuvo Cinza) e arenitos esbranquiçados silicificados e calcários dolomitizados (Formação do Cuvo-Chela), (Neto, 1960; Guiraud et al., 2010), que não afloram na região estudada. Segundo Carvalho (1974) este conjunto inferior engloba também depósitos margosos, com camadas intercaladas de calcário e gesso.

O Aptiano é formado essencialmente por depósitos evaporíticos, mas no topo contém argilitos e carbonatos (Buta-Neto et al. 2006; Carvalho, 1974; Guiraud et al., 2010). Do Albiano até ao Maastrichiano a bacia é formada por depósitos marinhos, calcários, calcários margosos, (Fig. 3c), calcarenitos, margas e lutitos, mas ocorrem também níveis conglomeráticos, areno-conglomeráticos ou areníticos de idade Turoniana de acordo com Neto (1961), Carvalho (1974) e Guiraud et al. (2010). O Paleocénico e Eocénico Inferior são constituídos por alternâncias de argilas, siltitos, arenitos de grão fino a que se seguem calcários alternantes com margas e lutitos laminados (Guiraud et al., 2010).

O Plistocénico médio a superior é formado por depósitos deltaicos e terraços marinhos (Neto, 1960 e Carvalho, 1961), constituídos por materiais detríticos não consolidados, de natureza diversa (areias, argilas e calhaus rolados), os quais se distribuem junto ou nas proximidades da costa, por vezes com grande possança. O Holocénico é constituído por areais de praia e aluviões da planície de inundação (Fig. 3d). A cidade de Benguela assenta sobre estes sedimentos (Fig. 2).

Na região de Benguela conhecem-se várias ocorrências de minérios de cobre, geralmente localizadas nos níveis de base do conjunto sedimentar, nas proximidades de contacto com as rochas do complexo de base (Fig. 4). Estas ocorrências são, essencialmente, representadas por impregnações de malaquite associada, em alguns pontos, a abundantes óxidos de ferro, em grés e conglomerados. A mineralização é lenticular e em certos casos tende a seguir a estratificação, mas é pouco persistente. A elevada inclinação das camadas dá por vezes, às lenticulas mineralizadas, a aparência de filões, o que acontece em «Mina do Inglês» (Fig. 4).

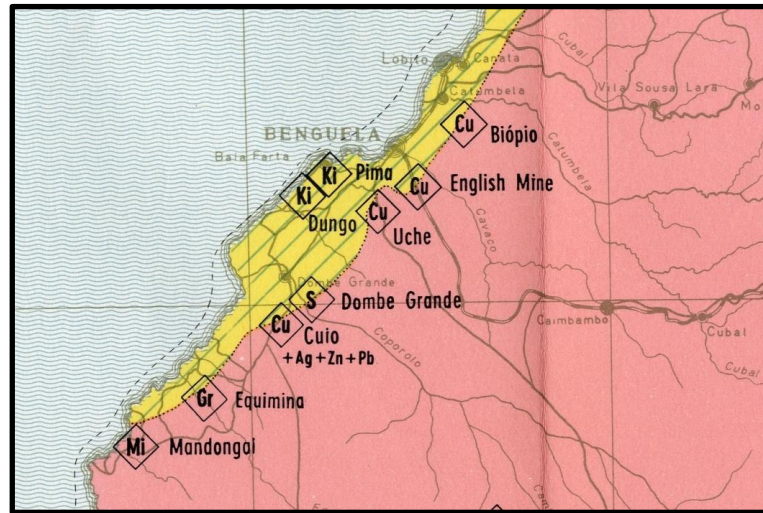


Fig. 4 – Localização de ocorrências de minérios na região de Benguela (Galvão & Silva, 1972).

2.3. Geomorfologia e solos

A geomorfologia da província de Benguela é caracterizada por uma combinação de planaltos escalonados, cortados por vales onde ocorrem com depósitos sedimentares e por colinas monolíticas isoladas. Característicos são os vales de rio, que estão secos na maior parte do ano, com água apenas nos períodos das chuvas.

Na faixa litoral predominam os solos calcários com tendência para a alcalinidade o que leva a formação de solos compactos. Há também solos aluvionais propícios para a prática agrícola nas zonas próximas ao rio Cavaco. Os solos apresentam fertilidade variável com algumas reservas minerais disponíveis na faixa litoral e à medida que nos afastamos para o interior, encontramos as formações planálticas caracterizadas por estepe, florestas abertas, ervas rasteiras e maciços de arbustos e espinho, como os espinheiros e as acácias.

Referencia-se também o avanço da desertificação que vai sendo potencializada pelo abate massivo do recurso florestal por parte da população para fins comerciais e de consumo (combustível), e sem qualquer reposição. Associa-se a esta questão

ambiental outras, como a desqualificação do sistema hídrico, pelo deficiente sistema de drenagem das águas pluviais e residuais.

2.4. Enquadramento climático e hidrológico

O clima de Angola é caracterizado por duas estações: a chuvosa, que decorre de Outubro a Abril, e a do cacimbo, de Maio a Setembro. Benguela fica localizada na região de clima árido com precipitação <500 mm, do sudoeste de Angola, de clima megatérmico na faixa litoral. O clima é tropical seco e quente, nesta região. A estação das chuvas é maior que a do cacimbo. As temperaturas médias oscilam entre os 24 °C de mínima e 32 °C de máxima. A temperatura média anual é 25 °C, a precipitação média anual é de 446,5 mm e a humidade relativa média é aproximadamente a 80% (Administração Municipal de Benguela, 200?).

O clima de Benguela é influenciado pela corrente fria de Benguela (Fig. 5a), que é uma corrente oceânica que se move predominantemente para Norte e se forma na zona Oeste do Atlântico Sul, sendo parte do Giro oceânico. A corrente estende-se desde o Sul, na costa oeste do continente africano, até uma posição de frente de corrente Angola-Benguela no Norte, por volta 16°S. Na frente desvia-se para Oeste em direcção à linha do Equador, onde se torna parte da corrente rotativa do Giro oceânico.

A corrente é formada pelos alísios de Sudeste. Na zona costeira os ventos de terra formam o sistema de afloramento da corrente de Benguela. As águas frias e ricas em nutrientes ascendem de profundidades de 200-300m promovem o desenvolvimento do fitoplâncton que, por sua vez, sustenta o ecossistema produtivo da Benguela.

A província é drenada por alguns cursos de água que confinam em quatro bacias hidrográficas: do rio Cubal, do Hanha, da Catumbela e do Coporolo, que definem

vales importantes na faixa litoral da província. Além destes rios há ainda os rios, Balombo, Capilongo, Uchi e Coringe.



Fig. 5. a) Aspecto da corrente fria de Benguela; extraído pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_de_Benguela
b) Aspecto do leito do rio Cavaco na estação seca.

O rio Cavaco, que tem um regime intermitente. Apresenta-se seco ao longo da maior parte do ano (Fig. 5b), correndo água só na estação das chuvas, depois da precipitação, mas é de grande importância no desenvolvimento da agricultura na região, servindo também de abastecimento de água para as populações.

As actividades da população desta zona são influenciadas pelo rio Cavaco, proporcionando um solo fértil para a prática da agricultura. A população desta área desde sempre usou as águas dos furos para diversos fins, sobretudo para o consumo e para a agropecuária. Alguns furos existem desde os anos 70 do século XX, e até hoje ainda estão operacionais.

O rio Cavaco é intermitente dependendo das estações chuvosas o que faz variar o lençol freático. A quantidade e qualidade da água nos furos varia de acordo com o nível freático e este varia com a quantidade de precipitação. Actualmente, embora os furos estejam operacionais poucos são utilizados na área urbana, pois a população possui água canalizada.

Capítulo 3. Metodologia

3.1. Amostragem

Foram seleccionados 12 pontos de amostragem de água (Fig.6), correspondentes a 12 furos, sendo seis na zona urbana, P1 a P6 (Fig. 7a), e seis na zona rural, R7 a R12 (Fig. 7b). A profundidade média dos furos na zona urbana é aproximadamente 6 metros, enquanto que os furos localizados na zona rural têm profundidades que variam dos 12 aos 18 metros.

A água dos furos apresentava-se inodora e incolor e na generalidade límpida, com excepção dos pontos P2, que apresentava partículas de ferrugem e P5, que possuía partículas de areia.



Fig. 6– Localização dos pontos de amostragem (Imagem do Google Earth, Imagem de 28/7/2004 retirada em Maio de 2012).

Para se fazer a caracterização dos sedimentos (textura, mineralogia, pH e condutividade elétrica) foram também colhidas 17 amostras de sedimentos, nos pontos A1, A1', A2, A2', A3, A3' e A4 no leito do rio. As amostras P1 a P5 foram colhidas nos locais de colheita das águas, estando todos na zona urbana e nos pontos R7 a R11 localizados nos locais de colheita das águas na zona rural.

As amostras A3, A3' são de camadas de sedimentos, mais profundas (1 e 1,5 m de profundidade), que possuíam um especto mais argiloso. Também se amostrou a camada argilosa que condiciona a existência de um pequeno lago no leito do rio (A4).

As amostras foram recolhidas e, posteriormente secas durante alguns dias antes de serem armazenadas para transporte. Na tabela 1 são dadas as coordenadas geográficas dos pontos de água e de sedimentos amostrados.

Tabela 1- Coordenadas geográficas dos pontos de água e de sedimentos amostrados

	Latitude	Longitude
Pontos na área urbana		
A1	12°33.894'S	13°24.743E
A1'	12°33.894'S	13°24.743E
A2	12°33.894'S	13°24.902E
A2'	12°33.894'S	13°24.902E
A3	12°34.471'S	13°25.434'E
A3'	12°34.471'S	13°25.434'E
A4	12°35.152'S	13°26.901'E
P1	12°34.094'S	13°25.024'E
P2	12°34.226'S	13°25.186'E
P3	12°34.262'S	13°25.192'E
P4	12°34.528'S	13°25.307'E
P5	12°34.378'S	13°25.241'E
P6	12°34.114'S	13°25.056'E
Pontos na área rural		
R7	12°35.824'S	13°26.866'E
R8	12°35.882'S	13°26.730'E
R9	12°35.616'S	13°27.165'E
R10	12°35.341'S	13°27.045'E
R11	12°35.509'S	13°27.345'E
R12	12°35.775'S	13°27.233'E

3.2. Análise das águas

Foram analisados *in situ* os parâmetros físico-químicos da água que se alteram com muita facilidade, tais como: pH, temperatura (°C), oxigénio dissolvido (% saturação e mg/L), ORP (mV), condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), condutividade eléctrica específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e salinidade (ppm). As medições destes parâmetros foram feitas com o multiparâmetros da marca HANNA, modelo HI9828 devidamente calibrado antes de ser usado (Fig.7c).

Recolheu-se em cada ponto de água uma amostra de água, que foi transportada em garrafas de plástico previamente lavadas com a água a amostrar e mantidas no frio. Posteriormente foram medidos os parâmetros químicos com um fotómetro de bancada da marca HANNA, modelo HI83200, que possui lâmpada de tungsténio, que usa radiação UV-visível e métodos colorimétricos e turbimétricos (Fig 7d).

Com o fotómetro foram analisados os seguintes parâmetros: alcalinidade ($\text{mg}/\text{L}_{\text{CaCO}_3}$), amónia (mg/L), nitritos (mg/L), nitratos (mg/L), fosfato (mg/L), sulfatos (mg/L), ferro ($\mu\text{g}/\text{L}$), cobre ($\mu\text{g}/\text{L}$), crómio IV ($\mu\text{g}/\text{L}$), zinco (mg/L) e potássio (mg/L). Para a análise da alcalinidade e dos teores de potássio, as amostras foram filtradas por filtro de seringa, com porosidade de 0,45 micra.



Fig.7 – a) Aspecto do furo localizado no interior de um quintal na cidade de Benguela; b) aspecto de um furo localizado na zona rural de Benguela; c) imagem do multiparâmetros; d) análise com o fotômetro.

3.3. Preparação das amostras de sedimentos

A preparação das amostras foi efectuada no Laboratório de Preparação de Amostras e Purificação de Minerais, do Departamento de Ciências da Terra (DCT). Nas

amostras A3, A3' e A4 pela sua pequena quantidade, foi feita apenas a determinação da sua mineralogia na amostra total.

As amostras foram totalmente secas numa estufa a 40 °C e depois crivadas usando uma malha de 2 milímetros. Em seguida a amostra foi esboroada e dividida em duas metades, obtendo-se duas sub-amostras. Uma sub-amostra foi crivada, mas usando já uma malha de 0,5 milímetros e destina-se à análise por difracção de raios-x para a determinação da sua mineralogia.

A outra sub-amostra foi usada para determinação da proporção da fração silto-argilosa, no mesmo laboratório e para a determinação do pH e da condutividade elétrica, no Laboratório Químico do DCT.

3.4. Determinação da condutividade, do pH e da fração silto-argilosa dos sedimentos

Para a determinação da condutividade elétrica colocou-se 20 gramas de cada amostra num copo de precipitação previamente preparado e limpo e adicionou-se 100 mililitros de água desionizada, agitando cuidadosamente a mistura, depois deixou-se repousar durante 24 horas. Para o controlo da variação da análise fez-se a repetição de uma amostra e analisou-se também um branco. Após as 24 horas determinou-se a condutividade utilizando o condutivímetro da marca WTW modelo cond 330i

Para a determinação do pH pesou-se também 20 gramas de cada amostra para um copo de precipitação limpo e em seguida acrescentou-se nesta quantidade 50 mililitros de água desionizada. Agitou-se durante 15 minutos todas as amostras, utilizando o agitador magnético, de marca Heidolph e mediu-se o pH com um medidor de pH, da marca WTW, modelo 330i, previamente calibrado. A calibração foi confirmada usando um padrão de pH 7 (IUPAC). Fez-se também repetição de uma amostra para controle da variação analítica.

Não houve possibilidade de fazer análises granulométricas pelo que a proporção da fracção silto-argilosa foi determinada por crivagem a via húmida usando-se um crivo de 63 μm de malha. A amostra foi primeiramente pesada, registou-se a sua massa. De seguida fez-se a crivagem usando água desmineralizada. Depois de secas, ambas as fracções foram pesadas e determinou-se a proporção de cada uma delas.

3.5 Análise por difracção de raios X (DRX)

Os raios X foram descobertos por Roentgen em 1895 e usados em 1912 por Max Von Laue no estudo dos cristais. Os raios-X têm comprimentos de onda (10 e 0.01 Å) que permite que esta luz tenha maior poder de penetração e energia que a luz visível (7200 e 4000 Å), permitindo que esta luz possa atravessar a maioria das substâncias.

A aplicação do raios-X mostrou que se produzem pontos simétricos resultantes da difracção a partir de uma série de planos atômicos. Estes planos atômicos estão distanciados por um espaçamento fixo. Assim, a difracção de raios-X é muito usada na identificação de minerais, especialmente de minerais de argilas.

Não é possível a identificação de materiais amorfos através de difracção de raio-X (Gomes, 2002). Cada mineral tem um determinado espaçamento inter átomos, que lhe é característico. Bragg explicou de forma simples que a difracção de raios-X não é mais do que a reflexão de um conjunto de planos paralelos entre si e distanciados uniformemente. A Lei de Bragg permite calcular as distâncias intercamadas (d) conhecendo o ângulo de difracção (θ) e o comprimento de onda da radiação (λ) e em que n é um número inteiro $n\lambda = 2d \sin\theta$ (Fig.8).

No difractómetro de raios-X do departamento de Ciências da Terra (DCT), os raios X são gerados num tubo de raios catódicos com filamento constituído por

tungsténio, em condições de vácuo. Uma fonte de alta tensão (40 kV) produz uma queda de tensão entre cátodo e ânodo e acelera os electrões que chocam com o ânodo. Quando os electrões atingem o ânodo e sofrem desaceleração é obtido um espectro contínuo de raios-X.

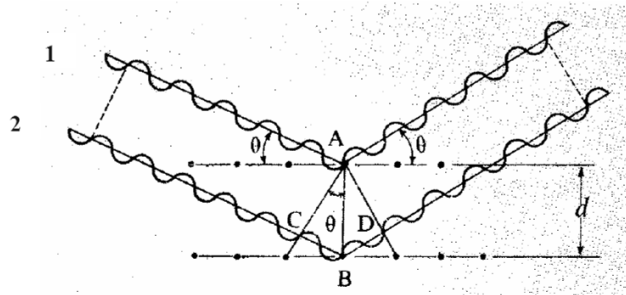


Fig.8. Esquema da difracção de raios-X em planos atômicos. Extraído de Gil e Cardoso (1982)

Para a análise das amostras de sedimentos por difracção de raios-X, usou-se a fracção <0,5mm. A amostra é colocada num almofariz de sílica e moída até ficar reduzida a cristais minúsculos, com pilão de sílica. Em seguida coloca-se a amostra num porta- amostra de alumínio e coloca-se a amostra no difractómetro de raios-X.

O difractómetro é constituído por um gerador de raios-X, um goniómetro (medidor de ângulo) e uma unidade de controlo (Fig. 9). Este equipamento está ligado a um computador. Os difractogramas são processados no computador e posteriormente são impressos em papel. Este procedimento foi realizado durante aproximadamente 40 minutos para cada amostra de sedimentos da zona rural e da zona urbana. Usou-se uma corrente de 20 mA e um potencial de 40 kV sendo a lâmpada emissora de raio-X de cobre, e para identificação dos minerais usou-se o software APD 3.6 J-Automatic Powder Diffraction da Philips



Fig. 9. Gerador de Raios-X do DCT, constituído por Goniómetro e Difractómetro

Capítulo 4. Resultados e discussão

4.1. Sedimentos

4.1.1 Mineralogia

A difracção de raios-X efectuada nos sedimentos mostra que as amostras são maioritariamente constituídas por quartzo e feldspato (Tabela 2). As amostras colhidas na zona urbana e na zona rural não mostram distinção entre a mineralogia que apresentam. As amostras são essencialmente areias que constituem a aluvião do Rio Cavaco. Estas areias resultarão maioritariamente da erosão das rochas do Pré-câmbrico, mas também das rochas carbonatadas do Cretácico, sendo a influência destas rochas maior nas amostras localizadas na área urbana.

Tabela 2- Resultados da difracção de raios-X nos sedimentos colhidos na envolvente do Rio Cavaco

	Zona urbana												Zona rural					
	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	P1	P2	P3	P4	P5	R7	R8	R9	R10	R11	
Quartzo	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Feldspato	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Moscovite	xx						xx	x										
Dolomite	xx	xx	x	x	x	x	x	xx	x	x	xx	x	x	x	xx	xx	xx	x
Calcite	x	x	xx	x	x	x	x	x	xx	x	xx	xx	x	x	xx	x		
Hematite	x	x	xx		x		xx	x	x	x	xx		x	x	xx	x	x	
Anfíbolos	x	x	x	x				x			x	x	x	x	x	x	x	x
Minerais de argila/clorite	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x
Magnetite	x	x	x	x				x			x	x	x		x	x	x	x
Sulfuretos											x	xxx						
Turmalina (dravite)				x							x							

xxx- Muito abundante; xx- Pouco abundante;x- Vestígios

Os resultados das análises dos sedimentos das amostras da zona rural e da zona urbana expostos na tabela 2, foram elaborados com base nos valores dos difractogramas resultantes da análise de raios-X, de cada ponto de amostragem das

deferentes zonas. A figura 10 representa o difractograma de uma amostra da zona urbana A1.

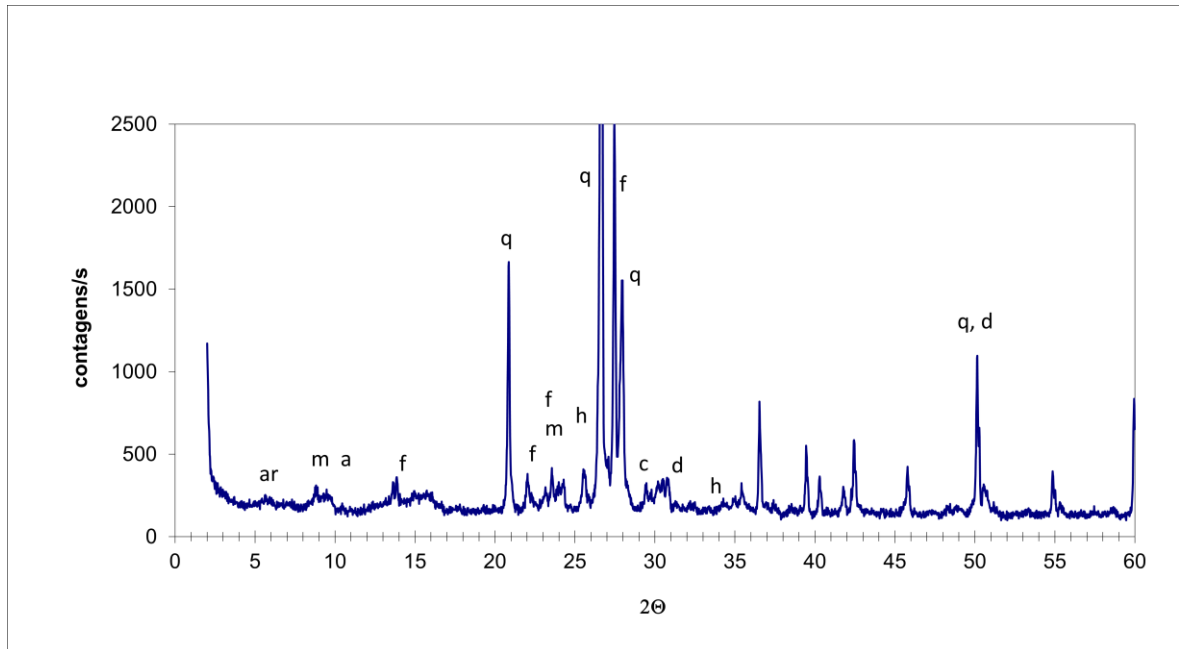


Fig.10. Exemplo de um difractograma obtido na amostra A1. Símbolos: q- quartzo; f- feldspato; d- dolomite; m-moscovite. Ar-minerais de argila; h-hematite; c- calcite; a- anfíbola

A existência de feldspatos em grande abundância revela a influência de um clima seco, assim como a existência de anfíbolos vestigiais revela a pequena alteração química relacionada com este tipo de clima. As anfíbolos serão provenientes das rochas metamórficas do Pré-câmbrico e dos diques de rochas básicas, que as cortam e que afloram a montante. As dolomites e calcites são provenientes das rochas calcárias e dolomíticas.

As calcites e dolomites são dos minerais mais susceptíveis à meteorização química (Berner e Berner, 1996). Estes minerais permanecem nos sedimentos porque a precipitação média anual é baixa (446,5 mm), e para além disso os valores de pH dos sedimentos são na sua maioria elevados, o que dificulta a dissolução dos

carbonatos. Há tendência para que a calcite e a dolomite sejam mais abundantes nos sedimentos colhidos na área urbana.

A fraca alteração dos minerais ferromagnesianos (anfíbolos) e magnetite embora pequena, originou a formação de hematite, que é um mineral estável no ambiente superficial e por isso está presente nos sedimentos, mas em pouca quantidade, pois as quantidades de anfíbola e magnetite que se alteram são pequenas, devido ao clima seco e quente.

A existência de sulfuretos na amostra de sedimento P4 sugere que estes foram transportados das mineralizações de cobre que ocorrem nas proximidades (Fig.4). A presença de sulfuretos indica também a lenta alteração química dos minerais. O relevo a montante do local onde foram colhidas as amostras de sedimentos propicia o transporte muito rápido dos materiais, não favorecendo a sua alteração química.

4.1.2. Fração silto-argilosa, condutividade elétrica e pH

Os resultados da proporção da fração silto-argilosa, do pH e da condutividade elétrica dos sedimentos da zona urbana e da zona rural estão representados na tabela 3. Os sedimentos amostrados são constituídos essencialmente por areia. A proporção da fração silto-argilosa (<63 μm) varia entre 0% na amostra R8 e 25% na amostra R10 (tabela 3). De notar que são sedimentos superficiais e que estão sujeitos a lavagem pela escorrência superficial.

Analisando os valores do pH dos sedimentos na zona urbana verifica-se que estes variam entre 8,2 a 9,8, sendo o maior valor localizado no ponto P1. Na zona rural os valores de pH variam de 7,1 a 8,2 (Tabela 3). Observa-se que existe uma variação dos valores do pH na zona urbana em relação à zona rural, sendo que, os maiores valores de pH foram encontrados na zona urbana (Fig.11).

Este aumento de pH que se observa nos sedimentos da zona urbana pode ser devido à proximidade do oceano, à litologia das rochas aflorantes e à atividade antrópica, pois há águas residuais das lavagens de roupa e carros que são despejadas livremente pelos solos devido à falta de saneamento.

Os valores da condutividade eléctrica dos sedimentos na zona urbana variam de 89,2 a 1359,2 $\mu\text{S/cm}$ e a maior condutividade determinou-se no ponto P2 (tabela 3, Fig. 12). Na zona rural a condutividade eléctrica dos sedimentos analisados varia entre 13 a 1498,2 $\mu\text{S/cm}$ (Fig.12) e o ponto R8 apresenta um valor da condutividade muito baixo (13 $\mu\text{S/cm}$). Estes valores indicam que a quantidade de sais solúveis em água é muito variável nestes sedimentos e não há diferença significativas na condutividade eléctrica dos sedimentos entre as duas zonas.

Tabela 3- Valores de pH, condutividade eléctrica e proporção da fracção silto-argilosa dos sedimentos.

	pH	Condutividade Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	% da fracção silto-argilosa
Zona urbana			
A1	8,5	89,2	0,54%
A1'	9,2	131,5	0,30%
A2	8,2	157,6	0,5%
A2'	9,1	265,2	0,5%
P1	9,8	956,2	1,6%
P2	8,8	1359,2	n.d.
P3	8,8	99,8	8,3%
P4	9,1	623,2	14,9%
P5	9,7	839,2	16,9%
Zona rural			
R7	5,7	110,4	7,1%
R8	7,1	13	0%
R9	8,2	578,2	21,3%
R10	7,6	1498,2	25%
R11	8,2	334,2	5,6%

nd: não determinado

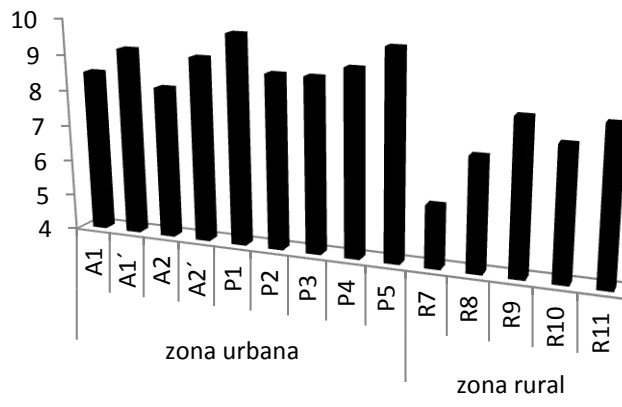


Fig. 11. Variação dos valores de pH nos sedimentos estudados

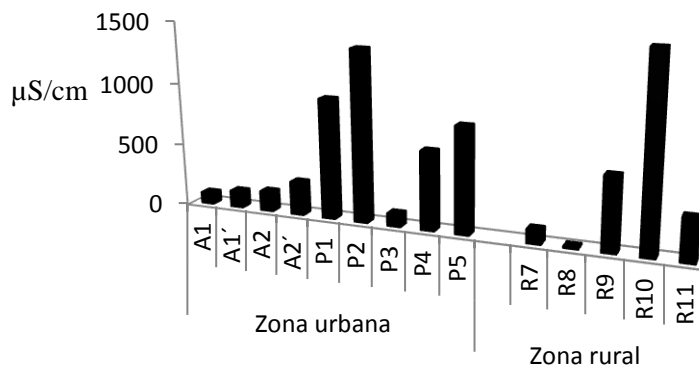


Fig. 12. Variação dos valores de condutividade eléctrica nos sedimentos estudados

Nas amostras analisadas, com excepção da amostra P1, observa-se um aumento da condutividade eléctrica com o aumento da proporção da fração silto-argilosa (Fig. 13), portanto quanto mais fino é o sedimento maior é a sua condutividade eléctrica. Tal deve-se ao facto das amostras de granulometria mais fina possuírem maior área específica e como tal possibilitarem uma maior precipitação de sais solúveis.

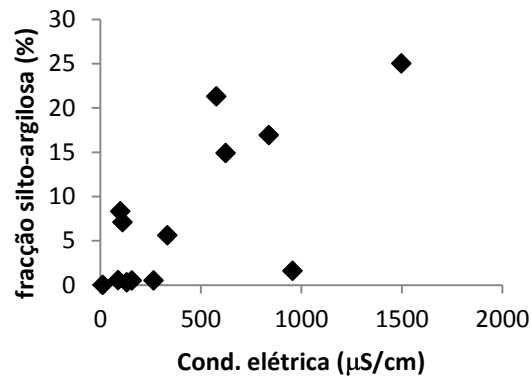


Fig. 13. Relação entre condutividade elétrica e a proporção da fração silto-argilosa nos sedimentos

4.2. Águas

4.2.1. Parâmetros físico-químicos analisados nas águas

Os resultados dos parâmetros físico-químicos dos pontos de água analisados são apresentados na Tabela 4. As águas subterrâneas tem uma amplitude térmica pequena (Custódio e Lamas, 1983), isto é, a sua temperatura não é influenciada pelas mudanças atmosféricas, excepto as águas dos aquíferos pouco profundos. As temperaturas das águas amostradas na zona urbana variam entre 28,2 °C e 28,7 °C. Na área rural os valores da temperatura das águas vão de 27,7 °C a 28,9 °C (Tabela 4 e Fig. 14).

Não há assim diferença significativa entre a temperatura das águas dos furos localizados na zona urbana, cuja profundidade é cerca de 6 m e a temperatura das águas dos furos localizados na zona rural, que são mais profundos (12 a 18 m). Tal deve-se ao clima quente e semi-árido da região e com pequenas amplitudes térmicas.

Os teores de oxigénio dissolvido oscilam de 0,56 a 2,46 mg/L nas águas da zona urbana, enquanto na zona rural os teores variam de 0,09 a 0,73 mg/L (Tabela 4 e Fig. 14). Esta diferença pode dever-se ao facto de os furos da zona rural apresentam

maior profundidade, pelo que a água sendo mais profunda terá menor quantidade de oxigénio dissolvido.

As águas colhidas na zona urbana apresentam valores da condutividade eléctrica que variam entre 1726 e 2402 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que as águas da zona rural apresentam condutividades que variam entre 527 a 669 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 4 e Fig.14). Há assim uma diferença significativa entre as quantidades de sais dissolvidos nestes dois tipos de água.

A condutividade eléctrica da água indica sua capacidade de transmitir a corrente eléctrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em aniões e catiões (Santos, 2000). Quanto maior a concentração iónica da solução, maior é a oportunidade para a acção electrolítica e, portanto, maior capacidade em conduzir corrente eléctrica. A concentração iónica da solução depende da quantidade de sais dissolvidos, pelo que a condutividade eléctrica relaciona-se diretamente com a salinidade e está dependente da temperatura, por isso se mediu a condutividade eléctrica específica.

Como se referiu as águas possuem temperaturas semelhantes. As águas colhidas na zona urbana são menos profundas e portanto possuirão um menor tempo de contacto com os sedimentos que constituem o aquífero. Contudo estas águas são extraídas com pouca frequência, enquanto que as águas dos furos na zona rural são extraídas todos os dias, pelo que o tempo de contacto poderá ser menor nestas últimas. Por outro lado o facto de as águas na zona urbana possuírem maiores condutividades pode ser devido à contribuição de sais introduzidos nos sedimentos pela actividade antrópica, uma vez que nesta zona existem esgotos domésticos e industriais e águas de lavagem de roupas e carros.

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água subterrânea na região de Benguela

	Pontos de água na zona urbana						Pontos de água na zona rural					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
pH	6,9	7,2	7,1	6,9	6,9	7,0	6,6	6,5	6,6	6,7	6,7	6,5
Temperatura (°C)	28,34	28,41	28,67	28,21	28,43	28,31	28,33	28,62	28,43	27,68	28,43	28,91
Condutividade elétrica específica(μS/cm)	1707	1621	2023	2189	1931	2260	587	577	584	636	495	596
Condutividade elétrica (μS/cm)	1815	1726	2164	2322	2057	2402	624	616	622	669	527	641
Salinidade (ppm)	853	811	1012	1094	965	1130	294	288	292	318	247	298
ORP (mV)	161,9	152,6	147,4	154	170,2	140,0	143,9	150,1	159,2	158,8	197,9	181,6
Oxigénio dissolvido (% saturação)	7,5	29,4	12,3	17,0	10,1	31,9	1,2	6,5	9,4	8,0	2,5	9,2
Oxigénio dissolvido (mg/L)	0,56	2,26	0,94	1,31	0,77	2,46	0,09	0,5	0,73	0,63	0,19	0,71
Alcalinidade (mg/L _{CaCO3})	225	235	290	245	255	255	120	110	85	110	55	90
Amónia (mg/L)	0,39	<ld	0,13	0,68	10,55	0,17	2,07	0,90	0,63	0,42	<ld	0,01
Fosfatos (mg/L)	0,68	0,85	1,75	1,06	1,17	0,60	0,94	1,13	0,59	0,56	0,82	4,70
Sulfatos (mg/L)	>100	>100	>100	>100	>100	>100	60	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fe (μg/L)	3	475	270	51	326	55	50	135	33	48	149	90
Cu (μg/L)	<ld	240	92	14	<ld	15	116	93	84	216	72	<ld
Crómio(VI) (μg/L)	<ld	<ld	25,0	<ld	126	<ld	<ld	<ld	0,4	<ld	<ld	<ld
Potássio (mg/L)	11,0	12,5	4,5	9,5	18,0	20,0	3,0	25,0	2,0	4,5	5,0	5,5

n.d. : não analisado; ld: limite de detecção; analista: V. Buaió.

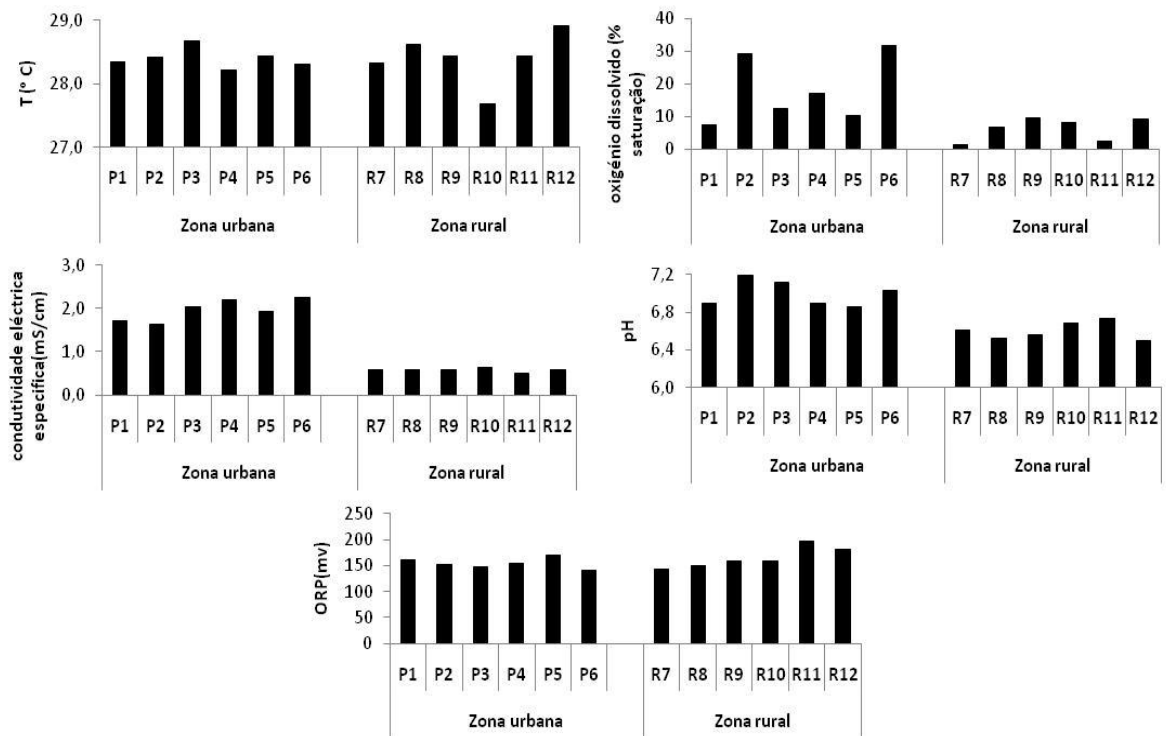


Fig. 14. Diagramas de barras mostrando a variação dos parâmetros físico-químicos das águas analisadas

Pode também ser devido ao facto da precipitação se sais marinhos ser maior na zona urbana, pois estas amostras estão localizadas mais perto do oceano. As quantidades relativas de calcite e dolomite existentes nas amostras de sedimentos colhidos na área urbana são ligeiramente superiores às existentes nos sedimentos da área rural, pelo que a litologia também pode explicar as mais altas condutividades eléctricas.

Apesar dos valores altos da condutividade, verifica-se que estes valores não excedem os estabelecidos pela legislação portuguesa (DL nº 306/2007), que institui para a água de consumo o valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O DL nº236/1998 da Lei Portuguesa indica que o valor máximo de sólidos dissolvidos totais numa água usada para rega não deve exceder 640 mg/L, pelo que todas as águas amostardas na zona urbana possuem quantidades de sais que as tornam impróprias para rega (Tabela 4).

O valor do pH influi na distribuição das formas livres e ionizada de diversos compostos químicos, também contribui para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e faz variar o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogénica (despejos domésticos e industriais).

O pH das águas na zona urbana varia de 6,9 a 7,2, enquanto nas águas na zona rural os valores de pH oscilam entre 6,5 a 6,9, verificando-se que o maior valor de pH ocorre na amostra localizada no ponto P2, na zona urbana (Tabela 4, Fig. 14). Na figura 14 pode ver-se que as águas na zona rural são ligeiramente ácidas, enquanto as águas colhidas na zona urbana são neutras.

Verificou-se também que os valores de pH dos sedimentos colhidos na zona urbana são mais elevados do que na zona rural, pelo que parece haver uma transferência de sais alcalinos dos sedimentos para a águas ou então a elevação dos valores de pH nestas águas pode dever-se à contribuição directa de águas residuais urbanas. Isaías (2011) também encontrou aumento nos valores de pH em águas superficiais impactadas por actividade antrópica.

Apesar das águas da zona urbana apresentarem valores de pH relativamente superiores em relação as águas da zona rural, verifica-se que estas águas não apresentam valores acima do limite estabelecido pela OMS e pelo decreto-lei nº 306/07 da legislação portuguesa cujo valores limite de pH são 6,5 e 9,5.

Existe uma proporcionalidade positiva ($r= 0,7$) entre os valores do pH e do oxigénio dissolvido das águas analisadas, nas diferentes zonas. De uma forma geral, verifica-se que os pontos com maiores valores de pH correspondem também aos pontos com maior teor de oxigénio dissolvido (Tabela 5, Fig.15). Também se verifica uma proporcionalidade positiva ($r=0,9$) entre os valores do pH e os valores da alcalinidade (Tabela 5, Fig.16).

As águas com menores valores de pH e concentração de oxigénio mais baixas correspondem às águas da zona rural. Estas águas são aquelas cujos poços

apresentam maior profundidade, têm menor oxigenação, por isso a existência de alguma matéria orgânica em decomposição leva a uma maior concentração de CO_2 , aumento de H_2CO_3 e um subsequente abaixamento de pH nas águas desta zona (Fig. 15).

Tabela 5- Correlação entre os parâmetros químicos analisados nas águas

	pH	T	CE	ORP	OD	Alc.	NH_4	PO_4	Cu	Cr(VI)	K
pH	1,0										
T	-0,1	1,0									
CE	0,8	0,0	1,0								
ORP	-0,3	0,2	-0,4	1,0							
OD	0,7	-0,1	0,7	-0,4	1,0						
Alc.	0,9	0,0	1,0	-0,5	0,6	1,0					
NH_4	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,1	1,0				
PO_4	-0,3	0,7	-0,2	0,4	-0,1	-0,2	-0,2	1,0			
Cu	0,1	-0,4	-0,3	-0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,3	1,0		
Cr (VI)	0,2	0,1	0,3	0,2	-0,1	0,4	0,7	0,0	-0,3	1,0	
K	0,2	0,1	0,4	-0,3	0,4	0,4	0,2	-0,2	-0,2	0,3	1,0

Os valores de condutividade elétrica, pH, de alcalinidade e oxigênio dissolvido permitem distinguir os dois tipos de águas; as águas da zona urbana possuem pH mais elevado, mais altas condutividade elétrica e alcalinidade e mais altos teores de oxigênio dissolvido, enquanto as águas da zona rural possuem mais baixa alcalinidade, mais baixo pH, menores teores de oxigênio dissolvido (Fig. 15, Fig. 16) e menor condutividade elétrica.

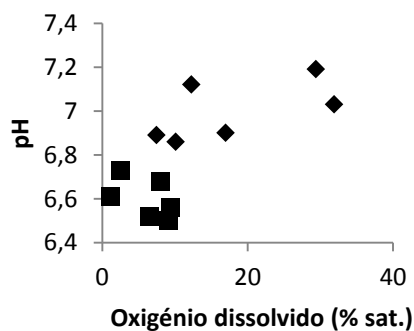


Fig.15- Gráfico de correlação entre o pH e o oxigênio dissolvido (% sat.). Símbolos: quadrados- águas na zona urbana; losangos- águas na zona Rural.

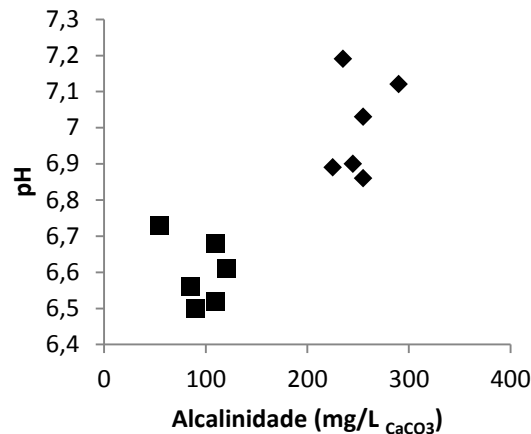


Fig. 16- Relação entre o pH e a alcalinidade. Símbolos: quadrados- águas na zona urbana; losangos- águas na zona Rural

O potencial oxidação-redução (ORP) varia de 140 a 170,2 mV nas águas da zona urbana e a água do ponto P6 apresenta o menor valor. Nas águas da zona rural os valores de ORP variam de 143,9 a 197,9 mV, apresentando valores ligeiramente superiores em relação à zona urbana (Fig. 14).

4.2.2. Espécies químicas analisadas nas águas

A alcalinidade indica a quantidade de iões na água que reagem para neutralizar os iões de hidrogénio. É uma medida da capacidade da água para neutralizar ácidos. As águas da zona urbana apresentam valores muito superiores de alcalinidade (225 a 290 mg/Lcaco₃), comparados com os valores de alcalinidade nas águas da zona rural (55 a 120 mg/Lcaco₃), (Tabela 4, Fig. 17). O que é consequência do seu pH mais elevado, com maior contribuição do ião OH para a alcalinidade.

O ponto 3 da zona urbana possui a água com o maior valor da alcalinidade (290 mg/Lcaco₃), enquanto o ponto R11 o menor valor da alcalinidade da zona rural

(55 mg/L CaCO_3). Esta diferença está conforme com a variação de pH entre estes dois tipos de água (Fig. 14 e Fig. 16).

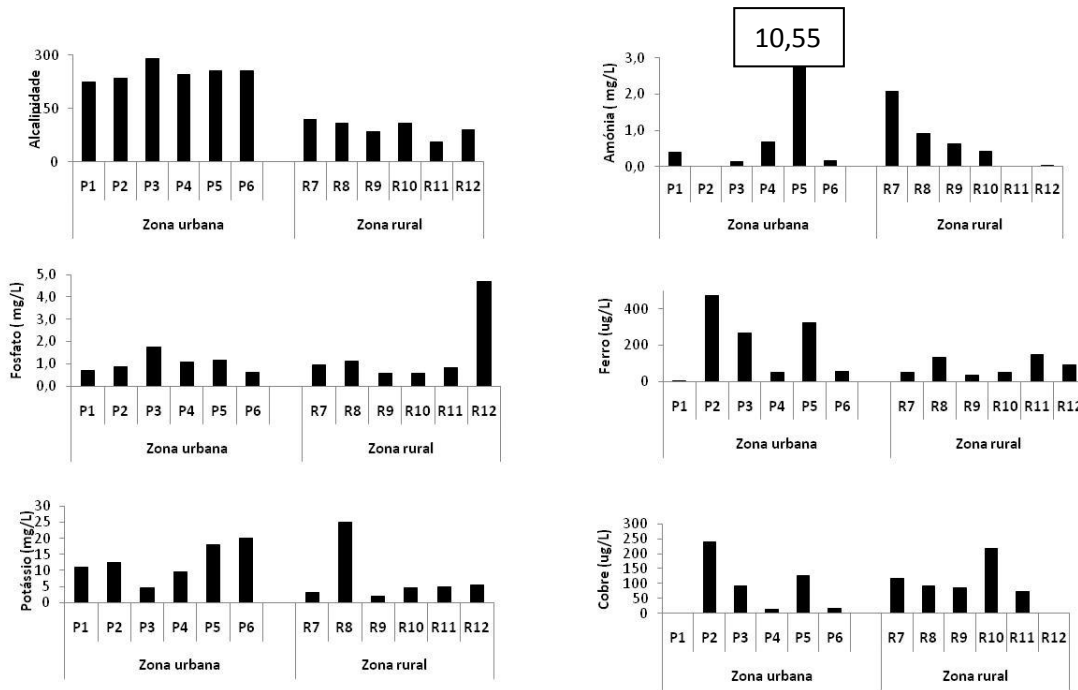


Fig. 17. Diagramas de barras mostrando a variação de algumas espécies químicas nas águas analisadas

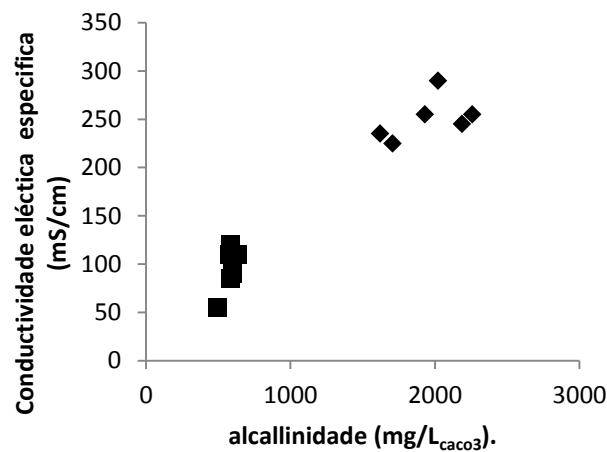


Fig.18- Relação entre a alcalinidade e a condutividade eléctrica específica Símbolos: quadrados - águas na zona urbana; losangos- águas na zona rural

Observa-se uma correlação entre os valores de alcalinidade e os valores da condutividade elétrica em ambos os tipos de águas (Fig. 18), indicando que os aniões são os principais iões que controlam a condutividade elétrica destas águas.

A qualidade das águas subterrâneas nas cidades densamente povoadas pode ser afectada pelo fraco sistema de saneamento (quer por fossas sépticas ou fossas rudimentares). Nas zonas rurais o uso de fertilizantes agrícolas e a criação de animais constituem outra importante fonte de amónia em águas subterrâneas.

Os teores de amónia nas águas da zona urbana variam de não detectado a 10,55 mg/L. O teor máximo de amónia foi encontrado no ponto P5, que poderá resultar da existência de esgotos domésticos e industriais próximo deste ponto. Os teores de amónia nas águas da zona rural variam de não detectado a 2,07 mg/L. Este valor de amónia na zona rural resulta do uso de fertilizantes, nas plantações que existem nesta área. Com excepção do ponto P5 os teores de amónia são semelhantes nos dois tipos de águas (Fig. 17).

Os teores de amónia analisados nos pontos P4, P5, R7, R8 e R9 são elevados se comparados com os valores limites deste parâmetro para água de consumo humano estabelecido pela legislação portuguesa no seu Decreto-lei nº 306/2007 (permitindo apenas 0,50 mg/L). Portanto estas águas estão contaminadas em amónia de acordo com a Lei Portuguesa. As águas dos pontos P5 e R7 estão contaminadas em amónia de acordo com os valores estabelecidos pela Secretaria de Vigilância do Ministério da Saúde do Brasil (2006), que estabelece como valor máximo possível de amónia na água para consumo 1,5 mg/L.

Os teores de nitritos nas águas analisadas são todos superiores a 1,15 mg/L, que é o teor máximo que o fotómetro analisa e não foi possível fazer uma diluição. Segundo a OMS (WHO, 2008), o teor máximo de nitritos em águas de consumo continuado para crianças não deve ultrapassar os 0,2 mg/L e segundo a Legislação portuguesa (DL nº306/2007) o teor máximo em água para consumo humano não deve ultrapassar 0,5 mg/L, pelo que todas as águas analisadas estão contaminadas em nitritos e impróprias para consumo, especialmente de crianças.

Do mesmo modo os teores de nitratos analisados foram todos superiores a 30 mg/L, que é o limite máximo da zona ótima de trabalho do aparelho. O valor limite dos teores de nitratos em águas para consumo de acordo com a Lei Portuguesa é de 50 mg/L (DL nº306/2007). Segundo a lei Brasileira este limite é de 10 mg/L (Ministério da Saúde, 2006), pelo que todas estas águas estão contaminadas em nitratos de acordo com esta lei.

Os valores de fosfatos nas águas da zona urbana variam de 0,60 a 1,17 mg/L (Tabela 4, Fig. 17). Nas águas da zona rural os valores de fosfato são na generalidade semelhantes (0,56 a 1,13 mg/L), com exceção da água do ponto R12, onde atingem os 4,70 mg/L (Fig. 18). Os fosfatos são frequentemente introduzidos nas águas por fertilizantes fosfatados. O DL nº 306/2007 não faz referência aos teores de fosfatos admitidos em águas para consumo humano. O DL nº236/1998 refere valores máximos recomendados (VMR) de 0,4 mg/L em águas da classe A1 e 0,7 mg/L em águas das classes A2 e A3. As águas analisadas possuem teores de fosfatos mais elevados do que os VMR segundo a Legislação portuguesa e localmente os teores são muito elevados.

As amostras de água analisadas na zona urbana apresentam valores de sulfatos acima do limite de detenção, uma vez que o fotómetro utilizado para a determinação dos sulfatos apenas registava valores iguais ou inferiores a 100 mg/L e as águas analisadas tinham um teor superior a este valor. Os esgotos domésticos e industriais e a proximidade do mar nesta área, poderão estar intrinsecamente ligados a estes teores altos de sulfatos. Na zona rural apenas a água do ponto R7 foi analisada, registando o valor de 60 mg/L (Tabela 4).

Os teores de ferro nas águas da zona urbana variam de 3 a 475 µg/L e nas águas da zona rural variam de 33 a 149 µg/L (Tabela 4), sendo na generalidade inferiores (Fig. 17). As amostras que possuem os teores mais elevados são as colhidas nos pontos P2 P3 e P5. O uso de substâncias orgânicas emulsificantes e polifosfatos nos processos de perfuração e desenvolvimentos dos poços criam

condições para que as ferro-bactérias, naturalmente ocorram nos aquíferos, proliferando-se com mas facilidade.

Os teores de ferro de alguns pontos da zona urbana (P2 e P5) estão acima do limite estabelecido pelo DL n° 306/07 do estado português, que é de 200 µg/L. A lei Brasileira (Ministério da Saúde, 2006) estabelece como valor máximo possível de ferro 300 µg/L, para água potável. As águas dos furos P2 e P5 não são aconselháveis para o consumo humano por apresentarem teores elevados de ferro, o que lhes provoca mau sabor e provoca manchas em roupas.

Os teores de cobre nas águas da zona urbana alternam de abaixo do limite de detecção a 240 µg/L. O valor máximo de cobre nas águas da zona urbana encontra-se no ponto 2. No meio rural os teores de cobre nas águas variam de abaixo do limite de detecção a 216 µg/L, e a água do ponto R10 da zona rural apresenta o valor mas alto desta zona. O cobre geralmente ocorre em baixas quantidades nas águas subterrâneas, devido a sua baixa solubilidade. O teor de cobre encontrados nas águas poderá dever-se a existência de minérios de cobre na área em estudo (Fig.4).

Os teores de crómio VI nas águas amostradas são na generalidade abaixo do limite de detecção, tendo sido detectado apenas duas amostras (P3 e P5) da zona urbana (25 e 126 µg/L) e numa amostra da zona rural, R9 com 0,4 µg/L (Tabela 4). O valor de crómio detectado na amostra P5 está acima do limite estabelecido pela OMS e pela legislação portuguesa (DL n° 306/07), que permitem apenas a quantidade de 50 µg/L de teor de crómio nas águas para o consumo humano. A Secretaria de Vigilância do Ministério da Saúde do Brasil também estabelece 50 µg/L o valor máximo de crómio VI para água do consumo humano.

A maioria do cromo hexavalente existente no meio ambiente é derivada de actividades humanas. As principais fontes antropogénicas que libertam o crómio e seus compostos no meio ambiente são: construção civil, resíduos provenientes do cimento, soldagem, indústria de galvanoplastia, minas, lixos urbanos e

industrial, incineração de lixo, cinzas de carvão e fertilizantes (ATSDR, 2000; WHO, 2008).

Portanto as águas analisadas não estão na generalidade contaminadas em Cr (VI), contudo pode haver contaminação pontual, que pode resultar da actividade antrópica, sobretudo de lixeiras existente.

Nas águas da zona urbana os teores de potássio variam de 4,5 a 20 mg/L, sendo a água do ponto P6 a que apresenta a maior quantidade de potássio. Na zona rural os teores de potássio na água variam de 2 a 25 mg/L, sendo o maior valor encontrado na água do ponto R8 (Tabela 4). Na generalidade as águas amostradas na zona urbana possuem teores de potássio mais elevados do que as águas amostradas na zona rural (Fig. 18). Isaías (2011) encontrou aumento nos teores de potássio em águas superficiais impactadas por actividades antrópicas em área urbana. O potássio é um elemento abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequenas quantidades nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas. É introduzido nos solos e águas pela actividade humana pois é um dos constituintes dos detergentes.

Capítulo 5. Conclusões

- O rio Cavaco, de regime torrencial, não apresenta água na maior parte do ano, devido ao clima quente e semi-árido da região e ao relevo de planaltos escalonados. A montante fluí por rochas metamórficas e granitos do Pré-câmbrico e a jusante escava um vale profundo em rochas carbonatadas do Cretácico-Cenozóico.
- Na generalidade os sedimentos colhidos na bacia hidrográfica do rio Cavaco, em zona urbana e rural não mostram distinção na sua composição mineralógica. Apresentam maioritariamente quartzo e feldspato, mas possuem também moscovite, dolomite, calcite, hematite, anfíbolos, minerais de argila, magnetite e algumas amostras têm sulfuretos e turmalina. Esta mineralogia é derivada da alteração, essencialmente física, das rochas que constituem a sua bacia hidrográfica.
- O pH dos sedimentos colhidos na zona urbana, é mais alcalino do que o dos sedimentos colhidos na zona rural. Tal deve-se à proximidade ao oceano, às rochas carbonatadas, que afloram na área urbana e a contribuições antrópicas da cidade de Benguela. Por outro lado os sedimentos colhidos na área rural são usados na agricultura, o que lhes pode provocar um abaixamento de pH e possuem menor contribuição das rochas carbonatadas.
- Não há distinção nos valores de condutividade eléctrica medida nos sedimentos colhidos na área urbana e na área rural.
- A temperatura das águas analisadas nas duas áreas é semelhante e elevada, variando entre 27,7 e 28,9 °C, apesar dos furos localizados na área urbana serem mais superficiais (6 m) do que os localizados na área rural (12-18 m) O facto das temperaturas das águas serem semelhantes deve-se ao clima quente e semi-árido sem grandes amplitudes térmicas.

- As águas da zona urbana apresentam valores de condutividade eléctrica superiores àqueles observados nas águas da zona rural. A profundidade dos furos das águas na zona urbana é menor que os furos da zona rural, que pode resultar num menor tempo de contacto com as rochas que constituem o aquífero. As maiores conductividades das águas da zona urbana podem ser devida à contaminação antrópica.
- Os valores de pH das águas da zona urbana são ligeiramente superiores aos da zona rural, o mesmo sucede com os sedimentos. Tal facto sugere a transferência de sais alcalinos dos sedimentos para as águas ou pode dever-se à actividade antrópica na zona urbana que faz aumentar os valores de pH de sedimentos e águas.
- Os teores de amónia, sulfatos e potássio das águas da zona urbana mostram teores mais elevados que as águas da zona rural, sugerindo significativa contribuição da actividade antrópica (esgotos domésticos, industriais e águas de lavagem de roupa e carros) e nas águas da zona urbana.
- Os teores de cobre elevados (máximos de 240 µg/L na zona urbana e de 216 µg/L na zona rural) serão devidos às várias mineralizações que ocorrem na zona de Benguela.
- Os teores de crómio hexavalente atingem valores elevados em algumas amostras nas águas da zona urbana; podem ser devidos a várias fontes antropogénicas, mas os teores de crómio hexavalente na zona rural são muito baixos ou não foram detectados.
- De acordo com a legislação, as águas estão impróprias para consumo humano, pois algumas amostras de água estão contaminadas em amónia e em fosfatos, todas as amostras estão contaminadas em nitritos e nitratos e algumas

amostras de água da zona urbana apresentam elevados teores de ferro e crómio hexavalente. A elevada salinidade das águas da zona urbana impede o seu uso para rega.

Capítulo 6. Referências Bibliográficas

Administração Municipal de Benguela (200?). Plano de Desenvolvimento Económico e social do Município de Benguela 2009-2013.

Aeroporto 17 de Setembro – Benguela (2012). Controlo da estação Meteorológica: Delegação do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, a 8 de Maio de 2012.

Berner K.B. e Berner, R.A. 1996. Global Environmental: water, air and geochemical cycles. New Jersey, USA, Prattice Hall, 376p

Buta-Neto, A., Tavares, T. S., Quesne, D., Guiraud, M., Meister, C., David, B. e Morais, M. L. (2006). Synthèse préliminaire des travaux menés sous le bassin de Benguela (Sud Angola): implications sédimentologiques, paléontologiques et structurales. Africa Geoscience Review, 13 (3): 239-250.

Carapeto, C. (1999). Poluição das águas, causas e efeitos. Universidade Aberta, Portugal.

Carvalho, H. (1980). Geologia de Angola, escala 1:1.000.000, folha 3. Laboratório Nacional de Investigação Científica e Tropical.

Carvalho G. S. (1960). Alguns problemas dos terraços do quaternário do litoral de Angola. Boletim de Serviços de Geologia e Minas de Angola, nº 2, pp. 5-16.

Carvalho H. (1983). Notice Explicative Préliminaire sur la Géologie de L'Angola. Sep. Garcia de Orta, Serie Geol. Lisboa, 6 (1-2): 15-30.

CONSULT, (2007). Monografia da Província de Benguela. KAT - Empreendimentos e Consultorias, 1ª edição, Benguela. Angola.

Cunha, D.G.F., Calijuri, M.C., Miwa, A.C.P., 2007. A precipitação pluviométrica como agente indutor de modificações nas características químicas do sedimento do rio Jacupiranguinha, Vale do Ribeira de Iguape, Sp. Minerva, 4 (1): 41-49.

Decreto-lei nº236/98 de 1 de Agosto. Diário da república Nº 176 – 1-8-1998 – I serie – A. Ministério do Ambiente, Lisboa.

Custódio, E. e Llamas, M. R. (1983). Hidrologia Subterrânea. Ed. Ómega, T. I e II. Barcelona (Espanha), 1157 pp.

Decreto-Lei Nº 306/2007 de 27 de Agosto. Diário da república Nº164/2007 – I série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Galvão C. F. & Silva, Z. (1972) – Notícia explicativa da folha nº 227-228 (Lobito). Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000. Direcção provincial de Serviços de Geologia e Minas. Angola.

Gil, V.M.S. e Cardoso, A.C. (1982) – Química- fundamentos da estruturas e propriedades da matéria (1º volume), Coimbra, Gráfica de Coimbra.

Gomes, E. M. C., (2004). Sebenta de Mineralogia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.101, 128-140.

González, A. D. e Francisco, K. (1982). Atlas Geográfico. Volume 1. Ministério da Educação da República Popular de Angola, Estocolmo, 49p.

Guiraud, M., Buta-Neto., A. e Quesne, D. (2010). Segmentation and differential post-rifte uplift at the Angola margin as recorded by the transform-rifted Benguela and oblique – to – orthogonal – rifted Cuanza basins. Marine and Petroleum Geology, 27, pp.1040 – 1068.

Isaias, M (2010). Caraterização física-química e avaliação de impactes antrópicas nas águas do rio Caculuvar da região de Lubango. Angola. Tese de Mestrado não publicada. Universidade de Coimbra, 71p.

Ministério da Saúde, (2006). Vigilância e Controlo da Qualidade da Água Para o Consumo Humano. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília. Brasil.

Neto, M.G.N.M. (1960). Estratigrafia da região entre Benguela e o Cabo de S.ta Maria (Angola). Memórias e Notícias, Publ. Museu Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, 49, 1-19.

Neto, M.G.N.M. (1961). As bacias sedimentares de Benguela e Mocâmedes. Boletim dos Serviços de Geologia e Minas de Angola, 3, 63-93.

WHO, (2008). Guidelines for Drinking - Water Quality. Volume 1. 3rd edition.

Pidwirny, M. (2006). "The Hydrologic Cycle". Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition.

Santos, A. C. (2000). Noções de Hidroquímica. In F.A.C. Feitosa e J. M. Filho, Hidrologia: Conceitos e Aplicações. 2ª ed. CPRM, Fortaleza, 81-108pp.

Snamprogetti, (1986). Vale do Cavaco. Reactivação e desenvolvimento da Produção Agrícola. Ministério da Agricultura. Benguela.

Sites pesquisados na internet

pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_de_Benguela

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>

<http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/OD>