

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus todo-poderoso criador dos Céus e da Terra. Aos meus familiares, pela paciência, apoio, incentivo, compreensão, tolerância e, pela presença constante na minha ausência, nos momentos difíceis e cruciais desta batalha.

Agradecimentos

A Deus todo-poderoso pela vida e saúde que me proporcionou durante a minha formação e realização deste trabalho.

À minha família, em especial os meus avós António «in memoriam» e Teresa que desde cedo enveredaram pela minha formação, os meus sinceros agradecimentos, com amor e carinho.

Às orientadoras deste trabalho, Professoras Doutora Maria Manuela da Vinha G. da Silva e Paula Cristina Simões de Carvalho, por terem assumido tão grande responsabilidade e por toda dedicação concedida a este trabalho científico, que me deixa sem saber como agradecer-las.

A todos os professores que fazem parte da grande equipa do curso de Mestrado em Geociências, da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra, particularmente aos Professores Doutores Alcides Pereira, Néilson Rodrigues, José Manuel Azevedo, Luís Duarte, Pedro Callapez, João Pratas, Pedro Santarém, Pedro Diniz e Alexandre Tavares, pelos valiosos ensinamentos e orientações prestadas com inteligência e dedicação, não se esquecendo a Professora Doutora Margarida Ventura e o Engenheiro Carlos Ribeiro que muito fizeram por mim.

Ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra pelo apoio material e aos funcionários deste Departamento pela ajuda e simpatia em todos momentos da minha estadia.

Resumo

O rio Cavaco situado na província de Benguela, centro oeste de Angola insere-se numa bacia hidrográfica onde predominam rochas metamórficas (gnaisses, migmatitos e micaxistos), e alguns granitos na região de cabeceira da bacia. Para jusante e já na bacia sedimentar de Benguela ocorrem depósitos detríticos, evaporíticos e rochas calcárias do Cretácico-Cenozóico e sedimentos Quaternários. A cidade de Benguela está localizada sobre estes sedimentos. O rio Cavaco apresenta regime torrencial e tem apenas água na época de chuvas. O clima é quente e seco, a temperatura anual média varia entre 22° C e 24 °C, a precipitação média anual é muito baixa (165 mm; precipitação anual em 2011). Existem vários furos localizados nos aluviões do rio Cavaco e alguns poços no leito do rio. Os sedimentos próximos destes furos e poços são constituídos maioritariamente por quartzo e feldspato, apresentando também moscovite, dolomite, calcite, hematite, anfíbolos, magnetite, bem como minerais de argilas avaliados em pouco abundantes ou vestigiais e algumas amostras possuem sulfuretos e turmalina. Os sedimentos apresentam uma fracção silto-argilosa inferior a 25 %, mas na maioria das amostras esta é inferior a 8,3 % e tende a diminuir para jusante. O pH dos sedimentos varia entre 5,7 e 9,8, sendo que os sedimentos a jusante apresentam pH mais alcalinos, o que sugere a influência marinha, das rochas carbonatadas do Cretácico e da contribuição antrópica. A conductividade eléctrica dos sedimentos varia entre 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1498,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo os maiores valores devidos a actividade antrópica. As águas subterrâneas são ligeiramente ácidas a neutras (6,55 a 6,96) e apresentam conductividade eléctrica que varia entre 319 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2338 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas superficiais são neutras a alcalinas (7,62 a 8,65), têm maiores valores de conductividade eléctrica (395 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2707 $\mu\text{S}/\text{cm}$), apresentam geralmente maiores teores fosfatos e potássio, que reflecte a influência antrópica. As águas superficiais e subterrâneas estão impróprias para consumo humano já que têm concentrações de nitritos, nitratos e fosfatos acima do limite da legislação portuguesa e brasileira para além de localmente haver concentrações muito elevadas de ferro e amónia. As águas apresentam também alta salinidade e muitas são impróprias para rega. Os elevados valores de conductividade eléctrica de alguns sedimentos aluvionares pode-se ter reflectido nas elevadas conductividades das águas por infiltração de alguns contaminantes provenientes da actividade antrópica.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica; Sedimentos; Rio Cavaco; Angola

Abstract

The Cavaco River flows in the Benguela province, west-central Angola. Upstream, the river drains metamorphic rocks (migmatites, gnaisses, micashist) and some granites, while downstream, in the sedimentary basin of Benguela there are terrigenous deposits, evaporites and carbonated rocks of Cretaceous-Cenozoic age and sediments of Quaternary age. The city of Benguela is located in these sediments. The Cavaco River has a torrential regime and it contains superficial water only in the rainy season. The climate is hot and dry, the annual average temperature varies between 22 and 24°C, the annual precipitation is low (165 mm in 2011). There are some water wells in the flood plain of Cavaco River and there is also some sub-superficial water the actual alluvium. The sediments close to these wells and the alluvium contain essentially quartz and feldspar, but muscovite, dolomite, calcite, hematite, amphiboles, magnetite and clay minerals were also identified (low abundance to vestigial). Some samples contain tourmaline and sulphides. The silt-clay fraction is lower than 25%, but the majority of samples contains less than 8,3% and it tends to be lower downstream. The pH of the sediments varies between 5,7 and 9,8 and the samples collected downstream have higher pH values, which is due to the Ocean proximity, the outcropping carbonate rocks and the anthropogenic contribution. The electrical conductivity of the sediments varies between 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 1498,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and the higher values are due to the anthropogenic activity. The underground water is slightly acid to neutral (6,55 to 6,96) and its electrical conductivity varies from 319 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 2338 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The subsuperficial waters are neutral to alkaline (7,62 to 8,65), have higher electrical conductivity (395 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 2707 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and present higher contents of phosphates and potassium, due to anthropogenic contribution. The subsuperficial and underground waters are not suitable for human consumption because they have nitrites, nitrates and phosphates contents above those allowed by the Portuguese and Brazilian Law and locally they also have very high contents of ammonium and iron. The waters have high salinity so most of them cannot be used for irrigation. The high values of the electrical conductivity of some sediments can be imputed to the underground waters due to infiltration of contaminants derived from anthropogenic activities.

Key-words: Hydrogeochemistry; Sediments; Cavaco River; Angola

Índice Geral

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
1. Introdução	1
2. Enquadramento	4
2.1. Enquadramento geográfico e administrativo	4
2.2. Enquadramento geológico	5
2.3. Morfologia, clima e cobertura vegetal	9
2.4. Enquadramento hidrológico	11
3. Metodologia	12
3.1. Amostragem de águas	12
3.2. Amostragem de sedimentos	15
3.3. Medições “in situ” dos parâmetros físico-químicos das águas	17
3.4. Análise dos parâmetros químicos da água	18
3.5. Determinação do pH, condutividade eléctrica e proporção da fracção silto-argilosa dos sedimentos	18
3.6. Análise por difracção de raios-x	20
4. Resultados	22
4.1. Mineralogia dos sedimentos	22
4.2. Fracção silto-argilosa, p H e condutividade eléctrica dos sedimentos	24
4.3. Águas	26
5. Discussão e Avaliação de Impactes	33
6. Conclusões	43
7. Referências bibliográficas	45

Índice de Figuras

Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa de Angola	4
Figura 2 - Carta geológica da região de Angola	6
Figura 3 - Rochas do cretácico e do Quaternário na região de Angola	8
Figura 4 - Localização de ocorrências minerais na região de Benguela	8
Figura 5 - Unidades geomorfológicas de Angola	10
Figura 6 - Campos aluvionares, com representação do tipo da prática agrícola	10
Figura 7 - Imagem do Google earth correspondente aos pontos de amostragem	12
Figura 8 - Pontos de amostragem	13
Figura 9 - Imagem do Google Earth correspondentes aos pontos de amostragem de sedimentos	16
Figura 10 - Fotómetro de bancada	18
Figura 11 - Exemplo de um difratograma obtido	23
Figura 12 - Proporção silto-argilosa das amostras de sedimentos	25
Figura 13 - Resultados de pH e condutividade eléctrica dos sedimentos	25
Figura 14 - Variação da temperatura nas águas superficiais e subterrâneas	26
Figura 15 - Variação do pH nas águas superficiais e subterrâneas	27
Figura 16 - Variação da condutibilidade nas águas superficiais e subterrâneas	27
Figura 17 - Variação do Eh nas águas superficiais e subterrâneas	29
Figura 18 - Variação do oxigénio dissolvido nas águas superficiais e subterrâneas	29
Figura 19 - Variação da alcalinidade nas águas superficiais e subterrâneas	30
Figura 20 - Variação de amónia nas águas superficiais e subterrâneas	30
Figura 21 - Variação dos teores de nitratos nas águas superficiais e subterrâneas	31
Figura 22 - Variações químicas do potássio, ferro, cobre e crómio nas águas superficiais e subterrâneas	32
Figura 23 - Relação entre a condutividade eléctrica e a proporção da fracção silto-argilosa nos sedimentos	34
Figura 24 - Relação entre a condutividade eléctrica com a alcalinidade e o ORP	38
Figura 25 - Relação entre os teores de sulfatos e os teores de fosfatos, condutividade eléctrica e o ORP nas águas analisadas	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Coordenadas geográficas das amostras de sedimentos	15
Tabela 2 - Mineralogia qualitativa dos sedimentos analisados	23
Tabela 3 - Valores de condutividade eléctrica, pH e proporção da fracção silto-argilosa dos sedimentos	24
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água superficial e subterrânea na região de Benguela	28
Tabela 5 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e teores de espécies químicas analisados nas águas na região de Benguela	37

1. Introdução

A água é um dos mais importantes recursos geológicos e naturais, pois dela depende a vida na Terra. É um componente principal dos ecossistemas naturais e constitui um recurso insubstituível na quase totalidade das atividades humanas. A existência de água disponível foi sempre um dos maiores fatores condicionantes para a fixação de pessoas, expansão de civilizações e conseqüentemente o desaparecimento de muitas delas.

A água é um recurso geológico renovável, mas a sua renovação é muito lenta à escala humana, sendo consumida muito mais rapidamente do que é naturalmente repostada. Tal facto impõe regras próprias de gestão deste recurso e a tomada de medidas específicas de salvaguarda das suas características químicas e biológicas. A degradação da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos atingiu níveis elevados nas últimas décadas e a preocupação com a sua qualidade é crescente. Se a dimensão ambiental tem sido incorporada nos valores dos indivíduos é necessário também incorporar nos processos decisórios, as questões relativas ao meio ambiente (Cunha et al., 2007). Segundo a Resolução CONAMA (2005) in Cunha et al (2010), um dos grandes desafios deste século é a utilização sustentável dos sistemas aquáticos (rios, córregos, lagos e represas) e o seu uso racional e adequado para que sua qualidade esteja de acordo com as exigências de leis vigentes.

A qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas podem ser influenciadas por diversos fatores naturais, como a geologia, o clima, a cobertura vegetal, a geomorfologia, as condições de drenagem do aquífero, bem como por intervenções antrópicas onde se destacam: desmatamento das áreas adjacentes aos corpos de água, mudanças nos usos dos solos, irrigação e despejos de esgotos ou poluentes industriais, domésticos e agropecuárias, perturbando um frágil equilíbrio.

Tratando-se mais especificamente de águas subterrâneas, que se encontram em constante interação com as rochas de diferente composição química, e cuja

contaminação é difícil de corrigir, a investigação da qualidade das águas é de inegável importância, constituindo ferramenta ímpar e esclarecedora no contexto da sustentabilidade ambiental.

A cidade de Benguela apesar de ter neste momento o melhor sistema de abastecimento de águas a nível do país, abarcando quase a totalidade da sua extensão, incluindo alguns dos bairros emergentes, vive situações precárias de saneamento básico. A falta de um sistema de recolha de esgoto em algumas áreas da cidade e em todos os bairros periféricos, bem como o défice no tratamento dos resíduos sólidos urbanos, por falta do ordenamento do território, tem contribuído para inúmeros problemas de saúde dos seus cidadãos e tem provavelmente contribuído para a contaminação do aquífero do rio Cavaco.

O município de Benguela, com a execução do Projecto Água Para Todos, passou a usufruir da água proveniente do rio Catumbela, o que juntamente com a instalação de nova fábrica de água de nascente no rio Cavaco, fez com que passasse a beneficiar de melhor qualidade de água. Desta forma, na cidade deixou-se de utilizar as águas subterrâneas, provenientes de furos, distribuídos ao vale do rio Cavaco, o que tem contribuído na melhoria das condições sanitárias da população e consequentemente da saúde e não só da população de Benguela. Contudo as águas subterrâneas são ainda usadas pelas populações fora da área urbana.

Este trabalho propõe o estudo da hidrogeoquímica das águas subterrâneas, na bacia hidrográfica do Cavaco, ao longo do leito deste rio, que desagua no Atlântico, e na foz da qual se desenvolve a cidade de Benguela. Pretende-se determinar os parâmetros físico-químicos da água e teores de algumas espécies químicas dissolvidas e fazer a interpretação dos resultados obtidos pela busca das relações entre as variáveis analisadas nas águas, bem como apurar a possibilidade de impactes antrópicos na composição das amostras de água.

Tratando-se de um aquífero não confinado a água tem a sua composição influenciada também pela água superficial, pelo que as águas superficiais, embora escassas, foram também amostradas e estudadas. Assim as amostras de águas foram recolhidas nos poços/charcos ao longo do leito do rio e em furos localizados ao longo do vale do Cavaco.

Sendo a composição da água subterrânea influenciada pela litologia do aquífero achou-se conveniente proceder também a uma caracterização dos sedimentos, pelo que foram também analisadas amostras dos sedimentos do rio Cavaco, colhidas nas proximidades dos pontos de colheita das águas.

Os objectivos deste trabalho são:

- Determinação dos valores dos parâmetros físico-químicos das águas.
- Determinação dos teores de espécies químicas dissolvidas nas águas.
- Caracterização mineralógica dos sedimentos e determinação de algumas propriedades texturais e físico-químicas.
- Interpretação dos dados obtidos.
- Avaliação da qualidade das águas.
- Extrair conclusões dos dados obtidos

2. Enquadramento

2.1. Enquadramento geográfico e administrativo

O território de Angola, com uma área total de 1.246.700 km², está situado na parte ocidente da África Austral, entre as latitudes aproximadas de 4° – 18° sul e as longitudes aproximadas 12-24° leste. A sua extensão N-S é de aproximadamente 1300 km e W-E é de 1.250 km. A Oeste contacta com o Oceano Atlântico, tendo com limite norte a República do Congo, a República Democrática do Congo a norte e leste, a República da Zâmbia a leste, e a Namíbia a sul (Fig. 1).



Fig. 1- Mapa de Angola. Encyclopaedia Britannica in:
<http://www.spanport.ucsb.edu/faculty/mcgovern/Angola/angola.html>

Benguela é uma das províncias de Angola, que ocupa uma área de 39.827 km² (CEP, 2006). Está localizada a oeste da zona central da República de Angola, e faz fronteira a norte com a província do Cuanza Sul, a leste com a do Huambo, a sudeste com a Huila, a sul com o Namibe e a oeste com o Oceano Atlântico. Está dividida em 10 municípios e 29 comunas. A sua população está estimada em 2

milhões de habitantes e na cidade de Benguela foi estimada em 852 669 habitantes em 1997. (Administração Municipal de Benguela, 2011). Foi considerada a 2ª cidade mais populosa de Angola.

A população tem crescido imenso nos últimos anos, como em todas as cidades angolanas, devido ao êxodo rural provocado fundamentalmente pela guerra civil. O crescimento da população tem levado ao crescimento anárquico das construções, impedindo ou dificultando a implementação de planos de urbanização. Estas construções não possuem saneamento básico, pelo que os esgotos são colectados em fossas sépticas ou lançados livremente para os solos, o que potencia a sua contaminação e consequentemente a dos aquíferos.

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 pré-Aptiano ao do Holocénico (Fig. 2), que constituem a Bacia de Benguela.

As rochas metamórficas mais representativas na área são gnaisses, migmatitos e micaxistos. 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-Apciano 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).

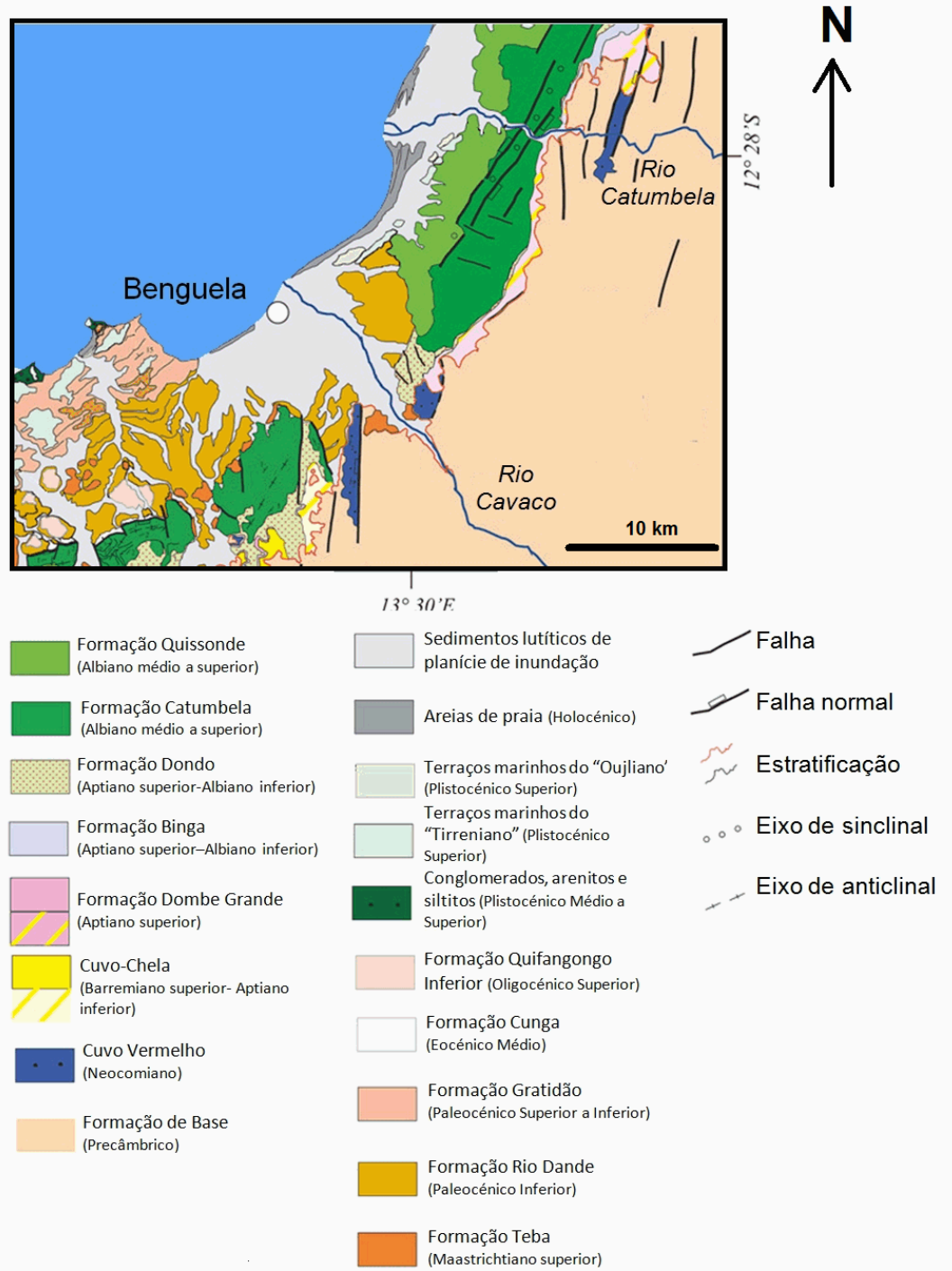


Fig. 2. Carta geológica da região de Benguela. Extraído de Guiraud et al. (2010).

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 (1980) este conjunto inferior engloba também depósitos margosos, com camadas intercaladas de calcário e gesso.

O Apciano é formado essencialmente por depósitos evaporítico, mas no topo contém argilitos e carbonatos (Buta-Neto et al. 2006; Carvalho, 1980; Guiraud et al., 2010). Do Albiano até ao Maastrichiano a bacia foi preenchida 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 (1983) 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 Pleistocénico médio a superior é formado por depósitos deltaicos e terraços marinhos (Neto, 1960 e Carvalho, 1960), 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 lentículas mineralizadas, a aparência de filões, o que acontece em «Mina do Inglês».



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



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

2.3. Morfologia, clima e cobertura vegetal

A bacia de Benguela fica inserida na faixa litoral de Angola (Galvão e Silva, 1972) que na região de Benguela possui uma largura de 10 a 20km e com altitude que variam entre 0 a 500 m. Esta faixa estende-se ao longo de toda a costa angolana nela aflora as rochas do Mesozoico e localmente do Plistocénico (Fig. 5). A geomorfologia da bacia reflecte no seu conjunto as características geológicas. O nível de base é caracterizado de montante para jusante por um *plateau* granítico com um declive que ronda os 1% com relevos isolados do tipo *inselberg* e corresponde às rochas de base graníticas.

Segue-se uma faixa com declive mais acentuado que ronda os 1,6% correspondentes às rochas metamórficas, com relevos isolados e cadeias montanhosas condicionadas pela tectónica e em seguida uma faixa mais suave, com um declive de 0,4% que corresponde às rochas sedimentares.

O clima da região de Benguela é clima megatérmico, quente, semi-árido caracterizado por temperaturas médias de 22 a 24 °C e a pluviosidade anual média é cerca de 200 mm. Contudo os valores anuais da precipitação são bastante variados desde o mínimo de 6,9 mm (1947) ao máximo de 259,7 mm (1963), medidos no Lobito, segundo Queiroz (1955) citado em Snamprogetti (1986). Na bacia hidrográfica do Cavaco, o clima varia de jusante para montante de semi-desértico a semi-húmido.

De um modo geral, pode observar-se que na faixa central da bacia do Cavaco as temperaturas são particularmente altas com médias anuais superiores às da parte mais a montante e às do litoral. Também todos os outros parâmetros climáticos variam notavelmente em toda a bacia em função da altitude das várias zonas. Com o aumento da altitude, aumenta a precipitação anual e o número de dias chuvosos e diminui a evapotranspiração e a humidade relativa. As características climáticas, como as temperaturas máximas, médias e mínimas, a humidade relativa e a insolação, apresentam poucas variações anuais.

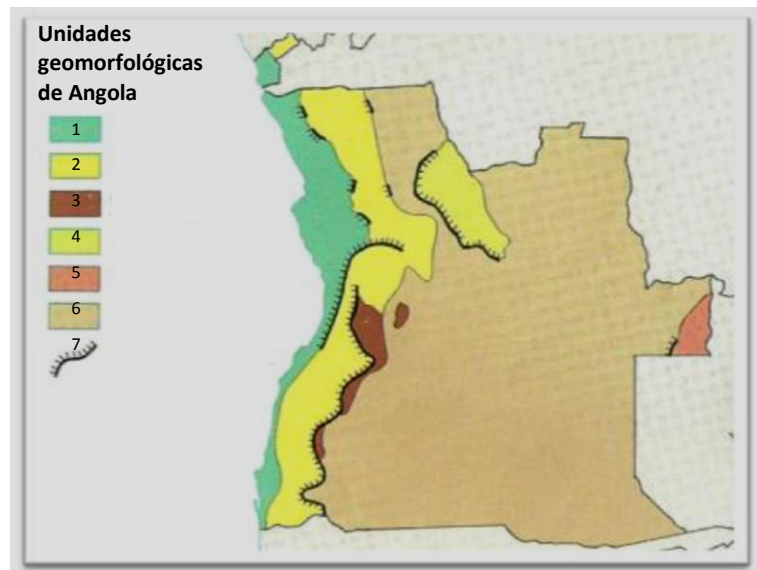


Fig. 5- Unidades geomorfológicas de Angola (González e Francisco, 1982). 1- Faixa Litoral; 2- Zona de transição; 3- Cadeia Marginal de Montanhas; 4- Depressão de Cassange; 5- Maciço do Alto Zambeze; 6- Zona planáltica; 7- escarpa com desnível \geq a 200m.

Entre 2000 e 2011 a temperatura medida no Aeroporto 17 de Setembro, em Benguela variou entre 42,4 e 25,9, a humidade relativa entre 69 e 71 (%) e a precipitação entre 110,8 mm em 2009 e 916,8 mm em 2001. O ano de 2012 foi particularmente seco, registando-se uma chuvada apenas em Janeiro. A precipitação anual em 2011 foi de 165 mm, com uma humidade relativa de 70% (Aeroporto 17 de Setembro- Benguela, 2012). A montante é característica a vegetação de savana que passa a vegetação arbustiva, característica de estepe, para jusante. As aluviões são usadas para agricultura, com recurso a irrigação na zona de estepe (Fig. 6).



Fig. 6- Campos aluvionares, com representação do tipo da prática agrícola

2.4. Enquadramento hidrológico

Os principais rios que fluem na província de Benguela são o Catumbela, o Coporolo e o Cavaco, mas este último tem regime intermitente, só possuindo água corrente na estação das chuvas. Na estação do cacimbo e nos anos de pouca chuva, não há fluência de água superficial.

A bacia hidrográfica do Cavaco orienta-se de SE para NW, situada entre as latitudes 12°34' e 13°23'S e as longitudes de 13°23' e 14°16'W tem uma superfície total é de 3.930km² e sendo ladeada pelas bacias mais amplas do rio Catumbela a norte e do rio Coporolo para o sul. Embora o rio Cavaco apresente no seu interior um percurso sinuoso e irregular a forma da bacia é regular. As cotas mais elevadas são próximas dos 1.500 m (Snamprogetti, 1986).

Os cursos de água precursores são, o rio Caimbambo de percurso Este – Oeste e o rio Catengue de percurso norte – sul que converge no município do Caimbambo, a partir da convergência o rio toma o nome de Cavaco. O rio Cavaco é alimentado por vários afluentes, a direita o Quenenguere, o Cabanje e o Mina e na margem esquerda, o Ombe, o Coruteva, o Setenta, o Lengue e o Capululo, que estão secos na maior parte do ano.

Nos últimos dez anos foram muito frequentes os problemas causados pelas cheias e inundações nas margens dos três rios principais nomeadamente Catumbela, Coporolo e Cavaco, causando vítimas humanas e a destruição de culturas e infraestruturas, como é o caso da ponte sobre o rio Cavaco. Para a minimizar o problema em caso, está em curso a implementação do projecto de desassoreamento dos rios, que para o rio Cavaco, visa fundamentalmente na construção de diques nas suas margens com 12km de extensão.

3. Metodologia

3.1. Amostragem de águas

Como objectivo de avaliar a hidrogeoquímica da água do rio Cavaco local foram seleccionados 12 pontos ao longo do rio Cavaco desde a sua foz, num percurso de cerca de 15 km (Fig. 7). Os pontos ora marcados, foram seleccionados em função da sua facilidade de acesso e existência ou não de água. Nalguns locais foi possível amostrar água subsuperficial do rio, que aflorava em pequenos charcos escavados no seu leito (Fig. 8a) ou água superficial retida por camada argilosa (Fig. 3d). Contudo estes locais são muito raros pelo que o maior número de amostras são de água subterrânea (Fig. 8b).



Fig. 7 Imagem do Google Earth correspondente aos pontos de amostragem, de 26/12/10, tirado 05/05/12.

Em função da estiagem que se tem verificado, em todo litoral sul de Angola nos últimos três anos, afectando desta forma a província de Benguela e não só, devido à escassez das precipitações, a colheita de amostragem de águas foi realizada apenas numa única fase, a da época das chuvas. Os sedimentos foram colhidos na época seca ou cacimbo. Contudo, deve se referir que não foi encontrado água superficial com excepção dos poços/charcos naturais (Fig. 3d) ou escavados (Fig. 8a).



Fig. 8 Pontos de amostragem: a) poço escavado; b) furos para irrigação dos campos

O ponto 1 (A1), corresponde ao um poço (charco) localizado no leito do rio, próximo da sua foz, com coordenadas $12^{\circ}33,783'S$ e $13^{\circ}24,743'E$ e tem uma profundidade de 50 cm. Nele, apesar das péssimas condições da água, é notório a lavagem de roupas por moradores mais próximos da área. Apresenta uma vegetação predominantemente herbácea, com pequenos arbustos, que serve de habitat de certos animais, como os crustáceos e roedores. Pelas suas características geológicas (aluvionares) as suas margens são utilizadas para a prática agrícola. O ponto 2 (A2) corresponde a um poço localizado também no leito do rio a montante do ponto 1, com coordenadas $12^{\circ}33,894'S$ e $13^{\circ}24,902'E$. As suas características são semelhantes às do ponto anterior.

O ponto 3 (A3) corresponde a um furo localizado junto à ponte da estrada que dá acesso à cidade do Lobito, na Escolinha Ambiental que na década noventa do século XX acolhia crianças para uma formação na área ambiental. Nele, encontra-se uma estufa de plantações diversas, com muita matéria orgânica em estado avançado de decomposição química e tem como coordenadas $12^{\circ}34,026'S$ e $13^{\circ}24,918'E$ e uma profundidade desconhecida. De notar que esta água exalava cheiro a gás sulfídrico.

O ponto 4 (A4) corresponde a um poço escavado no leito do rio, pela empresa de construção ODEBRESTH com a finalidade de fixação de um pilar de suporte de uma passarela que dá acesso a outra margem do rio. Tem uma profundidade de 1,5 m e coordenadas $12^{\circ}34,471'S$ e $13^{\circ}25,434'E$. Devido o défice na recolha e tratamento dos resíduos sólidos, encontra-se junto a este ponto um depósito de resíduos domésticos.

O ponto 5 (A5), corresponde a uma pequena lagoa no leito do rio, formado pelas poucas águas que choveram neste ano e que tem servido como bebedouro de gado bovino e caprino desta área. A sua permanência está condicionada pela presença de uma camada de argila, que pela sua baixa permeabilidade têm conseguido manter a água por muito tempo. Está localizado junto ao caminho que dá acesso ao bairro do Tchipiandalo, com coordenadas $12^{\circ}35,152'S$ e $13^{\circ}26,901'E$ e uma profundidade de cerca de 50 cm (Fig. 3d).

Os furos cuja água se amostrou estão localizados próximo do leito do rio, nas suas aluviões e que são usados para irrigação dos campos de cultivo de diferentes plantações agrícolas neles situados (Fig. 8b). As suas coordenadas geográficas e as profundidades são as seguintes:

O ponto 6 (A6) - $12^{\circ}39,532'S$ e $13^{\circ}29,417'E$ e uma profundidade de 13 m.

O ponto 7 (A7) - $12^{\circ}39,045'S$ e $13^{\circ}29,417'E$ e uma profundidade de 13m.

O ponto 8 (A8) - $12^{\circ}38,781'S$ e $13^{\circ}29,396'E$ e uma profundidade de 12 m.

O ponto 9 (A9) - $12^{\circ}37,902'S$ e $13^{\circ}28,749'E$ e uma profundidade de 12 m.

O ponto 10 (A10) - $12^{\circ}36,663'S$ e $13^{\circ}28,195'E$ e uma profundidade de 12 m.

O ponto 11 (A11) - $12^{\circ}34,750'S$ e $13^{\circ}26,669'E$ e uma profundidade de 13,3 m.

O ponto 12 (A12) - $12^{\circ}34,559'S$ e $13^{\circ}25,800'E$ e uma profundidade de 12 m.

3.2. Amostragem de sedimentos

Para a caracterização dos sedimentos foram colhidas 14 amostras nas aluviões do rio, próximo dos locais que se amostrou a água (Tabela 1, Fig. 9). A tabela 1 representa as coordenadas geográficas das amostras dos sedimentos colhidos ao longo do rio Cavaco, na bacia sedimentar de Benguela, numa distância aproximada de 15 km.

Tabela 1. Coordenadas geográficas das amostras de sedimentos

P1	$12^{\circ}33,783'S$	$13^{\circ}24,743'E$
P1'	$12^{\circ}33,783'S$	$13^{\circ}24,743'E$
P2	$12^{\circ}33,894'S$	$13^{\circ}24,902'E$
P2'	$12^{\circ}33,894'S$	$13^{\circ}24,902'E$
F1	$12^{\circ}34,094'S$	$13^{\circ}25,024'E$
F2	$12^{\circ}34,226'S$	$13^{\circ}25,186'E$
F3	$12^{\circ}34,262'S$	$13^{\circ}25,192'E$
Sed4a,b	$12^{\circ}34,471'S$	$13^{\circ}25,434'E$
Sed5	$12^{\circ}35,152'S$	$13^{\circ}26,901'E$
F5	$12^{\circ}34,378'S$	$13^{\circ}25,241'E$
F4	$12^{\circ}34,528'S$	$13^{\circ}25,307'E$
F9	$12^{\circ}35,341'S$	$13^{\circ}27,045'E$
F10	$12^{\circ}35,509'S$	$13^{\circ}27,345'E$
F8	$12^{\circ}35,616'S$	$13^{\circ}27,165'E$
F6	$12^{\circ}35,824'S$	$13^{\circ}26,866'E$
F7	$12^{\circ}35,882'S$	$13^{\circ}26,730'E$

Nos poços (charcos), dos pontos P1 e P2 foram colhidas duas amostras de sedimento em cada um, com as designações P1, P1' e P2, P2', pois durante a colheita foi observado que os sedimentos possuíam duas camadas com cores distintas.

Estas amostras foram colhidas no leito do rio Cavaco, sendo as margens ocupadas por campos agrícolas, com práticas agrícolas de subsistência. No ponto 4, localizado no leito do rio, foi possível amostrar duas camadas de sedimentos, mais profundas (1 e 1,5 m de profundidade), que possuíam um aspecto mais argiloso (Sed4a e Sed4b). Também se amostrou a camada argilosa que condiciona a existência de água no ponto 5 (Sed5).



Fig. 9. Imagem do Google Earth as amostragens dos sedimentos, de 05/07/12, tirado 22/09/12.

As amostras F1, F2, F3, F5, F4, F9, F10, F8, F6 E F7, foram colhidas ao longo das aluviões do rio Cavaco, próximo dos furos onde se fez a amostragem das águas. As amostras F1, F2 e F3 foram colhidas em quintais das residências do bairro Condule.

Os furos F4 e F5 ficam localizados nos quintais de habitações no bairro da Calomanga, junto a escola de formação da empresa de águas e saneamento, próximo da antiga captação de águas. Os furos F6, F7, F8, F9 e F10, ficam localizados nos campos agrícolas, na área do Asseque, na margem direita do rio Cavaco e são os pontos localizados mais a montante.

3.3. Medições *in situ* dos parâmetros físico-químicos das águas

Os parâmetros físico-químicos de maior sensibilidade na colheita e no transporte como o pH, temperatura (°C), condutividade eléctrica específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), condutividade real ($\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidade (ppm), potencial de oxidação-redução (mV), oxigénio dissolvido (% saturação), oxigénio dissolvido (mg/L), foram por regra foram analisados no local, devido as possíveis alterações nas suas propriedades.

O aparelho foi previamente calibrado com as soluções fornecidas pelo fabricante. A metodologia consistiu na introdução da sonda do multiparâmetro da marca HANNA, modelo HI9828 na água dos poços/charcos (Fig. 3d), ou em recipientes com as águas provenientes dos furos e no registo dos valores obtidos depois dos valores das medições atingirem estabilidade.

No decurso das análises realizadas, teve-se o cuidado no manuseamento e na limpeza do aparelho, lavando a sonda entre cada amostragem, com a água das amostras para evitar a contaminação cruzada das amostras.

3.4. Análise dos parâmetros químicos da água

Na determinação dos parâmetros químicos como, a alcalinidade ($\text{mg/L}_{\text{CaCO}_3}$), amónia (mg/L), nitritos (mg/L), nitrato (mg/L), fosfatos (mg/L), sulfatos (mg/L), potássio (mg/L), Fe ($\mu\text{S/L}$), Cu ($\mu\text{S/L}$), Cr^{VI} (mg/L) e Zn (mg/L), foi utilizado o fotómetro de bancada de marca HANNA modelo HI83200, com lâmpada tungsténio que tem uma radiação de UV-visível e usa métodos colorimétricos e turbimétricos, proveniente do DCT da Universidade de Coimbra (Fig. 10).

Antes da análise as amostras de água superficial foram filtradas por um filtro de seringa com porosidade de $0,45 \mu\text{m}$, pois apresentavam-se turvas. Para as espécies químicas analisadas por turbidimetria águas foram também filtradas.



Fig. 10- Análise com fotómetro de bancada

3.5. Determinação do pH, condutividade eléctrica e proporção da fração silto-argilosa dos sedimentos.

As amostras de sedimentos foram levados para o Laboratório de Preparação de Amostras do DCT e foram secos numa estufa de marca HERACUS, a uma temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ para evitar perdas dos componentes voláteis. Depois de secos

foram submetidos aos processos de homogeneização e crivagem, por crivo de malha de nylon de 2mm.

A fracção inferior a 2 mm foi quarteada para metade, obtendo-se duas sub-amostras. Numa sub-amostra foram determinados os parâmetros físico-químicos dos sedimentos (pH e condutividade eléctrica) e a proporção da fracção silto-argilosa. A outra sub-amostra foi sujeita a nova crivagem, num crivo de 0,5 mm. Esta fracção foi analisada por difracção de raios - X (DRX), para identificação da sua mineralogia. As amostras Sed4a, Sed4b e Sed5 eram muito pequenas e só se procedeu à identificação da sua mineralogia por DRX.

A determinação da condutividade eléctrica nas amostras de sedimentos foi feita no Laboratório Químico do DCT, local onde foram pesados 20 g para cada amostra em copos de precipitação, a que se adicionou 100 ml de água ultrapura, misturando lentamente. Após 24 horas determinou-se a temperatura e a condutividade eléctrica, com um condutímetro de marca WTW, modelo 330i, previamente calibrado.

A temperatura das amostras variou entre 21 e 21,5 °C. Como as amostras estavam todas à mesma temperatura, que é a temperatura ambiente, o erro de leitura da temperatura é pequeno e não afecta a determinação da condutividade.

Para estimar os erros na determinação da condutividade analisou-se também um branco, para a determinação da exatidão e fez-se a repetição de uma amostra, para a determinação do erro de análise, que foi de 3,9%. Para a determinação da exatidão, a análise de um branco deu o valor de 1,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Para a determinação do pH das amostras, foram tomados 20 g de cada amostra de sedimento para copos de precipitação, a que se adicionou 50 mL de água ultrapura e em seguida, foram submetidos a agitação durante 15 minutos. Passados os minutos estabelecidos fez-se a leitura do pH com o aparelho medidor do pH de marca WTW, modelo 330i, previamente calibrado. Usou-se o padrão pH-7 (IUPAC) para se averiguar da exatidão do aparelho e obteve-se o valor de 7,0.

A proporção da fracção silto-argilosa ($<63\mu\text{m}$) foi determinada por crivagem a via húmida, usando-se um crivo de $63\mu\text{m}$ e água desmineralizada. A amostra foi primeiramente pesada e registou-se o seu peso. Depois de secas, ambas as fracções foram secas e pesadas, calculando-se a proporção da fracção arenosa e da fracção silto-argilosa.

3.6. Análise por difracção de raios-x

Os raios-X ocupam uma pequena porção do espectro eletromagnético, com um comprimento de onda entre 10 a $0,01\text{Å}$. A luz visível possui um comprimento de onda entre 7200 a 4000Å , isto é, cerca de 1000 vezes superior aos do raios-X, e, por isso, tem menor poder de penetração e energia. A maior parte das substâncias são transparentes aos raios-X.

A difracção de raios-X pode ser comparada com uma simples reflexão de luz numa serie de planos paralelos distanciados uniformemente. Quando um feixe de raios-X embate numa face de um cristal e é reflectido o que verdadeiramente acontece não é uma reflexão superficial, com sucederia com a luz ordinária. Paralelamente àquela face existe uma infinidade de planos atómicos igualmente espaçados, nos quais a radiação X penetra até uma profundidade de vários milhões de planos, antes de ser apreciavelmente absorvida. Pode considerar-se que em cada plano uma pequena porção de feixe sofre reflexão.

A difracção de raios-X permite medir as distâncias entre os planos atómicos sucessivos e localizar posições dos vários átomos ou iões nos cristais. Como cada mineral possui uma estrutura característica, ou seja distâncias entre planos atómicos características, a sua identificação é feita a partir dos difractogramas obtidos. Os difractómetros de raios-X modernos são usados em trabalhos roteiros de identificação de pequenas amostras de minerais ou amostras de minerais de grau muito fino, como argilas.

Para a difracção de raios-X foi usada a fracção de $< 0,5$ mm dos sedimentos amostrados. Foi usado um difractómetro de RX Philips PW 3710, com radiação de cobre, 40kV, 20mA e um avanço de 1,2 °/minuto. A identificação da mineralogia foi feita a partir da interpretação dos difractogramas fornecidos pelo software APD 3.6J-Automatic Powder Diffraction da Philips.

4. Resultados

4.1. Mineralogia dos sedimentos

Mineral, é um corpo sólido, homogéneo, natural, com uma composição química definida e um arranjo atómico altamente ordenado, e é geralmente formado por processos inorgânicos (Gomes, 2004). Os principais elementos constituintes dos minerais que ocorrem na natureza, e em quantidades significativas na crosta são de O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K e Mg. Os minerais possuem um arranjo atómico altamente ordenado, o que lhes confere uma estrutura característica e os difractogramas permitem a identificação dessa estrutura e logo pode fazer-se a identificação dos minerais.

A partir dos difractogramas fez-se uma classificação da abundância dos minerais presentes em cada amostra de sedimento sendo: muito abundante, pouco abundante a vestígios. A figura 11 mostra como exemplo um difractograma, onde o quartzo (q) e feldspato são muito abundantes, a moscovite (m), a dolomite (d) e a hematite (h) são pouco abundantes e os minerais de argila (ar) são vestigiais.

Os minerais mais abundantes nos sedimentos analisados são o quartzo e feldspatos. Moscovite, dolomite, calcite, hematite e minerais de argila/clorite são pouco abundantes e há vestígios de anfíbolos e magnetite em quase todas as amostras (Tabela 2). Sulfuretos são muito abundantes na amostra F4 e foi identificada turmalina em duas amostras.

Nas amostras Sed 4a e 4b foram determinados com maior percentagem os minerais quartzo, feldspato, dolomite, calcite e moscovite e, em menores percentagens as micas, hematite, turmalinas e magnetite. Na amostra Sed 5 foram determinados com valores altos, os minerais quartzo, feldspato, moscovite, dolomite, hematite, calcite e argilas respectivamente.

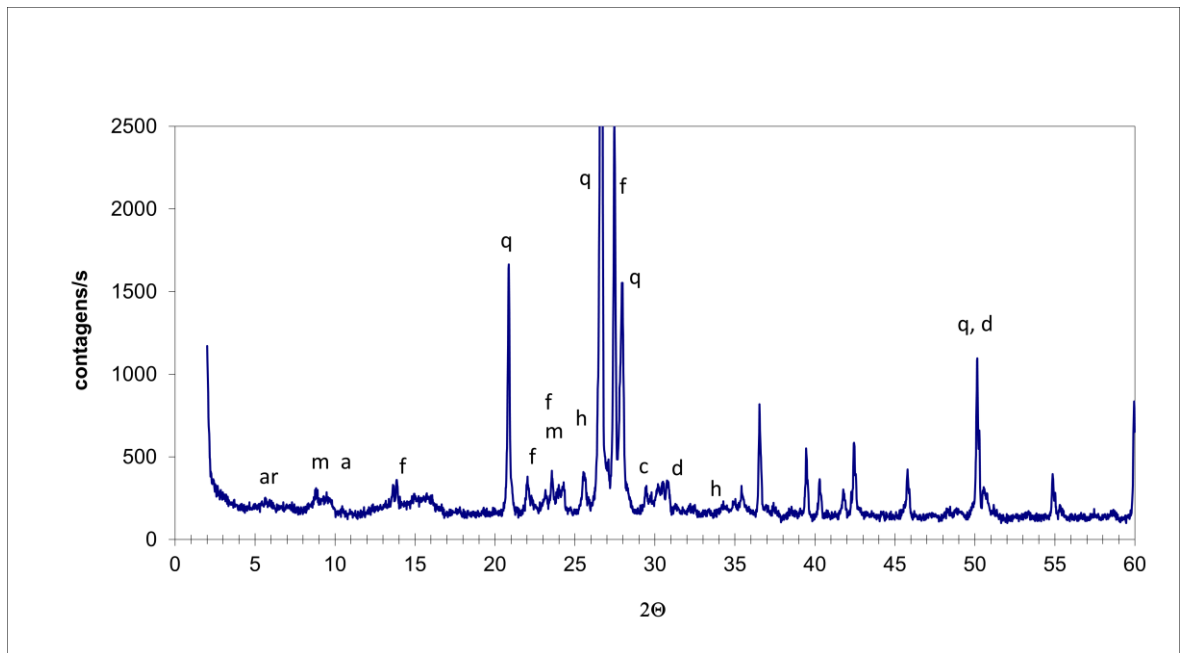


Fig. 11. Exemplo de um difratograma obtido: q- quartzo, feldspato, c- calcite, d- dolomite, h- hematite Ar- argilas, m- moscovite, a- anfíbulas.

Tabela 2- Mineralogia qualitativa dos sedimentos analisados

	Jusante									Montante				
Minerais	P1	P1'	P2	P2'	F1	F2	F3	F5	F4	F9	F10	F8	F6	F7
Quartzo	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
Moscovite	XX	X	XX	X	XX	XX	XX	XX	XXX	XX	xx	xx	XXX	XX
Dolomite	XX	XX	XX	X	XX	XX	XX	XX	XX	XXX	xx	XX	XX	XX
Calcite	X	X	XX	X	XX	XX	XX	XX	XX	XX	xx	XX	XX	X
Hematite	X	X	X		X	XX	X		XX	XX	XX	XX	XX	X
Anfíbulas	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X
Minerais de argilas/clorite	X	XX	X	X	XX		X	XX	X	X	xx	X	X	X
Magnetite	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Sulfuretos	X						X		XXX					
Turmalina (dravite)	X						X							

xxx- muito abundante; xx- pouco abundante; x- vestígios

A magnetite foi identificada em quase todas as amostras, estando ausente apenas na amostra F2. Nas amostras colhidas mais a montante foram sempre identificadas anfíbula, magnetite e hematite (Tabela 2) e a calcite e a dolomite foram identificadas em todas as amostras.

4.2. Fracção silto-argilosa, pH e condutividade eléctrica dos sedimentos

Na tabela 3 estão representados os valores da proporção da fracção silto-argilosa, de pH e condutividade eléctrica das amostras de sedimentos colhidos ao longo do rio Cavaco, Benguela. Os sedimentos são constituídos maioritariamente por areia, variando a proporção da fracção silto-argilosa entre 0,3 e 25%.

Não há diferença significativa nos valores da proporção da fracção argilosa entre os sedimentos localizados mais a montante e os localizados mais a jusante (Fig. 12). Os valores mais elevados (25% e 21,3%) foram registados em duas amostras localizadas mais a montante, F9 e F8, respectivamente (Fig. 13).

Tabela 3- Condutividade, pH e proporção da fracção silto-argilosa dos sedimentos

Amostras	pH	Condutividade (μ S/cm)	% da fracção silto- argilosa
P1	8,5	89,2	0,5
P1'	9,2	131,5	0,3
P2	8,2	157,6	0,5
P2'	9,1	265,2	0,5
F1	9,8	956,2	1,6
F2	8,8	1359,2	n.d.
F3	8,8	99,8	8,3
F5	9,7	839,2	16,9
F4	9,1	623,2	14,9
F9	7,6	1498,2	25,0
F10	8,2	334,2	5,6
F8	8,2	578,2	21,3
F6	5,7	110,4	7,1
F7	7,1	13,0	0,0

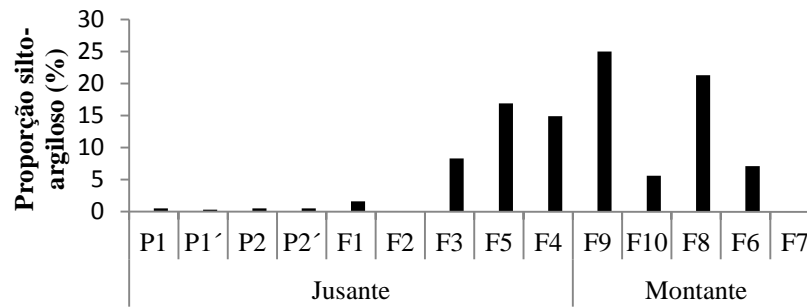


Fig. 12 Proporção silto- argilosas das amostras de sedimentos

Os valores mais elevados de pH (9,8 e 9,7) foram registados nas amostras F1 e F5, respectivamente, colhidas em locais com grande influência antrópica. O valor de pH mais baixo 5,7, foi medido na amostra F6, colhida nos campos agrícolas do Bairro do Asseque.

Os valores de pH das amostras de sedimentos F6 a F10, colhidos mais a montante, variam entre 5,7 e 8,2, enquanto o pH das amostras de sedimentos colhidas mais a jusante variam entre 8,5 e 9,8 (Tabela, 3 e Fig. 13). Estas últimas amostras possuem maior influência da proximidade do oceano e também estão localizadas em áreas de forte influência antrópica, onde há águas residuais das lavagens de roupa e carros, que são despejadas livremente pelos solos devido à falta de saneamento básico.

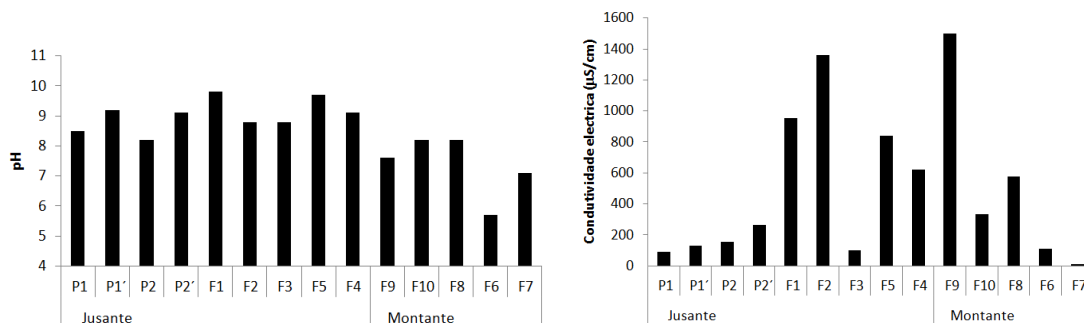


Fig. 13 Resultados de pH e conductividade eléctrica dos sedimentos decorrentes colhidos ao longo do rio Cavaco.

A condutividade elétrica variou de 13 a 1498,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 3). Estes valores indicam que a quantidade de sais solúveis em água é muito variável nestes sedimentos. Os valores de mais elevados de condutividade elétrica foram registados nos sedimentos F9 e F2, com valores de 1498,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e de 1359,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

A amostra F9 foi colhida mais a montante, nos campos agrícolas de culturas diversas e é a amostra que apresenta maior proporção da fracção silto-argilosa. A amostra F2 foi colhida num quintal de uma habitação do Bairro do Tchipiandalo, junto de uma vala de drenagem de águas, com charcos de águas contendo produtos de lavagem de carros dos moradores. Não há distinção entre os valores da condutividade elétrica das amostras de sedimentos colhidas mais a montante e aquelas colhidas mais a jusante (Tabela 3, Fig. 13).

4.3. Águas

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das águas amostradas e os teores de algumas espécies químicas são apresentados na tabela 4. Os teores de zinco analisados são sempre inferiores ao limite de deteção do método analítico, os teores de nitrito e de nitrato são sempre superiores aos teores máximos quantificáveis pelo fotómetro, que são de 30 mg/L para os nitratos e 1,15 mg/L para os nitritos. As temperaturas das águas superficiais variam de 29,38 a 32,9 °C, reflectindo a temperatura do ar e as temperaturas de águas subterrâneas variam de 28,3 a 29,0 °C (Tabela 4), sendo mais constantes (Fig. 14).

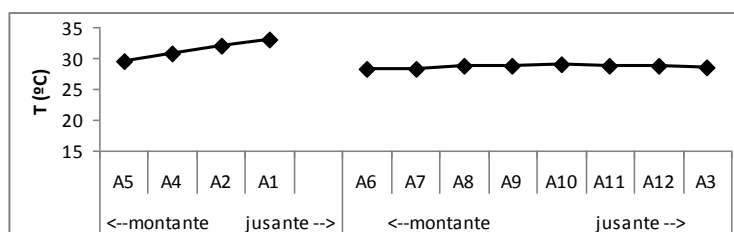


Fig. 14- Variação da temperatura nas águas superficiais e subterrâneas

Os valores de pH para as águas superficiais variam de 7,4 a 8,7 e variam entre 6,6 a 7,0 para as águas subterrâneas (Tabela 4). Portanto, as águas superficiais têm um pH neutro a alcalino, enquanto as águas subterrâneas apresentam um pH que tende de ligeiramente ácido a neutro. O pH apresenta valores muito mais constantes nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais (Fig. 15).

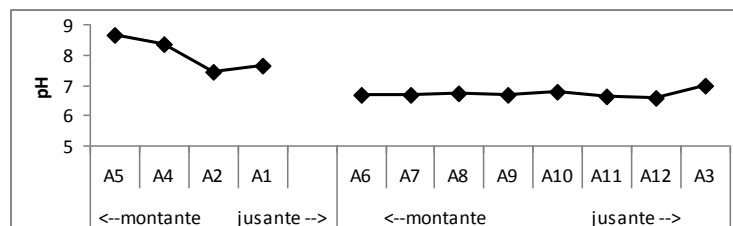


Fig. 15: variação do pH nas águas superficiais e subterrâneas

A condutividade eléctrica específica nas águas superficiais varia de 364 a 2387 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e as águas subterrâneas varia de 297 a 2183 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 4, Fig. 16). Estas condutividades eléctricas são relativamente elevadas e reflectem a alta salinidade destas águas, que atinge 1193 ppm nas águas superficiais. Os valores mais elevados da condutividade eléctrica foram medidos nos poços localizados nas proximidades da cidade (A4, A2, A1), (Tabela 4, Fig. 16). As águas subterrâneas com maior condutividade eléctrica são as dos furos próximos do povoado, A10 e A3 em que era notório o cheiro do ácido sulfídrico.

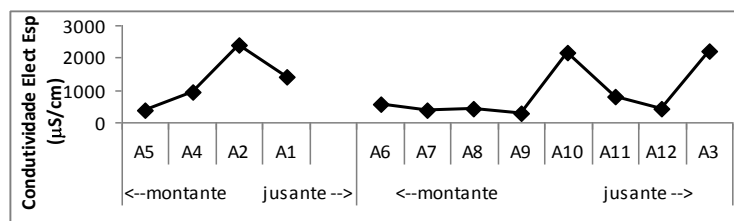


Fig. 16: Variação da condutividade eléctrica nas águas superficiais e subterrâneas

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

	água superficial				água subterrânea							
	<-- montante		jusante -->		<-- montante				jusante -->			
	A5	A4	A2	A1	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A3
Profundidade	50 cm	1,5 m	30 cm	20 cm	13 m	13 m	12 m	12 m	12 m	13,3	n.d.	n.d.
pH	8,65	8,36	7,44	7,62	6,67	6,65	6,72	6,68	6,76	6,62	6,55	6,96
Temperatura (°C)	29,38	30,68	32,06	32,9	28,3	28,37	28,84	28,82	29,01	28,74	28,87	28,58
Condutividade eléctrica específica (µS/cm)	364	919	2387	1387	542	359	440	297	2172	776	410	2183
Condutividade eléctrica (µS/cm)	395	1008	2707	1592	576	382	472	319	2338	832	440	2332
Salinidade (ppm)	182	455	1193	694	271	179	220	149	1086	388	205	1092
ORP (mV)	185,9	204	174,9	192,4	196,2	234,5	220,8	233	167	191,4	196,6	158,1
Oxigénio dissolvido (% saturação)	55	54,5	4,6	122,5	7,4	18,3	39,2	4,8	38,7	2,8	5,4	23,7
Oxigénio dissolvido (mg/L)	4,16	4,03	0,33	8,74	0,57	1,41	2,99	0,37	2,94	0,22	0,41	1,81
Alcalinidade (mg/L _{CaCO3})	65	135	250	190	80	65	65	50	125	75	75	290
Amónia (mg/L)	0,46	0,01	0,95	0,38	0,12	1,74	0,02	0,02	0,05	0,06	0,09	1,26
Fosfatos (mg/L)	0,33	2,34	1,98	0,60	0,92	0,74	0,69	0,36	1,01	0,97	0,91	1,18
Sulfato (mg/L)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45	25	35	n.d.	>100	>100	55	>100
Potássio (mg/L)	40	7	27	29	6	12	5	5	5	5	5	14
Ferro (µg/L)	400	135	132	53	20	130	356	37	75	48	57	161
Cobre (µg/L)	145	170	32	139	444	0	101	86	257	10	284	0
Crómio (VI) (µg/L)	<ld	<ld	25	<ld	4	0	0	0	0	0	4	0

n.d. : não determinado; *ld*: limite de detecção. Analista: António Rui

O ORP varia de 174,9 mV a 204 mV para as águas superficiais e para as águas subterrâneas varia de 158,1 mV a 234,5 mV. As águas subterrâneas dos furos localizados mais a montante da cidade apresentam o ORP ligeiramente mais elevado que os das águas dos furos se localizam mais nas proximidades da cidade (Fig. 17).

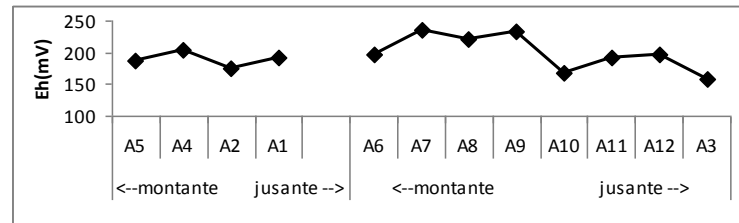


Fig. 17: Variação do ORP nas águas superficiais e subterrâneas.

Os valores do oxigénio dissolvido nas águas superficiais são na generalidade (0,33 a 4,16 mg/L), contudo no poço 1 (Amostra A1) foi encontrado um valor de 8,74 mg/L e a temperatura da água era de 32,9 °C (Tabela 4). Este alto valor de oxigénio dissolvido deve-se ao facto de a água possuir algas, a medição ter sido feita ao meio dia, quando a fotossíntese é mais intensa e ao facto do poço possuir baixa quantidade de água, pelo que há grande quantidade de oxigénio nesta água.

Os teores de oxigénio dissolvido nas águas subterrâneas variam de 0,22 a 2,99 mg/L. Estes valores baixos devem-se ao facto de serem águas subterrâneas, sem contacto com a atmosfera e que não possuem algas (Fig. 18).

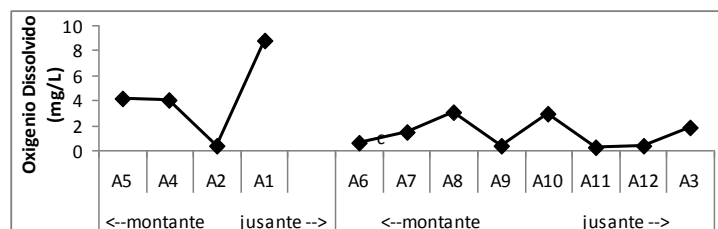


Fig. 18: Variação do oxigénio dissolvido nas águas superficiais e subterrâneas

As águas superficiais apresentam uma variação de alcalinidade na ordem de 65 a 250 mg/L_{CaCO₃} e as águas subterrâneas possuem uma variação de 50 a 290 mg/L_{CaCO₃} (Tabela 4). Na generalidade as águas subterrâneas apresentam valores mais baixos de alcalinidade do que as águas superficiais, com excepção das águas dos furos A10 e A3 (Fig. 19). Os valores de pH das águas subterrâneas são menores do que nas águas superficiais (Fig. 15) o que explica a alcalinidade mais baixa destas águas. No caso das amostras A10 e A3 outros iões contribuem para a alcalinidade além dos que resultam do equilíbrio dos carbonatos.

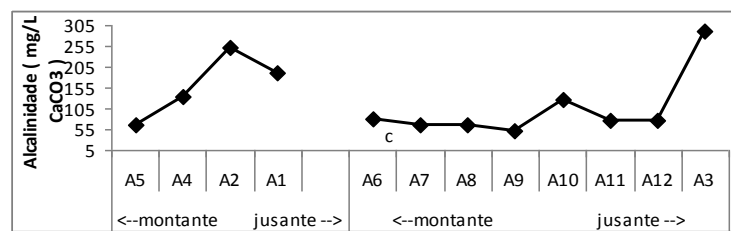


Fig. 19: Variação da alcalinidade nas águas superficiais e subterrâneas

A amónia apresenta uma variação de 0,01 a 0,95 mg/L nas águas superficiais e 0,02 a 1,74 mg/L para as águas subterrâneas. Contudo, as águas subterrâneas apresentam na generalidade teores mais baixos de amónia em relação às águas superficiais com excepção das águas dos furos A7 e A3 (Fig. 20).

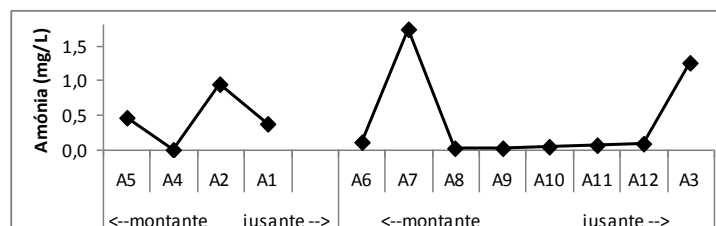


Fig. 20: Variação dos teores de amónia nas águas superficiais e subterrâneas

Os teores de fosfatos variam de 0,33 a 2,34 mg/L nas águas superficiais e 0,36 a 1,18 mg/L nas águas subterrâneas (Tabela 4). Os teores de fosfato tendem a ser semelhantes nos dois tipos de águas com excepção das amostras A4 e A2, que são águas superficiais, que apresentam os teores mais elevados (Fig.21a). Os sulfatos não foram determinados nas águas superficiais. Nas águas subterrâneas os seus teores variam entre os 25 a >100 mg/L e são mais elevados nas águas dos furos localizados nas proximidades da cidade (Fig 21b.). Por falta de reagentes não foram analisados os sulfatos nas águas superficiais e não foi possível fazer a análise de amostras diluídas nas amostras que apresentam valores superiores a 100 mg/L.

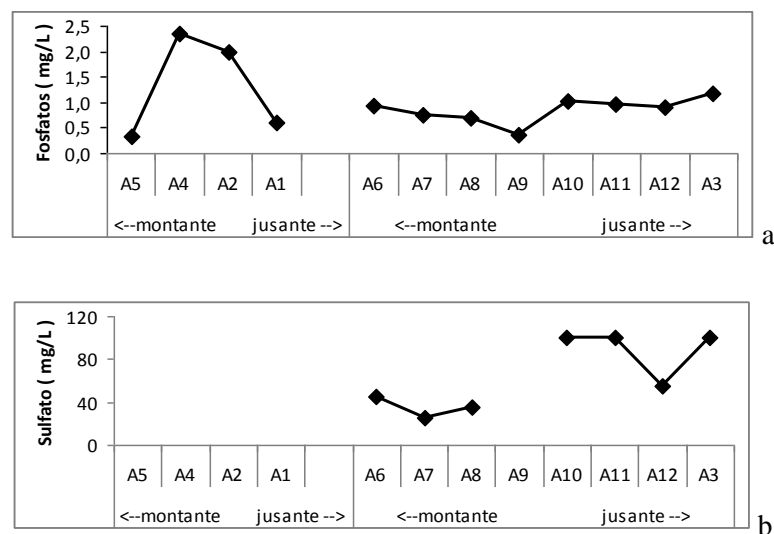


Fig. 21: Variação dos teores de fosfatos e sulfatos nas águas superficiais e subterrâneas

Os teores de potássio variam de 7 a 40 mg/L nas águas superficiais e são menores nas águas subterrâneas, variando entre 4,5 a 14 mg/L (Tabela 4, Fig. 22a). Os teores de ferro variam de 53 a 400µg/L nas águas superficiais e de 20 a 356µg/L nas águas subterrâneas (Tabela 4, Fig. 22b). Os valores de cobre variam de 32 a

170 $\mu\text{g/L}$ nas águas superficiais e 0 a 444 $\mu\text{g/L}$ nas águas subterrâneas (Tabela 4, Fig. 22c). O crómio (VI) foi apenas detectado em uma amostra de água superficial (25 $\mu\text{g/L}$) e em duas amostras de águas subterrâneas, possuindo ambas o teor de 4 $\mu\text{g/L}$ (Tabela 4).

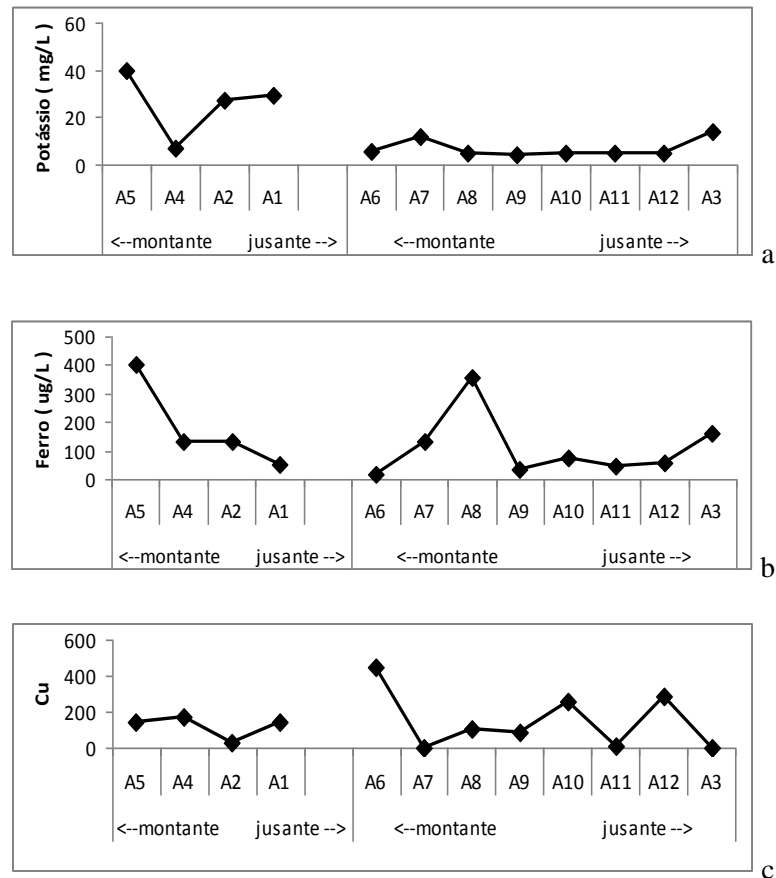


Fig. 22 – Variações químicas do potássio, ferro, cobre nas águas superficiais e subterrâneas.

5. Discussão e avaliação de impactes

As amostras de sedimentos são ricas em quartzo e feldspatos, possuem pouca quantidade de minerais argilosos e anfíbola e a magnetite foram identificadas na maior parte delas (Tabela 2). Estas características podem ser explicadas pelo facto do clima da região ser árido, o que torna as reacções de meteorização lentas, possibilitando assim a ocorrência da anfíbola e do feldspato, com este último em grande abundância. O relevo acidentado na zona de cabeceira da bacia também contribui para a desaceleração da meteorização.

A mineralogia dos sedimentos reflecte as litologias da bacia de drenagem do rio Cavaco. Os minerais feldspatos, anfíbola, magnetite e a rara turmalina resultam da alteração das rochas do Complexo de base enquanto a calcite e a dolomite são derivadas das rochas carbonatadas do Cretácico, existentes na bacia de drenagem do rio Cavaco (Berner e Berner, 1996). Os minerais de argila derivam da erosão das rochas sedimentares ou da meteorização das rochas do complexo de base.

Nas amostras analisadas, observa-se um aumento da condutividade eléctrica com o aumento da proporção da fracção silto-argilosa, com excepção da amostra do furo F1, (Fig. 23), portanto quanto mais fino é o sedimento maior é a sua condutividade eléctrica. Tal pode ser explicado porque os sedimentos de granulometria mais fina possuem maior área específica o que possibilita uma maior precipitação de sais solúveis.

As amostras de sedimentos colhidas mais a jusante possuem valores de pH mais elevados do que as colhidas mais a montante (Fig. 13). Tal facto pode ser devido a vários factores. Estas amostras estão localizadas mais próximo do oceano onde a precipitação atmosférica de sais marinhos é maior; a influência antrópica é aí muito intensa, pois estão localizadas na área urbana. Nesta área o saneamento básico é deficiente ou inexistente pelo que as águas residuais domésticas provenientes das lavagens de roupas e carros são lançadas livremente pelos solos e adicionando-lhes grande quantidade de sais alcalinos.

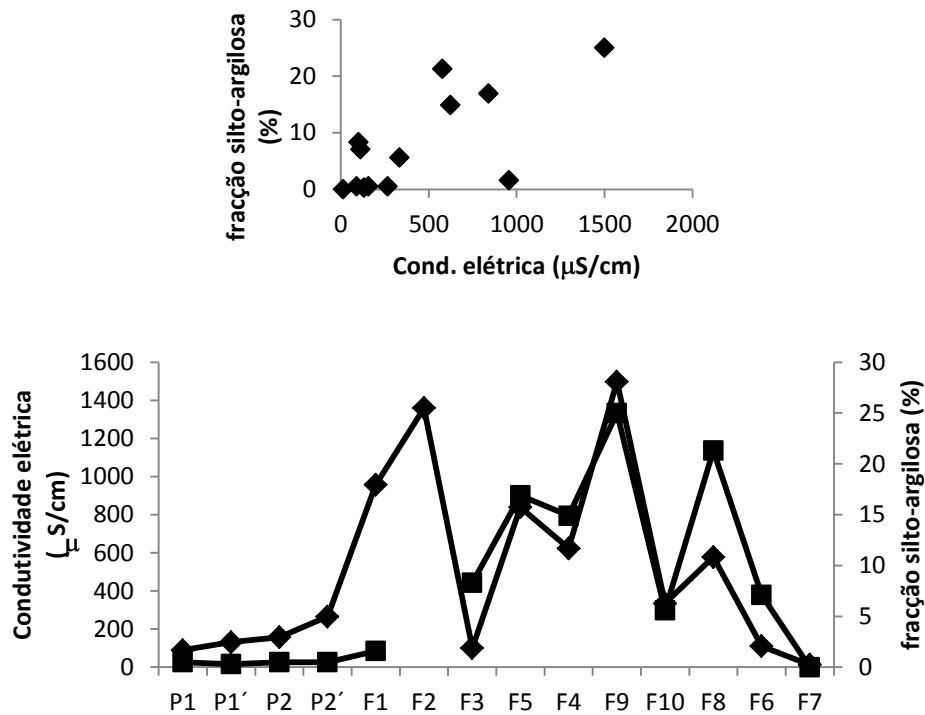


Fig. 23. Relação entre a condutividade (Cond.) elétrica e a proporção da fração silto-argilosa nos sedimentos

Por outro lado as amostras colhidas mais a montante localizam-se em campos agrícolas, onde existe maior quantidade de matéria orgânica, o que poderá provocar um abaixamento de pH e estão também mais próximas das rochas cristalinas do Complexo de base, enquanto as amostras colhidas mais a jusante recebem maior contribuição de sedimentos carbonatados.

A temperatura das águas, e especificamente das águas superficiais, depende fundamentalmente do regime do clima local, e constitui um dos parâmetros físico-químicos mais importantes, pois controla uma das importantes características físicas da água, a densidade e consequentemente, a estratificação dos corpos naturais da água. Também acelera as reacções químicas e biológicas que se processam nos corpos aquosos.

As variações das temperaturas podem ser também influenciadas pelos despejos industriais, provocando um aumento significativo nestas e consequentemente a

solubilidade e toxicidade nas águas, o pode levar à morte da fauna aí existente, pela diminuição do oxigénio dissolvido.

As águas amostradas tanto superficiais como subterrâneas, apresentaram valores de temperatura relativamente aproximados (Fig. 14) e elevados, reflectindo o clima quente, semi-árido da região. As temperaturas medidas nas águas subterrâneas são relativamente elevadas (28-29 °C), pois a profundidade dos furos não ultrapassa os 14 metros e as altas temperaturas da região provocam um aquecimento intenso dos solos e em consequência das águas subterrâneas. Além disso as temperaturas das águas superficiais são elevadas e ao infiltrarem-se nos sedimentos que constituem o aquífero aumentam a temperatura das águas subterrâneas.

O pH das águas é um parâmetro que quantifica a actividade do ião hidrogénio nas águas e constitui um dos parâmetros mais importantes a determinar nas análises de água, por relacionar relações fundamentais de acidez e de alcalinidade. A solubilidade de muitos metais na água está dependente dos seus valores de pH. As alterações do pH podem ter origem natural, através da dissolução de rochas e da fotossíntese ou antrópicas, com despejos de resíduos domésticos e industriais.

Para as águas amostradas o pH das águas superficiais é mais elevado do que o das águas subterrâneas (Fig. 15), tal pode ser devido à proliferação de algas, auxiliada pela temperatura alta, o que provoca a fotossíntese intensa e consequentemente a diminuição de CO₂ dissolvido nas águas. Pode também dever-se às adições antrópicas.

Os valores de pH determinados nas águas amostradas estão dentro do intervalo de valores para águas para consumo humano (6,5<9) segundo o DL 306/2007 da Lei Portuguesa e estão também dentro do intervalo de valores máximos recomendados (VMR) para o pH de águas para rega (6,5-8,4) de acordo com o

DL 236/1998 da mesma Lei, com excepção da amostra do ponto A5, que possui um pH de 8,65 (Tabela 4)

A alcalinidade das águas refere normalmente a presença de espécies iónicas de carbonatos e de hidróxido dissolvidos nas águas em mg/L. Outros compostos (boratos, fosfatos, amónia, sulfeto) também contribuem para a alcalinidade. Nas águas amostradas como os valores de pH estão compreendidos entre 4,4 e 8,65 a alcalinidade de carbonatos é devida essencialmente ao ião bicarbonato (Krauskopk e Bird, 1990).

Os valores mais baixos de alcalinidade correspondem as águas subterrâneas (com excepção de duas amostras), que são mais ricas em CO₂ e conseqüentemente terão maior quantidade de ácido carbónico do que as superficiais. Como foi referido as águas subterrâneas possuem pH mais baixo do que as superficiais (Fig. 15). Segundo Moraes (2008), Custódio & Llamas (1983) a maior parte das águas naturais têm valores de alcalinidade na ordem de 30 a 500 mg/L_{CaCO₃}, e os valores de alcalinidade das águas amostradas (50 a 290 mg/L_{CaCO₃})

A condutividade eléctrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente eléctrica, devido a presença de substâncias dissolvidas, em geral em forma de aniões e catiões. As águas naturais apresentam valores de condutividade na faixa de 10 a 100 µS/cm (Ministério da Saude, 2006). Os valores obtidos nas águas analisadas são muito superiores sendo 364 a 2387 µS/cm nas águas superficiais e 297 a 2183 µS/cm as águas subterrâneas (Tabela 4, Fig. 16).

As águas subterrâneas tendem a possuir valores de condutividade eléctrica superiores aos das águas superficiais pois estão em contacto com as rochas dos aquíferos, o que não se observou nas águas amostradas. Como os valores mais elevados da condutividade eléctrica foram medidos nas águas de poços localizados nas proximidades da cidade ou dos furos próximos dos povoados, supõe-se que as contribuições antrópicas serão as causas destes valores elevados.

As altas salinidades determinadas nas águas dos pontos A2, A3 e A10 impedem a sua utilização para rega de acordo com o DL n.º 236/1998 da Lei Portuguesa, pois possuem salinidades superiores a 640 mg/L.

A amostra do furo A3, da água subterrânea colhida num furo próximo da zona urbana, possui um dos mais altos valores de condutividade elétrica (2183 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e possui também o mais alto valor de alcalinidade (290 mg/L CaCO_3). Nesta amostra era notório o cheiro do ácido sulfídrico, o que indica contribuição do ião sulfeto para a alta alcalinidade desta água.

Existe uma correlação positiva de 0,9 entre a alcalinidade e a condutividade elétrica específica (Tabela 5, Fig. 24), indicando que os aniões são os principais iões que controlam a salinidade destas águas. Observa-se também uma correlação negativa (-0,8) entre a condutividade elétrica e o ORP (Tabela 5, Fig. 24).

Tabela 5- Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos e teores de espécies químicas analisados nas águas na região de Benguela

	pH	T	C.E.	ORP	OD	Alk.	NH4	PO42-	SO42-	K	Fe	Cu
pH	1											
T	0,5	1,0										
C.E.	0,1	0,4	1,0									
ORP	-0,2	-0,2	-0,8	1,0								
OD	0,6	0,6	0,1	-0,1	1,0							
Alk.	0,2	0,5	0,9	-0,7	0,2	1,0						
NH4	0,0	0,0	0,3	-0,1	-0,1	0,4	1,0					
PO42-	0,3	0,4	0,5	-0,3	-0,1	0,5	0,1	1,0				
SO42-	0,5	0,4	0,8	-0,9	0,0	0,6	-0,2	0,9	1,0			
K	0,7	0,6	0,2	-0,3	0,5	0,3	0,4	-0,1	0,0	1,0		
Fe	0,5	-0,1	-0,2	0,0	0,2	-0,1	0,1	-0,2	-0,3	0,5	1,0	
Cu	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	1,0

C.E. – condutividade elétrica específica; Alk.- alcalinidade

O potencial de oxidação – redução (ORP) determina a capacidade da água para produzir oxidações ou reduções. As águas amostradas são ligeiramente oxidantes

(ORP varia entre 158,1 – 234 mV) e quanto menores forem os valores de ORP maior é a condutividade eléctrica medida (Fig. 24). O que indica que os valores de condutividade eléctrica estão dependentes da existência de espécies reduzidas, por exemplo amónia, nitritos (que possuem teores superiores a 1,15 mg/L) e sulfetos.

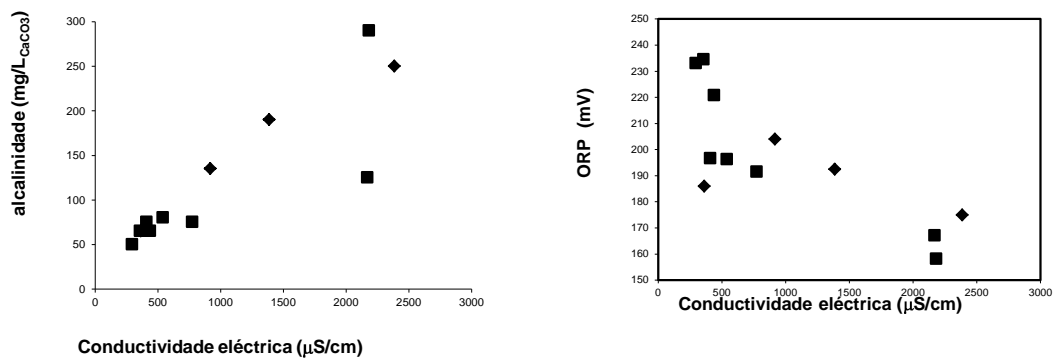


Fig. 24. Relação entre a condutividade eléctrica e a alcalinidade e ORP. Símbolos: quadrados- águas subterrâneas; losangos- águas superficiais.

O oxigénio dissolvido é um dos gases dissolvidos em águas mais importante na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. A sua solubilidade baixa com o aumento da temperatura e diminuição da pressão atmosférica. Um sistema aquático sadio deverá ter no mínimo 5 mg/L de oxigénio dissolvido (OD), recomendado pelo DL, 306/07 Lei português. Para as águas superficiais os valores encontrados são na generalidade inferiores (0,33 a 4,16 mg/L), apenas uma amostra (A1) possui 8,74 mg/L, pois possuía muitas algas. Nas águas subterrâneas amostradas os teores de OD são menores (2,8 – 39,2), devido ao facto de não estarem em contacto com o ar.

A amónia é um composto químico cujos derivados, como o nitrato de amónia, são utilizados frequentemente na agricultura como fertilizante. Por ser facilmente

degradável, as plantas absorvem-no com maior facilidade, sendo um fornecedor de nitrogénio para a produção de composto orgânicos azotados.

Em concentrações elevadas na água de consumo provoca efeitos graves no homem, pois no organismo humano pode transformar-se em nitritos que dificultam o transporte do oxigénio pela hemoglobina. As águas analisadas possuem baixos teores de amónia (Tabela 4). Os teores mais altos, 1,74 e 1,26 mg/L, foram encontrados nas amostras A7 e A3 respectivamente, que são de águas subterrâneas. O furo onde se colheu a amostra A7 está localizado numa zona rural e a água A3 possuía ácido sulfídrico. Porém, estes valores encontram-se fora do limite máximo (0,5mg/L) estabelecido pelo DL, 306/07 da Lei portuguesa.

Os nitritos formam-se a partir da acção dos microrganismos, que reduzem o nitrato em nitrito. A sua determinação é de extrema importância, pois determina os níveis de poluição das águas a partir da matéria orgânica nitrogenadas derivada dos dejectos dos animais e fertilizantes lixiviados pelas águas das chuvas. Os teores determinados foram sempre superiores a 1,5 mg/L. A OMS indica que as águas usadas para consumo humano devem possuir teores de nitritos inferiores (0,2 - 3 mg/L), (WHO, 2008).. Pelo que as águas amostradas apresentaram valores superiores aos recomendados pelo DL n° 306/07 da Lei portuguesa que é de 0,5 mg/L

Os nitratos, a par dos nitritos são iões que ocorrem naturalmente, fazendo parte do ciclo do azoto e que geralmente são transformados para vários compostos pela acção microbiana. Os nitratos podem ser ingeridos a partir da água e em compostos alimentares. As principais fontes de contaminações são a produção agrícola intensiva, os resíduos domésticos e industriais, os esgotos e a poluição atmosférica por azoto. Os teores apresentados nas águas subterrâneas e das águas superficiais analisadas foram superiores a 30 mg/L em todas amostras de água. Segundo a OMS os teores de nitratos em águas de consumo devem ser inferiores

a 50mg/L (<50mg/L) e segundo a legislação portuguesa não devem exceder 50mg/L.

O fósforo é um elemento químico essencial para a vida nos sistemas aquáticos e ao crescimento dos microrganismos responsáveis para a estabilização da matéria orgânica nos solos. Na forma de fosfatos dissolvidos, constitui um importante nutriente; contudo o seu excesso nas águas leva à eutrofização dos corpos aquosos. As águas amostradas apresentaram valores que variaram de 0,33 a 2,34 mg/L para as águas superficiais e 0,36 a 1,18 mg/L para as águas subterrâneas (Tabela 4); Estes teores são superiores aos valores recomendados pelo DL,306/07 da Lei portuguesa.

Os sulfatos são iões muito abundantes nas águas naturais e tem com origem a dissolução dos minerais dos solos e das rochas, podendo também serem introduzidos por acção antrópica sob a forma de sulfatos usados na agricultura. Os teores apresentados pelas águas subterrâneas analisadas variam de 25 a >100 mg/L (Tabela 4), não ultrapassam os 250mg/L, valor recomendado pela Lei portuguesa DL,306/07. Observaram-se correlações positivas, significativas entre os teores de sulfatos e os de fosfatos ($r=0,9$) e entre os teores de sulfatos e a condutividade elétrica ($r= 0,8$) e correlação negativa, $r=-0,9$, entre os teores de sulfatos e o ORP nas águas analisadas (Tabela 5, Fig. 25).

Os teores de potássio variaram de 7 a 40 mg/L nas águas superficiais e os seus teores para as águas subterrâneas foram menores, variando entre 4,5 a 14 mg/L (Tabela 4 e Fig. 22). O potássio é um metal que ocorre em concentrações muito variáveis nas águas, sendo um dos seus catiões principais. Resulta da dissolução de minerais, mas também pode ser introduzido nas águas por detergentes.

As águas superficiais que possuem maiores teores deste ião foram colhidas em locais com forte influência antrópica. Isaías (2011) encontrou maiores teores de potássio em águas superficiais com forte influência antrópica quando comparadas com águas superficiais sem esta influência.

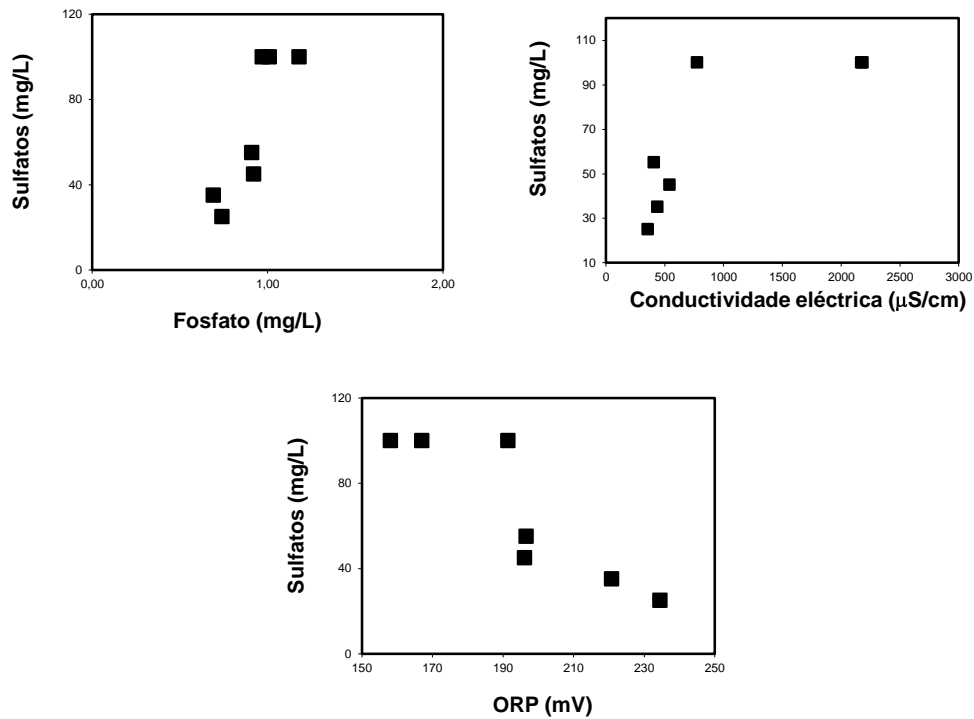


Fig. 25 – Relação entre os teores de sulfatos e os teores de fosfatos, a condutividade eléctrica e o ORP , nas águas analisadas.

O ferro é um metal abundante na natureza, mas que nas águas superficiais ocorre em baixas concentrações pois é facilmente oxidável, precipitando sob a forma de óxidos de ferro insolúveis. Nas águas subterrâneas pode ocorrer em concentrações mais altas, sob a forma de bicarbonatos de ferro, que é solúvel em condições ácidas (Santos, 2000). As águas amostradas apresentaram teores próximos de 100 µg/L, mas em duas amostras, A5 e A8 foram medidos teores de 400 e de 356µg/L, respectivamente (Fig. 22). Estas duas amostras possuem, teores superiores aos recomendados pela legislação portuguesa (200 µg/L). Contudo deve notar-se que o ferro é um micronutriente essencial e que os seus

valores limites impostos por lei, são-no pelo sabor desagradável que confere à água e pelo facto de provocar manchas nas roupas.

O cobre é um elemento essencial a vida, em geral, participado no processo da fixação do ferro na hemoglobina do sangue dos organismos humanos. Os teores de cobre nas águas analisadas variaram de 32 a 170 $\mu\text{g/L}$ para as águas superficiais e 0 a 444 $\mu\text{g/L}$ nas águas subterrâneas (Tabela 4, Fig. 22). Estes valores são superiores ao 2 mg/L, recomendados pelo DL,306/07 da Lei portuguesa e para a OMS os valores de 2mg/L induzem a efeitos gastrointestinais.

O crómio na sua forma oxidada, como Cr(VI), é um metal tóxico. Nas águas, as suas altas taxas são na sua maioritária derivada da atividade humana, resultado da atividade industrial. Os teores de Cr(VI) nas amostras da água analisadas são na maioria inferiores ao limite de deteção do método; apenas foi detetado em 2 amostras de águas subterrâneas, que possuem teores 4 $\mu\text{g/L}$ e numa amostra de água superficial, com teor de 25 $\mu\text{g/L}$ (Tabela 4). Estes teores são inferiores aos recomendado pela legislação portuguesa (50mg/L) e pela OMS (50mg/L), pelos que as águas não estão contaminadas em Cr(VI).

6. Conclusões

- O rio Cavaco é um rio de regime torrencial, que na maior parte do ano não possui água superficial. Tais características são devidas ao clima quente, semi-árido da região e ao relevo de planaltos escalonados. Escava um vale de margens abruptas nas rochas carbonatadas e terrígenas do Cretácico-Cenozóico e nas proximidades da sua foz, forma uma planície de inundação onde está localizada a cidade de Benguela. A sua zona de cabeceira localiza-se em rochas metamórficas do Complexo de base de idade Pré-Câmbrica.
- Os sedimentos do seu leito e planície de inundação são constituídos essencialmente por quartzo e feldspato, possuindo também moscovite, calcite, dolomite, hematite, magnetite, minerais de argila, anfíbola, rara turmalina e raros sulfuretos. Esta mineralogia é derivada da alteração, essencialmente física, das rochas que constituem a sua bacia hidrográfica.
- O pH dos sedimentos colhidos mais perto da foz do rio sé mais alcalino do que o dos sedimentos os colhidos mais a montante. Tal deve-se à proximidade ao oceano, às rochas carbonatadas desta área e a contribuições antrópicas da cidade de Benguela. Por outro lado os sedimentos colhidos mais a montante são usados na agricultura, o que lhes pode provocar um abaixamento de pH.
- As águas do rio Cavaco, superficiais e subterrâneas, possuem temperaturas elevadas que refletem o clima megatérmico da região. As águas subterrâneas são ligeiramente ácidas a neutras enquanto as águas superficiais são neutras a alcalinas, o que se pode dever a fotossíntese intensa e a adições antrópicas. A água superficial sujeita a grande evaporação não pode ser usada para rega devido ao seu alto pH.
- As águas superficiais possuem teores de oxigénio inferiores aos teores mínimos admitidos para um corpo aquoso sadio.
- A alcalinidade é na generalidade inferior nas subterrâneas, mas localmente pode ser elevada devido à contribuição de outros iões além dos resultantes do equilíbrio dos carbonatos.

- Os valores da condutividade eléctrica das águas são elevados, sendo os das águas subterrâneas inferiores aos das águas superficiais, o que se deve aos impactos antrópicos mais intensos nas águas superficiais. Os aniões são os principais iões que controlam a salinidade destas águas e os valores de condutividade eléctrica estão mais dependentes da existência de espécies reduzidas.
- Pontualmente há águas que não devem ser usadas para rega devido à sua alta salinidade.
- Os teores de amónia são geralmente baixos nas águas analisadas, mas localmente as águas subterrâneas apresentam contaminação em amónia. Todas as águas analisadas estão contaminadas em nitritos de acordo com a Lei Portuguesa, possuem teores de nitratos superiores a 30 mg/L e a maioria está contaminada em fosfatos.
- Os maiores teores de fosfatos foram determinados nas águas com maior influência antrópica. Localmente os teores de ferro ultrapassam os valores limites para águas para consumo humano mas na generalidade as águas analisadas possuem baixos teores de ferro. Os teores de cobre e de crómio (VI) são baixos e todas as águas analisadas não estão contaminadas nestes metais.
- Como conclusão geral sobre a qualidade das águas subterrâneas e superficiais do rio Cavaco, pode-se dizer que estão contaminadas em nitritos, a maioria está contaminada em fosfatos e localmente há contaminação em amónia e ferro. Além disso possuem alta salinidade, que é controlada essencialmente pelos teores dos aniões.

7. Referências Bibliográficas

- Administração Municipal de Benguela (2011). Relatório das actividades trimestral de 2011, Benguela - Angola.
- 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 & 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. & Morais, M. L. (2006). Synthèse préliminaire des travaux menés sur le bassin de Benguela (Sud Angola): implications sédimentologiques, paléontologiques et structurales. Africa Geoscience Review, 13 (3): 239-250.
- 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 quarternário 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.
- CEP (2006). Actualização do Perfil Ambiental de Angola. Framework contract EUROPEAID/119860/C/SV/Mult – Lot N°6: environment. Spedific contract N° 116363, 95pp.
- 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.
- Cunha, et al., (2010). Qualidade de água e do sedimento avaliada a partir da concentração de nutrientes totais. Minerva. Pesquisa e Tecnologia. SP.brasil. 6 (1): 91-98.
- Custódio,E. & Llamas, M. R. (1983). Hidrologia Subterrânea. 2ª ed. Edições Ómega, T. I e II. Barcelona (Espanha). Tomo I: 1157.
- Decreto-lei nº236/98 de 1 de Agosto. Diário da república Nº 176 – 1-8-1998 – I serie – A. Ministério do Ambiente, Lisboa.
- 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 escala1/100 000. Direcção provincial de Serviços de Geologia e Minas. Angola, 39p.
- Gomes, E. M. C., (2004). Sebenta de Mineralogia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.101, 128-140pp.
- González, A. D. & Francisco, K. (1982). Atlas Geográfico. Volume 1. Ministério da Educação da República Popular de Angola, Estocolmo, 49p.
- Guiraud, M., Buta-Neto., A. & 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 Caculuar da região de Lubango. Angola. Tese de Mestrado não publicada. Universidade de Coimbra, 71p
- Krauskopk e Bird, 1990

- Ministério da Saúde, (2006). Vigilância e Controlo da Qualidade da Água Para o Consumo Humano. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília. Brasil. 45-60pp.
- Moraes, P. B., (2008). Tratamento Físico-químico do Efluentes Líquidos. Universidade Estadual de Campinas. 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.
- MINUA. (2006). Relatório do estado geral do ambiente em Angola. Disponível em/Angola_Relatorio%20do%20Estado%20Geral%20do%20Meio%20Ambiente_por t.pdf. Acedido em 05/05/2012.
- WHO. (2008). Guidelines for Drinking - Water Quality. Volume 1. 3rd 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. Angola.

Sites da internet consultados

<http://www.spanport.ucsb.edu/faculty/mcgovern/Angola/angola.html>. Acedido em 10/05/2012

http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-.293205/apoio/2/Resumo_caracteriza_o_de_efluentes_continua_o.pdf. acedido em 15/09/12

http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. acedido 05/05/12

[http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(01\)%2011.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(01)%2011.pdf). Acedido em 12/09/12.