



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Departamento de Ciências da Terra

PROPOSTA PARA O TRATAMENTO FINAL DAS AGUAS RESIDUAIS DA BACIA DE OXIDAÇÃO DE BENGUELA.

João Hossi Buaio

MESTRADO em GEOCIÊNCIAS - Ramo Ambiente e Ordenamento do Território

Outubro 2012





UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**PROPOSTA PARA O TRATAMENTO FINAL DAS ÁGUAS
RESIDUAIS DA BACIA DE OXIDAÇÃO DE BENGUELA.**

João Hossi Buaio

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – RAMO AMBIENTE E ORDENAMENTO

(Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre)

Orientadores científicos

Prof. Doutor João António Mendes Serra Prata, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Nelson Edgar Viegas Rodrigues, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
Universidade de Coimbra

RESUMO

O presente trabalho centra-se no estudo de medidas que permitam melhorar o tratamento de águas residuais na bacia de oxidação de Benguela, que é a estação de tratamento de águas residuais (ETAR) construída pelo PRUALB (projecto de reabilitação urbana de Benguela e do Lobito) em 1997, regulada pela administração municipal de Benguela e pela Empresa de Águas e Saneamento de Benguela.

Propõe-se na tese a utilização de fitorremediação como técnica para o melhoramento do funcionamento da bacia de oxidação de Benguela, descrevendo-se as várias técnicas de fitorremediação nas quais as plantas são capazes de inibir ou remover as substâncias contaminantes nas águas. Descrevem-se também as *wetlands* artificiais, seus tipos, suas vantagens e alguns inconvenientes no processo de tratamento de águas residuais.

Para melhor eficácia dos estudos faz-se uma abordagem sobre a área onde se situa a bacia de oxidação de Benguela e caracteriza-se o actual funcionamento da ETAR, destacando-se essencialmente os parâmetros técnicos funcionais das lagoas e o estado do efluente resultante deste processo de tratamento.

Finalmente, apresentam-se os resultados laboratoriais das amostras colhidas no local (plantas e lamas das lagoas primária e secundária). Estes servem de base para o dimensionamento de uma *wetland* artificial que, a ser implementada, melhoraria a qualidade do efluente que resulta do actual processo. O modelo de *wetland* proposto é um sistema de fluxo misto (sub-superficial em partes e de fluxo livre noutras). Isto forneceria um tipo de *wetland* mais eficiente tendo em conta as plantas propostas que têm a vantagem de serem autóctones.

Palavras-chaves: Bacia de oxidação; fitorremediação; wetland artificial.

ABSTRACT

This work focuses on the study of measures to improve the wastewater treatment process that takes place at the oxidation lagoons of the Benguela city, Angola. This is the wastewater treatment plant (WWTP) constructed by PRUALB (urban rehabilitation project of Benguela and Lobito) in 1997, and it is managed by the municipal administration and by the Benguela Water and Sanitation Company.

In the thesis, it is proposed to use phytoremediation as a technique for the improvement of the operation of the Benguela WWTP. The various techniques of phytoremediation are described where plants are able to absorb, inhibit or remove contaminant substances from the water. Artificial wetlands are also described, their types, advantages and some drawbacks of this process for wastewater treatment.

The area where the oxidation lagoon sits is characterized and the existing operating process is described, essentially highlighting the technical parameters of the functional status of the ponds and the resulting effluent from the treatment.

The results of the chemical analysis of plants and mud collected at the site are discussed. There are used to size a possible artificial wetland that could improve the quality of the current effluent. A mixed flow wetland system is proposed: it combines sub-surface parts with free of flow in other parts). This would provide a more efficient type of wetland taking into account the characteristics of the plants proposed which also have the advantage of being autochthonous.

Key-Words: Oxidation lagoon; phytoremediation; artificial wetland.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| Resumo | ii |
| Abstract | iii |
| | |
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 2 |
| 1.2. Objectivo | 3 |
| 1.3. Metodologia e técnicas | 3 |
| 1.4. Sumário | 4 |
| CAPÍTULO 2- FITORREMEDIAÇÃO | 5 |
| 2.1. Considerações Iniciais | 6 |
| 2.2. Conceitos Básicos e Mecanismos da Fitorremediação | 6 |
| 2.2.1. Fitovolatilização | 7 |
| 2.2.2. Fitoextracção | 8 |
| 2.2.3. Rizofiltração | 8 |
| 2.2.4. Fitoestabilização | 10 |
| 2.2.5. Fitodegradação | 10 |
| 2.3. Vantagens da fitorremediação | 11 |
| 2.4. Desvantagens da fitorremediação | 12 |
| 2.5. Fito-ETARs ou <i>Wetlands</i> Artificiais | 13 |
| 2.5.1. Definição | 13 |
| 2.5.2. Caracterização dos efluentes líquidos de uma <i>wetland</i> | 14 |
| 2.5.3. Constituintes de uma <i>wetland</i> | 15 |
| 2.5.4. Tipos de <i>wetlands</i> ou fito-ETARs | 19 |
| 2.5.5. Limitações das <i>wetlands</i> artificiais | 21 |
| CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO | 22 |
| 3.1. Caracterização geográfica | 23 |
| 3.2. Caracterização geológica e Solos | 23 |
| 3.3. Caracterização Hidrológica e Hidrologia | 25 |
| 3.4. Caracterização da Fauna e Flora | 25 |
| 3.5. Caracterização Socio-Económica | 25 |
| CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO ACTUAL DA E.T.A.R. | 29 |
| 4.1. Caracterização Geral da Bacia de Oxidação | 30 |
| 4.2. Funcionamento da Bacia de Oxidação | 33 |
| 4.2.1. Plantas na Bacia de Oxidação | 33 |
| 4.2.2. Materiais em Suspensão | 34 |
| 4.2.3. Influência do clima no funcionamento da bacia de oxidação | 35 |
| 4.2.4. Reutilização do efluente da bacia de oxidação | 35 |
| Capítulo 5 – RESULTADOS E PROPOSTA DE SOLUÇÃO | 37 |
| 5.1. Metodologia de Amostragem | 38 |
| 5.2. Análise Química | 38 |
| 5.3. Resultados e Discussão | 40 |
| 5.4. Dimensionamento de uma <i>wetland</i> | 43 |
| 5.4.1. Proposta de <i>wetland</i> artificial | 43 |
| 5.4.2. Cálculo | 46 |
| CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 49 |
| 6.1. Conclusões | 50 |
| 6.2. Recomendações | 50 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 52 |

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A água é essencial para a sobrevivência de todas as espécies e o seu consumo tem aumentado de forma espantosa.

O desenvolvimento das indústrias e dos meios técnicos, o crescimento populacional bem como a utilização dos recursos naturais no sentido imediato, têm vindo a contribuir para o acentuado consumo de água e, conseqüentemente, para o aumento contínuo de matérias residuais que exercem grande *stress* sobre o meio ambiente.

Os resíduos resultam dos processos de diversas atividades das sociedades, de origem industrial, comercial, hospitalar, de serviços e domésticos, produzidos em todos os estágios das atividades humana, e a poluição da água é feita maioritariamente por compostos orgânicos e inorgânicos provenientes destas atividades.

As políticas de tratamento das águas residuais em Angola, encontram-se expressas na Lei de Bases do Ambiente (Lei 5/98 de 19 de Junho) e legislação complementar (p.e. Normas e procedimentos relativos à Avaliação de Impacte Ambiental, Decreto 51/04 de 23 de Julho) e no Estatuto Orgânico do Ministério do Urbanismo e Ambiente.

Uma das técnicas usadas para o tratamento das águas residuais em Angola são as bacias de oxidação (estações de tratamento de águas residuais ou ETARs), sendo esta uma forma de tratamento na qual a Ação de microrganismos é intensificada para estabilizar e oxidar a matéria orgânica.

No caso particular do Município de Benguela, no período de 1994 a 1997, foi construída na zona sul, próximo ao cemitério do Catengue, uma bacia de oxidação onde se realiza o tratamento de resíduos líquidos. No início do seu funcionamento a bacia de oxidação localizava-se a uma distância aceitável dos locais povoados, mas, atualmente, verifica-se um número considerável de pessoas que residem nas proximidades da bacia de oxidação onde as condições ambientais podem ser nocivas para a saúde humana (por exemplo proliferação de mosquitos).

Outro aspecto a considerar é a reutilização do efluente resultante do processo de tratamento das águas residuais na bacia de oxidação. Esta reutilização periga a saúde da população adjacente e não só, uma vez que este é utilizado para a rega de plantações localizadas nas imediações da bacia de oxidação.

Para a minimização dos efeitos negativos de reutilização da água é imperioso adotar soluções de remediação, que possam reduzir esses efeitos e assegurar a sustentabilidade do ecossistema.

Existem técnicas para melhorar a qualidade dos efluentes resultantes do processo de tratamento de águas residuais. Um dos mecanismos é a criação de uma *wetland* artificial (em português usa-se também o termo *fito-ETAR*), técnica que se enquadra na categoria de fitorremediação, e que possibilita a melhoria da qualidade do efluente

reutilizado. Neste caso o tratamento é efetuado por plantas aquáticas com características que lhes permitam filtrar e depurar a água. Esta é uma técnica com custos reduzidos e ambientalmente aceitável.

Neste momento impõe-se melhorar a qualidade de funcionamento da bacia de oxidação de Benguela e do efluente resultante deste processo, o que pode ser feito com a implementação de uma *wetland*.

1.2. OBJECTIVO

Constitui objetivo deste trabalho a proposição de soluções para a melhoria da qualidade do efluente que é produzido pelo tratamento das águas residuais na bacia de oxidação de Benguela (estação de tratamento de águas residuais E.T.A.R.), em particular através da criação de uma *wetland* artificial.

Como peças necessárias para este desígnio apresentam-se os seguintes objetivos parciais:

- Propor o melhoramento do tratamento da E.T.A.R. actual com recurso a técnicas de fitorremediação;
- Selecionar espécies autóctones passíveis de serem utilizadas na fitorremediação;
- Apresentar uma metodologia e *design* para a descontaminação dos efluentes da E.T.A.R. para que possam ser usados na agricultura.

1.3. METODOLOGIA E TÉCNICAS

A metodologia e técnicas usadas na elaboração deste trabalho são as seguintes:

- Delimitação da área de estudo;
- Determinação e identificação das espécies vegetais e lamas na bacia de oxidação a serem utilizadas nas análises;
- Análises químicas das espécies vegetais e lamas;
- Cálculo para o dimensionamento da *wetland* artificial.

1.4. SUMÁRIO

A tese encontra-se dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo faz-se uma breve introdução ao tema e apresentam-se os objetivos do trabalho.

O capítulo dois refere-se a um conjunto de conteúdos revisados a partir de bibliografias sobre a temática da fitorremediação e *wetlands* artificiais.

No capítulo três evidencia-se a caracterização da região estudada.

No capítulo quatro caracteriza-se de uma forma geral a Bacia de Oxidação de Benguela (estação de tratamento de águas residuais, ETAR) e apresenta-se também o funcionamento actual da mesma.

O capítulo cinco apresenta os resultados obtidos e propostas de soluções para a situação problemática em estudo.

No último capítulo (capítulo seis) mostram-se as conclusões e recomendações.

CAPÍTULO 2 - FITORREMEDIAÇÃO

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde a antiguidade, a utilização das plantas para o tratamento de zonas poluídas aparece de um modo simultâneo com o surgimento das primeiras cidades (Cruz, 2005).

A recuperação de áreas contaminadas pelas actividades humanas pode ser feita através de vários métodos. Em alguns processos verifica-se um deslocamento da matéria contaminada para outros locais mais afastados, agravando riscos de nova contaminação e aumentando ainda mais os custos de tratamento e remediação (Mazzuco, 2008). Actualmente, e para a minimização dos problemas ambientais, tem-se dado preferência a métodos menos impactantes e que sejam mais económicos. Neste contexto a biotecnologia oferece a fitorremediação como alternativa capaz de empregar sistemas vegetais com o fim de desintoxicar ambientes de poluentes tais como compostos inorgânicos, elementos químicos radioactivos, hidrocarbonetos derivados do petróleo, pesticidas e herbicidas, explosivos, solventes clorados e resíduos orgânicos industriais, entre outros (Mazzuco 2008).

A fitorremediação é definida como o uso de plantas para remover, conter ou tornar inofensivos os contaminantes. Esta definição aplica-se a todos os processos biológicos, físicos e químicos influenciados pelas plantas que auxiliam na remediação de substratos contaminados (Cunningham & Berti, 1993). O conceito de fitorremediação envolve o uso de plantas hiperacumuladoras de metais para remoção de poluentes em solos ou água. Este é um método essencialmente 'verde' e que tem a vantagem de ser uma técnica de baixo custo para remediação do solo, sem agredir o ambiente (Robinson *et al.*, 1998).

A fitorremediação oferece várias vantagens como, por exemplo, a possibilidade de tratar áreas de grandes dimensões, a baixo custo e com a mais-valia de remediar águas, solos e subsolos contaminados, embelezando ao mesmo tempo a paisagem. Porém o uso do termo *phytoremediation* (*phyto* = vegetal + *remediation* = remediação) é muito recente, tendo sido criado no ano de 1991, para descrever o uso de plantas, bem como dos microrganismos a elas associados, como instrumento de contenção, isolamento, remoção ou redução das concentrações de contaminantes em meio sólido, líquido ou gasoso (EPA, 2006).

2.2. CONCEITOS BÁSICOS E MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO.

Para o sucesso da fitorremediação devem ser usadas plantas tolerantes, e as mesmas devem ter a capacidade de remover, extrair, ou conter o contaminante. A fitorremediação pode ser classificada de acordo com do mecanismo usado e da natureza química ou propriedades do contaminante.

Assim definem-se os seguintes processos: (1) fitovolatilização, (2) fitoextração ou fitoacumulação, (3) rizofiltração, rizodegradação ou fitoestimulação, (4) fitoestabilização e (5) fitodegradação ou fitotransformação. Estes são detalhados em seguida.

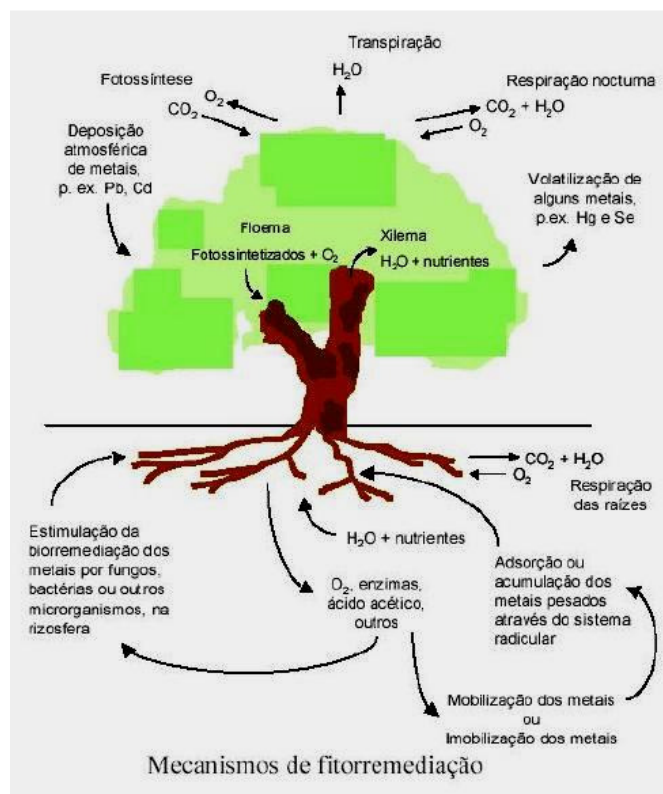


Figura 2.1-Mecanismos de fitorremediação¹

2.2.1. FITOVOLATILIZAÇÃO

Esta técnica consiste no uso de plantas que têm a capacidade de extrair metais do solo e os convertem em compostos químicos menos tóxicos e voláteis que são depois expelidos pela transpiração da planta (Nascimento & Xiang, 2006). As plantas devem ter alta capacidade de transpiração.

A volatilização pode ocorrer pela biodegradação na rizosfera ou após a passagem pela própria planta. No caso da absorção do poluente, este pode passar por diversos processos metabólicos internos, sendo libertado pela superfície das folhas. Deste modo, dependendo da actuação, ou não, dos processos metabólicos, a libertação do contaminante para a atmosfera pode ocorrer de forma original ou transformada (Mazzuco, 2008).

¹ <http://biomasmrinhos.blogspot.pt/2011/09/fitorremediacao-solucao-inteligente.html> acesso em 25 de Outubro de 2012

Um exemplo de aplicação deste processo é o da transformação do selénio em metiloselenato realizada pelo *Astragalus racemosus*. Esta conversão química não apresenta qualquer risco para a saúde humana (Salt *et al*, 1998)

2.2.2. FITOEXTRACÇÃO

A fitoextracção também designada por fitoacumulação refere-se a plantas acumuladoras de contaminantes, que os transportam e concentram nas raízes, folhas e caule. Certas plantas denominadas hiperacumuladoras, absorvem elevadas quantidades de metais comparativamente a outras espécies chegando a armazenar 0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal (Mazzuco, 2008). Estas espécies podem acumular contaminantes distintos e serem capazes de tolerar concentrações elevadas do poluente sem sofrer efeitos fito-tóxicos. Estas são as que potencialmente se utilizam na fitorremediação com o fim de evitar a dispersão do material tóxico.

Uma planta hiperacumuladora ideal para o processo de fitoacumulação deve ser endógena para o local que se pretende remediar, conter raízes capazes de alcançar as zonas contaminadas (água e/ou solo), ter crescimento rápido, ter uma taxa elevada de transporte dos contaminantes para a sua parte aérea e apresentar uma elevada taxa de produção de biomassa (Siegle, 2002). Para que os poluentes sejam retirados do meio, estes têm de estar em contacto directo com as raízes deste tipo de plantas. O contacto termina quando o contaminante se dissolve na corrente de transpiração, sendo seguidamente transportado para a zona da raiz e para o interior da planta.

O destino do material vegetal resultante dependerá da possibilidade ou não do seu aproveitamento e será decidido de acordo com a sua espécie, sua capacidade de acumulação e risco ambiental representado, (Mazzuco, 2008).

Os resíduos gerados estão altamente enriquecidos em metais e são, geralmente, secos e incinerados. São depois armazenados ou é feita a recuperação do metal (Prasad e Freitas, 2003).

Dependendo do caso, o tecido vegetal pode ser incinerado (em locais com filtros devidamente especializado que evitem a libertação de gases tóxicos, provenientes do contaminante removido pela planta, para a atmosfera), depositado em aterro, co-processado na fabricação de cimento, ou, em caso de aproveitamento, utilizado na produção de fibras, móveis, etc. (Mazzuco, 2008).

2.2.3. RIZOFILTRAÇÃO

Também chamada de rizodegradação ou fitoestimulação. Técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um

meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radioactivos, por meio de seu sistema radicular (Dinardi *et al*, 2003).

Rizofiltração é a técnica que utiliza plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radioactivos, através do seu sistema radicular (Mazzuco, 2008).

As plantas são mantidas num reactor de sistema hidropónico, através do qual os efluentes passam e são absorvidos pelas suas raízes, que vão concentrando os contaminantes (Mazzuco, 2008).

Plantas como por exemplo *Helianthus annuus* (girassol) e *Brassica juncea* (mostarda), com grande biomassa radicular, são as que provaram ter mais potencial de utilização com esta tecnologia.

Esta técnica baseia-se na utilização de plantas aquáticas enraizadas e/ou flutuantes ou de plantas terrestre com um sistema radicular muito denso e visa a extracção de contaminantes metálicos e/ou os nutrientes em excesso nos substratos de crescimento aquoso rios, ribeiras, águas residuais, lagos, etc. É aplicável para remediação da maioria dos metais (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr, V), de nutrientes excedentários como o caso do NH_4NO_3 e de radionuclídeos tais como U, Cs, Sr (Prasad e Freitas, 2003).

A aplicação da técnica da rizofiltração envolve, geralmente, a cultura hidropónica das plantas num sistema estacionário ou em circulação (*wetland*) e a contaminação presente na água é removida devido à absorção radicular e translocação do metal, para as partes superiores da planta (Dushenkov, 1995, Brooks, 1998, Prasad e Freitas, 2003). De forma semelhante ao que acontece com a fitoextração, à medida que as plantas atingem a saturação de metal, são colhidas e armazenadas (Prasad e Freitas, 2003).

A biomassa gerada é removida periodicamente, seca e sujeita a compostagem ou então é incinerada. Para além do controlo hidráulico do aquífero, este método permite a interceptação da pluma de contaminação horizontal (Pilon-Smits, 2005).

As raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que por sua vez usam os metabólitos exsudados da planta como fonte de carbono e energia. As plantas podem também produzir, elas próprias, enzimas biodegradativas. Consiste no facto das raízes liberarem exsudatos como, aminoácidos e polissacarídeos, que estimulam a actividade dos microrganismos do solo, e estes, por sua vez, degradam os contaminantes do solo. A libertação de exsudatos e enzimas que incrementam as transformações bioquímicas e a mineralização em virtude da actividade microbiana e de fungos micorrízicos na rizosfera (Pires *et al*, 2005).

Na fitoestimulação, as plantas devem apresentar um sistema radicular denso, formado de raízes profundas que cubram uma grande área de contacto. As raízes em crescimento promovem a proliferação de microorganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia. Esta técnica limita-se a compostos orgânicos.

Embora a fitoestimulação seja mais adequada a contaminantes orgânicos ou organometálicos, também pode promover a transformação de metais. Têm-se feito pesquisas nesse sentido que demonstram a viabilidade da sua aplicação no caso de contaminação por metais (Mazzuco, 2008).

2.2.4. FITOESTABILIZAÇÃO

Consiste em usar plantas para reduzir a mobilidade dos contaminantes por estratégia de reflorescimento (Garbisu & Alkota, 2001).

Os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus do solo precipitando os metais sob formas insolúveis.

A fitoestabilização pode ser entendida como um conjunto de mecanismos, físicos, químicos ou físico-químicos. A fitoestabilização física ocorre devido à capacidade que as plantas têm de evitar a erosão superficial e a lixiviação do poluente. Para além disso, a presença de plantas pode, directa ou indirectamente, provocar a lenhificação ou humificação do contaminante no solo (Mazzuco, 2008).

A fitoestabilização química deve-se a uma mudança química e/ou microbiológica ao nível da zona das raízes e ainda pela alteração química do próprio contaminante. Baseia-se na alteração da solubilidade e da mobilidade do metal, bem como na dissolução de compostos orgânicos, por intermédio da mudança de pH do solo pela exsudação de substâncias pelas raízes ou mediante produção de CO₂ (Mazzuco, 2008).

2.2.5. FITODEGRADAÇÃO

Consiste na degradação dos contaminantes directamente nas células vegetais, por meio de enzimas.

Na fitodegradação o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou à sua superfície, passando a formas menos tóxicas por fenómenos de catabolismo ou anabolismo. Este mecanismo é utilizado principalmente na remoção de contaminantes orgânicos, mas a sua absorção irá depender do tipo de planta, da idade do contaminante e de muitas outras características do solo (Mazzuco, 2008).

Também conhecida por fitotransformação, este mecanismo baseia-se na degradação de contaminantes orgânicos por um meio da actividade microbiana mais intensa que ocorre na rizosfera (Dinardi *et al*, 2003).

Na fitodegradação é importante que as plantas tenham um sistema radicular bem desenvolvido e denso, com raízes compridas, e um maior número de enzimas de degradação. Como exemplo de fitodegradação temos as plantas do género *Populus* (choupos) (Mazzuco, 2008).

A absorção dos contaminantes pela planta é função da sua hidrofobicidade, solubilidade e polaridade. Por este motivo, os compostos orgânicos moderadamente hidrofóbicos são mais facilmente absorvidos e transportados pelas plantas. Por outro lado, os compostos muito solúveis não são absorvidos pelas raízes. Já os compostos hidrofóbicos podem ser encontrados à superfície, mas não são transportados pela planta (Mazzuco, 2008).

2.3. VANTAGENS DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação oferece várias vantagens que devem ser levadas em conta. Grandes áreas podem ser tratadas de diversas maneiras, com possibilidades de remediar águas contaminadas, o solo, e subsolo e ao mesmo tempo embelezar o ambiente.

As principais vantagens da fitorremediação podem ser descritas de seguinte maneira:

- O investimento em capital e o custo de operação são baixos, já que usa como fonte de energia a luz solar;
- Aplicável *in situ* sendo que o solo pode ser posteriormente reutilizado;
- Aplica-se a grande variedade de poluentes, podendo remediar vários contaminantes simultaneamente, incluindo metais, pesticidas e hidrocarbonetos;
- Técnica esteticamente bem aceita pela sociedade, limitando as perturbações ao meio ambiente se comparado a outras tecnologias, pois evita tráfego pesado e escavações;
- As plantas podem ser mais facilmente monitoradas do que, por exemplo, microrganismos, sendo que muitas espécies vegetais são capazes de desenvolver em solos cujas concentrações de contaminantes são tóxicas para os microrganismos;
- Aplica-se a áreas extensas, onde outras tecnologias são proibitivas;

- Acarretam uma melhoria da qualidade do solo, no que diz respeito as suas características físicas e químicas, já que aumentam a porosidade, a infiltração de água, fornecem e reciclam nutrientes, além da prevenção da erosão;
- Reduzido impacto ambiental, podendo ser valorizado economicamente;
- A colheita das plantas que acumulam os metais pesados é fácil de realizar com a tecnologia existente;
- Processo mais facilmente controlado do que com os microrganismos.

2.4. DESVANTAGENS DA FITORREMEDIAÇÃO

Apesar das vantagens desta técnica, a fitorremediação apresenta alguns inconvenientes necessários e a ter em conta para o sucesso da sua aplicação. Destacam-se assim as seguintes desvantagens:

- Resultados mais lentos do que aqueles apresentados por outras tecnologias, já que os processos de descontaminação estão na dependência da implantação, estabilização e crescimento vegetal nos sítios contaminados, tendo comparativamente a outras técnicas, um período de resposta à descontaminação mais demorado;
- O crescimento e o desenvolvimento de algumas plantas são dependentes da estação, do clima e do solo, envolvendo adequado fornecimento de nutrientes e água;
- Os contaminantes podem encontrar-se em concentrações muito tóxicas a ponto de não permitir o desenvolvimento das plantas;
- Apresenta resultados mais satisfatórios quando aplicado à superfície do solo ou às águas existentes a pouca profundidade;
- Há a necessidade de a planta apresentar uma boa biomassa vegetal, quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis, seguida de uma disposição apropriada após sua remoção;
- Podem ser produzidos metabólitos mais tóxicos do que os compostos originais, sendo que na fitovolatilização estes contaminantes podem ser liberados para a atmosfera;
- Caso não sejam tomados os devidos cuidados, pode favorecer a bioacumulação na cadeia trófica, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios em seres vivos.

2.5. FITO-ETARS OU WETLANDS ARTIFICIAIS

2.5.1. Definição

O tratamento dos efluentes líquidos numa *wetland* artificial (fito-ETARs) constitui uma tecnologia fiável, com simplicidade conceptual capaz de constituir uma alternativa aos sistemas convencionais (Carvalho, 2004).

As fito-ETARs apresentam diferentes designações, nomeadamente, zonas húmidas artificiais, *constructed wetlands*, na terminologia anglo-saxónica, ETAPs (Estações de tratamento de águas com plantas), leitos de macrófitas ou leitos cultivados construídos, entre outros.

Segundo Davis (2008), *wetlands* são áreas de transição entre a terra e a água, podendo englobar uma ampla gama de ambientes húmidos, incluindo sapais, prados húmidos, planícies aluviais, zonas húmidas ao longo de todos os canais, entre outros. Todas as *wetlands*, quer sejam naturais ou artificiais, de água doce ou salgada possuem em comum: a presença de água na superfície ou próxima dela, pelo menos periodicamente.

As *wetlands* artificiais ou fito-ETARs podem ser definidas também como lagoas artificiais com a presença de plantas capazes de absolver, estabilizar, neutralizar ou volatilizar os contaminantes das águas residuais. São sistemas naturais para o tratamento de águas residuais.

Tanto as zonas húmidas naturais, como as artificiais, possuem fortes potencialidades no controlo da poluição hídrica, particularmente na purificação de águas residuais. Neste contexto, as zonas húmidas são denominadas "rins" do ciclo hidrológico ao contribuírem para a melhoria da qualidade da água (Anjos, 2003).

Os mecanismos essenciais que promovem a melhoria da qualidade do efluente resultam de complexas interações de fenómenos de natureza física, química e biológica.

Por exemplo, no caso de algas que, associadas a vários tipos de microrganismos, se desenvolvem degradando, imobilizando ou acumulando poluentes. Isso ocorre de modo natural em águas residuais, onde, por exemplo, as plantas interagem simbioticamente com as bactérias. Nessa simbiose, as plantas produzem, por meio da fotossíntese, a maior parte do oxigénio utilizado pelas bactérias aeróbias na degradação da matéria orgânica.

Outra situação que pode aumentar a eficiência da fitorremediação de uma *wetland* é a presença de micorrizas, o que aumenta a absorção de água e elementos inorgânicos pelas plantas (Anjos, 2003).

2.5.2. Caracterização dos Efluentes Líquidos de uma Wetland

Segundo os autores: Cruz, (1995), Pacheco, (2003) e Luciano (2004), os efluentes líquidos podem ser caracterizados tanto pelas suas propriedades físicas, químicas, bem como biológicas em função da sua composição, como se mostra na tabela seguinte.

Tabela 2.1. Principais características dos efluentes líquidos de uma *wetland* (Fonte: Empresa de Águas e Saneamento de Benguela, 2008)

| Propriedades | Características |
|--------------|---|
| Físicas | <ul style="list-style-type: none">- A temperatura de um efluente líquido é mais elevada do que a da água de abastecimento e a sua temperatura média é de 15°C como valor representativo.- A cor é devida a substâncias originadas pela decomposição de vegetais, a presença de óxidos de ferro e de magnésio, tinturarias e celulose.- Os odores são devidos aos gases produzidos pela decomposição de matéria orgânica.- A turvação é um fenómeno que ocorre devido à presença de partículas em suspensão ou em dispersão coloidal na água. |
| Químicas | <ul style="list-style-type: none">- A alcalinidade é definida como a quantidade de iões na água que reagem para neutralizar iões de hidrogénio.- Da quantidade e do tipo de nutrientes que o efluente contém, destacam-se os mais importantes pelo seu efeito, o fósforo, o azoto e o enxofre.- A concentração do ião hidrogénio é um parâmetro muito importante, sobretudo na depuração do efluente por tratamento biológico.- A quantidade de oxigénio é indispensável a todos os organismos, pois dependem deste de uma forma ou de outra para manter os processos metabólicos. |
| Biológicas | <ul style="list-style-type: none">- Os coliformes totais e fecais são indicadores da quantidade de matéria orgânica. |

A remoção de poluente depende da variação de parâmetros físico-químicos da água e estes podem variar da forma rápida e significativa (Anjos, 2003).

Podem-se destacar os seguintes parâmetros:

- **Oxigénio dissolvido**

É a quantidade, em mg/l, de oxigénio dissolvido na água.

As águas superficiais tem um gradiente vertical de oxigénio elevado na interface água/ar, enquanto na interface água/sedimento apresentam um valor muito baixo (Anjos, 2003). O oxigénio é importante para a realização de reacções numa fito-ETAR. No entanto a concentração de oxigénio dissolvido depende da temperatura, da quantidade de sais dissolvidos e especialmente das actividades biológicas (Anjos, 2003).

- **Temperatura**

Temperatura é a medida da energia cinética das partículas em uma determinada substância. A temperatura determina tanto os processos biológicos como as reacções bioquímicas e a solubilidade dos gases dissolvidos na água (Anjos, 2003).

- **pH**

O pH, potencial hidrogénio iónico, é um índice que indica a acidez, a neutralidade ou a alcalinidade de um meio.

O pH permite-nos conhecer a solubilidade bem como a existência biológica dos constituintes químicos (nutrientes e metais pesados). O potencial hidrogénio controla a precipitação dos metais através da sua capacidade para «atacar» os minerais das rochas, solos e sedimentos, introduzindo a solubilidade dos seus constituintes (Solomons,1995).

- **Condutividade eléctrica**

A condutividade eléctrica é a capacidade das substâncias de conduzirem ou transmitirem corrente eléctrica. A condutividade eléctrica varia com o tipo e concentração de espécies iónicas, mobilidade dos iões e temperatura do meio (Anjos, 2003).

Nas zonas húmidas, a quantidade total dos sais é medida através das espécies condutoras (cálcio, potássio, nitrato entre outros) que podem ser alteradas por processos físico-químicos (Anjos 2003).

2.5.3. Constituintes de uma *wetland*

Para que uma *wetland* alcance a eficiência desejada são necessários alguns cuidados e estudo em relação aos elementos que terão grande importância no tratamento. Destacam-se os seguintes elementos:

- **Substrato**

Pode ser usado como substrato, resíduos de mineração como areia, silte, cascalho, brita, solo, resíduos orgânicos e outros. O substrato promove espaços vazios que servem de canais de vazão, facilitando o escoamento do esgoto ou da água poluída, de acordo com sua permeabilidade. Constitui, aliado às raízes das macrófitas aquáticas, local ideal para a remoção de nutrientes e para a formação do biofilme

microbiano. O substrato deverá ser colocado sobre uma protecção impermeável de lona, manta, asfalto ou argila compactada, que evita a contaminação do solo e eventual infiltração até o lençol freático. Essas camadas permitem a contenção da água poluída no sistema (Marques, 1999).

Os substratos são importantes devido a variadíssimas razões, nomeadamente (Davis, 2008):

- Suportam a vida de alguns organismos;
- A permeabilidade do substrato afecta o movimento da água na “*wetland*”;
- Muitos dos processos biológicos e químicos ocorrem no substrato;
- Os contaminantes podem ser acumulados pelo substrato.

Quando utilizado para o tratamento de efluentes, o solo realiza a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos por meio de processos físicos (filtração e sedimentação).

• Água

Distribuição da água residual pelo leito deve ser caracterizada pela simplicidade de manutenção e operação. As estruturas de entrada e saída da água de alimentação podem ser trincheiras cheias de pedras para facilitar a distribuição do afluente por todo o leito, diminuir o impacto da correnteza sobre o biofilme e garantir a máxima assimilação de poluentes. Para a drenagem das trincheiras recomenda-se o uso de tubos de PVC, que também controlam o nível de água no sistema. Quando o fluxo se mantém em baixo e perto da superfície do substrato, trata-se de uma “*wetland*” de fluxo sub-superficial e no caso do fluxo de água residuais manter-se na superfície do substrato (o que pode atrair insectos), denomina-se “*wetland*” de fluxo superficial (Marques, 1999).

As *wetlands* são susceptíveis de se formar em locais onde, devido a sua morfologia, as águas superficiais formam bacias e em zonas em que o solo seja relativamente impermeável, sendo que estas condições podem ser criadas numa “*wetland*” artificial. Estes sistemas podem ser construídos em qualquer lugar, desde que se construa uma bacia impermeável e que seja suficientemente fechado para reter as águas que se pretendem tratar (Davis, 2008).

Quanto ao regime hidráulico, pode-se salientar que o grau de saturação reflecte nas condições de oxigenação e assim, reflectindo também na maneira de degradação da matéria orgânica, aeróbia, anaeróbia ou anóxica.

A hidrologia é o factor mais importante numa “*wetland*” artificial porque está directamente ligada a todas as funções deste sistema, e porque é um factor primário de sucesso do mesmo. Apesar da hidrologia das “*wetlands*” artificial não diferencial

muito de outras águas superficiais, existem algumas diferenças em alguns aspectos importantes que são de seguida caracterizadas (Davis, 2008):

- Pequenas mudanças na hidrologia podem provocar efeitos significativos na “*wetland*” artificial e no tratamento que se pretende realizar;
- Devido a grande área superficial de água e geralmente a baixa profundidade da mesma, o sistema tem interações com a atmosfera através da precipitação e da evapotranspiração.
- A densidade da vegetação existente nas “*wetlands*” afecta a hidrologia do sistema, devido a obstrução das plantas ao fluxo de água e ao bloqueio a exportação ao vento e ao sol.

• Os microrganismos

Em relação aos microrganismos, desenvolvem-se na rizosfera, raízes e substrato. Esse filme biológico é composto por colónias de bactérias, protozoários, micrometazoários e outros microrganismos que degradam a matéria orgânica para sais inorgânicos tornando os nutrientes disponíveis para as macrófitas (Marques, 1999). Destes, os quimioautotróficos são responsáveis pela remoção da matéria orgânica e a transformação do nitrogénio.

Também os microrganismos apresentam um papel importante nas «*wetlands*», isto porque regulam muitas das suas funções. Esta comunidade pode ser afectada por substâncias químicas como pesticidas e metais pesados. A biomassa microbiana é um importante consumidor de carbono orgânico e de muitos nutrientes. Nas actividades microbianas incluem-se (Davis, 2008):

- Transformação de um grande número de materiais orgânicos e substâncias inorgânicas em inócuo ou substâncias insolúveis;
- Alteração das condições de oxidação/redução do substrato e, portanto, afecta a capacidade de transformação das “*wetlands*”;
- Envolvimento na reciclagem dos nutrientes.

• As plantas

As plantas utilizadas numa “*wetland*” artificial apresentam em suas raízes, nos rizomas e nos caules, um local de grande crescimento de microrganismos, aumentando assim, a área.

Outra grande importância das plantas é a sua capacidade de transportar o oxigénio da sua porção aérea (folhas) até as raízes, promovendo condições para a degradação aeróbia da matéria orgânica e à transformação de nutrientes. As plantas utilizadas nas *wetlands* são denominadas macrófitas. Esse termo é utilizado para representar plantas vasculares fluorescentes, os musgos e a maioria das algas marinhas. As mais

comummente utilizadas para o tratamento de águas residuais são das famílias *Juncáceas*, *Ciperáceas*, *Tifáceas*, e *Gramíneas*, e os géneros mais utilizados são *Typha* ssp (figura 2.4.), *Juncus* ssp (figura 2.2), *Phragmites* ssp, *Myriophyllum verticillatum* (figura 2.3.) e *Scirpus* ssp (Philippi e Sezerino, 2004).



Figura 2.2.- *Juncus effusus* (fonte: Wikimedia comuns. 2004, Kristian Peters)



Figura 2.3. - *Myriophyllum spicatum* (fonte: www.ulsamer.at 2012)

Diversos autores destacam o uso da *Typha* ssp. (Tabúia) para o uso em tratamentos de efluentes, isso pelo facto da facilidade de aquisição, já que é um género de distribuição cosmopolita, podendo ser encontradas em ambos os hemisférios e nas regiões temperadas e tropicais. Outro motivo da sua indicação para tal uso é o seu crescimento agressivo, chegando a produzir 7 toneladas de rizomas por hectare (Lorenzi Valentim,1993). Segundo Joly (1991) devem ser usadas espécies vegetais nativas com capacidades de crescer em locais alagados.



Figura 2.4.- *Typha latifolia* ssp (fonte: wikimedia comuns 2012. Tirada por Bogdan)

Tanto as plantas vasculares como as não vasculares (algas) têm um papel importante numa “*wetland*” artificial. As algas aumentam a quantidade de oxigénio dissolvido existente no ambiente através da fotossíntese, que por sua vez afecta as reacções dos nutrientes e dos metais. As plantas vasculares contribuem para o tratamento das águas contaminadas de diversas maneiras (Davis, 2008):

- Estabilizam os substratos e limitam o fluxo canalizado;
- Diminuem as velocidades do fluxo de água, permitindo a deposição de materiais suspensos;
- Fazem a transferência de gases entre a atmosfera e os sedimentos;
- A libertação do oxigénio das estruturas subsuperficiais da planta cria micro-locais oxigenados no substrato;
- As suas raízes podem ser locais de estabilização da comunidade microbiana;
- Criam detritos quando morrem.

2.5.4. Tipos de *wetlands* ou fito-ETARs

Lautenschlager(2001) classifica as fito-ETARs de acordo com o o seu fluxo, como sendo: as de fluxo superficial (FS); de fluxo sub superficial (FSS); de fluxo horizontal (FH) e as de fluxo vertical (FV). Há que salientar também que existe a possibilidade de combinação entre eles ou com as tecnologias convencionais:

Fluxo de Escoamento Superficial ou Fluxo Livre

Este sistema possui propriedades similares ao das lagoas secundárias (que são variantes mais simples de lagoas), recorrendo à presença de algas planctónicas ou filamentosas, ou as macrófitas na massa líquida, ocorrendo em zonas de maior profundidade, a presença de organismos anaeróbios. O nível da água nestes sistemas varia de poucos centímetros a 1 metro (Luciana *et al*, 2003).

Existem diversas configurações para lagoas de *wetland*, sendo que a maioria das diferenças são em relação à forma de como são dispostas as macrófitas na porção aquática, podendo ser submersa, flutuante, emergente, etc. (Valentin, 2003).

Este é um sistema também utilizado como tratamento terciário, sendo mais apropriado a locais com acesso controlado com a finalidade de prevenir a exposição humana aos microrganismos patogénicos (Cooper *et al*, 1996).

Este tipo de tratamento oferece melhores resultados como tratamento terciário e poluição difusa (Masi e Martinuzzi, 2007). São utilizadas no tratamento de grandes volumes de águas residuais, principalmente de azoto e potássio (Mazzola, 2003). Apresentam baixos custos operacionais (Kayombo *et al*, 2004).

Como vantagem das fito-ETAR de fluxo superficial salienta-se que, normalmente, exibem maior biodiversidade do que as de fluxo sub-superficial (Kayombo *et al*, 2004).

- Fluxo de Escoamento Sub-Superficial

As fito-ETARs de fluxo sub-superficial (FSS) são essencialmente filtros horizontais preenchidos com britas, gravilha ou areia como meio suporte e onde as raízes se desenvolvem. O afluente é distribuído à entrada do sistema de forma contínua, e submete-se a um atravessamento mais ou menos prologado ao longo da rizosfera onde coexistem áreas aeróbicas, anóxica e anaeróbica (Carvalho, 2004).

Nas fito-ETAR de FSS as plantas usadas são essencialmente emergentes, como os juncos, canas e caniços (Kayombo *et al*, 2004)

As fito-ETARs por FSS são muito utilizadas no tratamento secundário de efluentes de pequena comunidades (Valentin, 2003). Segundo Kayombo *et al* (2004) estes sistemas são mais adequados a águas residuais com baixas concentrações de sólidos e de fluxo uniforme.

- Fluxo vertical

Segundo a Comissão Europeia (2001) estes sistemas são constituídos por filtros de caudal vertical, preenchidos com substratos (por exemplo, areia ou brita). O escoamento efectua-se através do filtro onde é objecto de um tratamento físico

(filtração), químico (absorção, complexação) e biológico (biomassa fixa sobre o suporte).

A eficiência deste sistema é definida principalmente pela capacidade de oxigenação do meio filtrante, a qual é proporcionada por carregamentos hidráulicos em intervalos periódicos (Mazzola, 2003).

Mazzola (2003) destaca também o grande potencial destes sistemas para a nitrificação, reduzindo de modo significativo os valores de azoto amoniacal e apresentando elevados índices de nitrato no efluente.

- Fluxo horizontal

As fito-ETARs de fluxo horizontal são canais ou trincheiras com o fundo impermeabilizado, preenchidas com algum tipo de meio suporte, geralmente o próprio solo do local, para a fixação das plantas (Metcalf & Eddy, 1991).

Durante esse processo, o efluente entra em contacto com regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias. A porção aeróbia é compreendida ao redor das raízes das macrófitas, que transportam o oxigénio de sua parte aérea para a rizosfera, que é a região onde as raízes e o solo estão intimamente ligados favorecendo a formação do biofilme. A parte aeróbia compreende também a porção do leito filtrante que recebe uma quantidade de oxigénio atmosférico significativa por difusão e convecção (Luciana *et al*, 2003).

2.5.5. Limitações das *wetlands* artificiais

Davis (2008) destaca os seguintes aspectos, como as principais limitações de uma *wetland* artificial:

- O desempenho do tratamento pode ser menos consistente do que um tratamento convencional, tendo em conta que a eficiência deste sistema pode ser sazonal em resposta em resposta as mudanças das condições;
- Quase sempre estes sistemas requerem uma área de instalação muito maior do que as de tecnologias convencionais;
- Imensas mudanças das concentrações dos componentes da água que se quer tratar pode afectar a eficiência do tratamento;
- Muito dos seus constituintes biológicos são sensíveis a químicos tóxicos.

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

3.1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Benguela é uma das províncias da república de Angola, situada a oeste. Tem como capital a cidade e município com o mesmo nome. O município de Benguela divide-se em seis comunas: zona A, zona B, zona C, zona D, zona E e zona F.

A bacia de oxidação de Benguela situa-se na zona B a oeste do bairro da Bela Vista Baixa. Este bairro encontra-se a sul do município e dista 6 km do centro urbano da cidade de Benguela.

A zona das bacias de oxidação tem uma área de aproximadamente 1,9 km² localizando-se entre 12° 37' 01" e 12° 37' 20" de latitude sul e 13° 22' 06" e 13° 22' 30" longitude oeste.

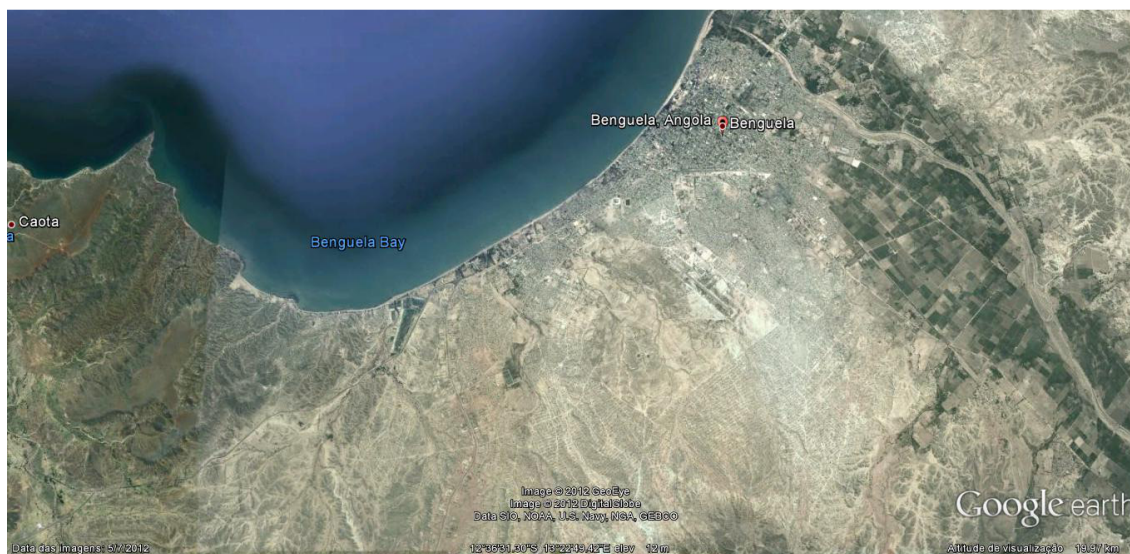


Figura 3.1. - Localização da cidade de Benguela (fonte: Google Earth 2012)

De acordo com a classificação de Köppen a área de estudo possui um clima tropical seco e semidesértico, onde a temperatura média anual do ar é de 24 °C, alcançando uma máxima média anual de 28 °C e uma mínima média anual de 20 °C.

A época quente e de chuvas é a correspondente ao período de Outubro a Maio e o mês mais quente é Março. A época fria e seca ocorrem de Junho a Setembro, sendo o mês mais frio Agosto. A humidade relativa média anual do ar é de 80% aproximadamente. A precipitação média anual é de 268 mm. É típico da região a circulação da brisa que de dia sopra do mar para a terra e à noite no sentido inverso.

3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E SOLOS

A geologia de Angola pode ser subdividida em onze unidades regionais, cada uma das quais possuindo uma combinação diferente de jazidas minerais. A nível geológico esta zona é predominantemente constituída por rochas efusivas do Cretácico e unidades sedimentares do Quaternário (Info-Angola, 2012).

Segundo a Carta Geral dos Solos de Angola, (1981) o bairro da Bela Vista Baixa, pertence à Orla litoral e é constituído fundamentalmente por formações sedimentares de origem marinha ou continental que se distribuem desde o Cretácico inferior até ao quaternário atual, ocorrem ainda rochas eruptivas que atravessam algumas daquelas formações sedimentares. A este conjunto geológico corresponde a unidade chamada bacia sedimentar de Benguela, constituída por materiais litológicos mais representativos como argilas, calcários, margas, arenitos e conglomerados.

O **relevo** é constituído por uma extensa planície litoral acumulativa arenosa que possui até 38 metros de altura aproximadamente, na entrada principal do assentamento do bairro da Bela Vista Baixa.

Na província de Benguela os solos dominantes apresentam fertilidade variável, com alguma reserva mineral disponível na faixa litoral, que vai diminuindo a medida que se caminha para o interior, principalmente na zona mais a oriente, dominada pelas formações planálticas.

Na Bela vista Baixa os **solos** são essencialmente arídicos tropicais e calcários de coloração pardacenta ou parda acinzentada, relacionados com as características climáticas e geológicas da área. Nesta parcela do território predominam os solos calcários com tendência para a alcalinidade levando à presença de solos compactos. Encontramos ainda solos aluvionares propícios para a prática agrícola.

A influência dos ventos origina processos de deflação eólica e esta é particularmente efectiva porque não existe um manto vegetal que proteja os materiais soltos contra a erosão.

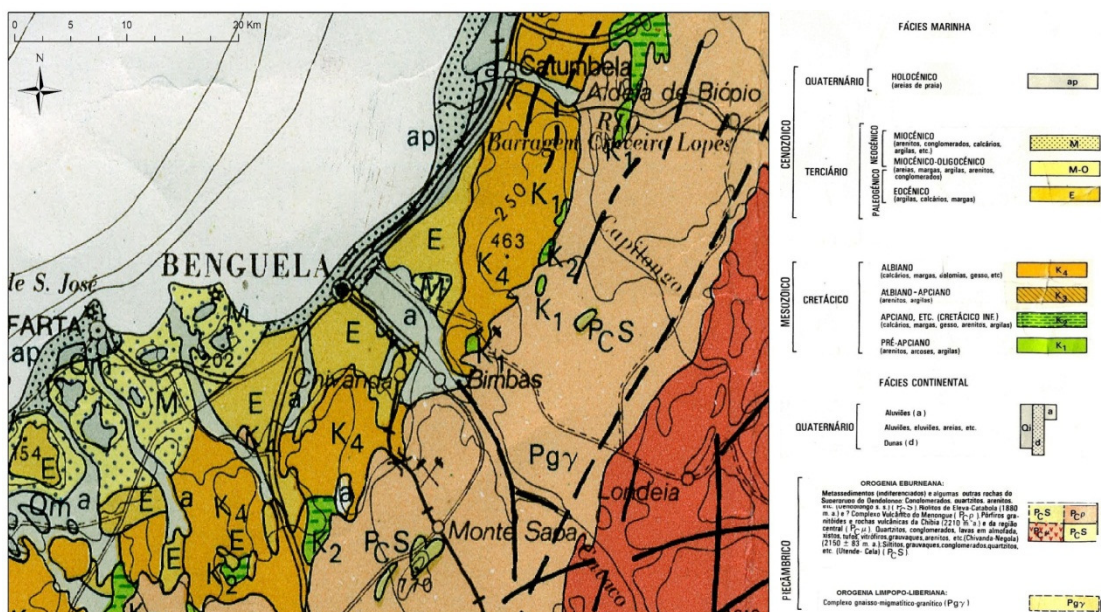


Figura 3.2- Excerto da Carta Geológica de Angola na escala 1/1.000.000 (adaptado de Carvalho, 1983 por Castro, 2012)

3.3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROLOGIA

O território da província de Benguela é caracterizado por vales, rios secos, que acumulam água no tempo de chuva. A província é drenada por alguns cursos de água que confinam nas bacias hidrográficas do Cubal, do Hanha, da Catumbela e do Coporolo.

Quanto ao município de Benguela destacam-se quatro principais rios: rio Cavaco, rio Capilongo; rio Gungue e o rio Uchi.

A **rede hidrográfica** do bairro da Bela Vista Baixa é bastante pobre, quando comparada tanto com o município de Benguela como com a província sede, a julgar pelas suas características físico-geográficas. O bairro é atravessado por um único rio (rio Uche) temporário que serve de escoamento das águas pluviais bem como para a drenagem das águas provenientes da bacia de oxidação para o mar.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DA FAUNA E FLORA

A **vegetação** típica é de estepe de arbustos isolados da faixa sub – desértica, com cobertura herbácea, mais representada pelo género das Acácias que tiveram que se adaptar ao intenso calor e à seca.

Recentemente, o avanço do fenómeno de desertificação do sul para o norte nas zonas litorais tem vindo a acentuar-se, potenciado pelo desgaste de material florestal para uso como combustível lenhoso, sem a devida reflorestação. Neste âmbito, o governo local através do seu projecto (PRUALB) criou dois (2) viveiros florestais para o combate a desertificação consubstanciados na plantação de árvores em todos os cantos do município de Benguela.

As mais abundantes **espécies faunísticas** são as aves (rolas), répteis (cobras, lagartos, escorpiões). Algumas espécies introduzidas pelo homem são: gado bovino, gado caprino, ovino, suíno, cães, gatos, galinhas, patos, com carácter doméstico. As aves migratórias (flamingos) invadem o lugar durante os meses de Inverno.

3.5. CARACTERIZAÇÃO SOCIO-ECONÓMICA

Segundo os resultados da entrevista realizada ao Administrador Comunal da zona B, Sr. António Armando Bento, o bairro surge no ano de 2005, quando o município de Benguela foi assolado por fortes enxurradas que destruíram centenas de casas no Município, em geral, e mais de 50 casas só no bairro do Kalombutão, vitimando várias pessoas.

O senhor administrador explica que o bairro inicialmente se chamava Iraque devido às suas condições precárias, fundamentalmente do saneamento básico.

Actualmente, o bairro é chamado de Bela Vista Baixa de modo a diferenciar-se do bairro da Bela Vista Alta, situado na parte mais elevada. Teve como primeiros habitantes, a família Marcelino Kamuele, que chegou e se fixou neste lugar aproximadamente em 2004.

O bairro foi crescendo fundamentalmente em função do aumento da imigração da população proveniente do interior das províncias de Benguela, Huambo, Huila, Namibe e de outras localidades do País, por factores já referidos anteriormente, bem como do centro da cidade, à procura de moradias próprias.

O crescimento do bairro tem sido limitado, com o controlo cerrado da invasão de construções anárquicas, por parte da administração municipal de Benguela, pois tem envidado esforços procurando evitar que uma mesma pessoa ocupe várias parcelas de terreno.

A **população** da Bela Vista Baixa estima-se em cerca de 8.000 habitantes. Esta é constituída maioritariamente pela etnia Umbundu (cerca de 80%), podendo também encontrar-se alguns habitantes das etnias Nganguelas, Kimbundos, Bacongos, Fiotes, Tchokwes e Muquilengues.

Dados do inquérito realizado pela administração comunal sobre saúde e ambiente da população (2008), mostram que cerca de 60% da população está inserida em actividades de pequenos negócios informais, seguido pelo funcionalismo público com 30%, agricultura e a pesca com 4% e 6%, respectivamente.

A área da educação é uma das mais críticas funcionando em vários estabelecimentos privados e religiosos sem as mínimas condições escolares, tais como quintais de algumas casas e capelas de igrejas, funcionando em regime de salas anexas à escola primária da Bela Vista Alta e conta com todas as classes desde a iniciação até à 4ª classe.

Actualmente, o bairro conta com uma escola construída pelo governo da província de Benguela, que espera apenas pela sua inauguração e que vai diminuir, de certo modo, muitos constrangimentos que o bairro tem vivido nos últimos anos.

O serviço de saúde estatal não existe. Só este ano foi construído um posto de saúde pública que se encontra ainda em fase de acabamento.

Não obstante a cobertura estatal, existem também algumas unidades sanitárias privadas de pequena dimensão, que pouco têm contribuído para atender a esta população que tem sido obrigada a percorrer vários quilómetros para chegar ao hospital central de Benguela.

O saneamento básico é da responsabilidade da Administração Municipal, que em conjunto com a empresa das águas colocou no bairro, como medida preventiva, 24 tanques de água, dos quais 20 são subterrâneos e 4 são aéreos e que são

abastecidos semanalmente por camiões, o que tem minimizado a falta de abastecimento de água potável.

As comunidades desta área enfrentam várias enfermidades tais como, doenças intestinais, a cólera, o paludismo, doenças respiratórias, entre outras.

O bairro da Bela Vista Baixa, bem como quase todos os bairros do Município de Benguela, não obedecem a um ordenamento urbanístico, o que tem dificultado, de certa maneira, o saneamento básico o que depois potencia o consequente aparecimento de várias epidemias no seio desta população.

Do ponto de vista económico, o bairro conta com uma fábrica de cal e uma cerâmica, ambas paralisadas, devido à destruição sofrida nos conflitos políticos que o município e o país em geral, viveram durante os longos anos de guerra. Destacam-se ainda as novas construções a cargo de uma construtora chinesa que, no futuro próximo, poderão servir a população do Bairro e do Município.

No assentamento existe **comércio** formal e informal. O comércio formal realiza a venda a retalho, o que obriga os vendedores ambulantes a moverem-se para áreas mais distantes para obterem os produtos para a sua subsistência.

Os estabelecimentos têm características de loja e taberna. Existem seis estabelecimentos comerciais. O comércio constitui uma alternativa para mitigar o desemprego.

A praça é um lugar por excelência, onde se realiza o comércio de numerosos artigos obtidos noutros assentamentos como o centro da cidade, Lobito, Luanda, Namibe e outras localidades do país.



Figura 3.3. Mercado informal (imagem tirada por Afonso Loureiro)

Na sua actividade, o **transporte** mais utilizado pelos habitantes do bairro são as motocicletas, devido às suas facilidades e possibilidades de locomoção.

O serviço rodoviário não cobre a totalidade das necessidades dos habitantes. Os moradores do bairro usam assim os táxis privados que percorrem o trajecto do bairro à cidade de Benguela e vice-versa.



Figura 3.4. Transporte por motociclos «kupapatas» (imagem tirada por Virgílio Luís)

No Bairro da Bela Vista Baixa, as peculiaridades naturais associadas ao carácter de planície costeira e à implementação de um projecto de reabilitação urbana das cidades do Lobito e Benguela (PRUALB) que terminou com a construção da Bacia de Oxidação de Benguela, tornam-no um pólo atractivo para o **turismo**.

A beleza da sua paisagem natural e antrópica constituem também atractivos para a prática do turismo. Destaca-se a visita realizada pela equipa de negociações da paz, composta por Higinio Carneiro, ex-ministro das Obras Públicas, Faustino Muteca, o então governador da Província do Huambo, e Isaias Samacuva, o actual Presidente da UNITA, bem como grupos estudantes que têm visitado estas magníficas instalações pertencentes à Empresa de Água e Saneamento de Benguela.

CAPÍTULO 4- CARACTERIZAÇÃO ACTUAL DA E.T.A.R.

4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DE OXIDAÇÃO

O município de Benguela, tal como outras áreas do país, viveu condições de extrema dificuldade, aliadas à pobreza e degradação das condições de vida e do grave problema do saneamento básico, o que agravou de certa maneira, a situação de saúde da população.

Na década noventa de (90), este problema piorou ainda mais, com o surto epidemiológico de cólera que assolou o município, principalmente nas áreas suburbanas onde as condições de higiene eram precárias.

Associado a todos estes problemas acima citados, o governo provincial viu-se obrigado a empreender todos os esforços para o cumprimento de um projecto de construção da bacia de oxidação que estava em carteira há um bom tempo a esta parte.

O projecto teve como primeiros protagonistas o Sr. Kundi Paihama, na altura comissário provincial de Benguela, e posteriormente o seu sucessor João Lourenço que criaram o projecto junto do gabinete provincial do plano.

Salienta-se também o grande contributo realizado pelo Sr. Paulo Teixeira, governador provincial de Benguela na ocasião, ao implementar o projecto e o consequente complemento pelo Sr. Dumilde das Chagas Rangel, seu sucessor.

Assim, aproveitando as vantagens do clima quente da área do projecto foi construída a bacia de oxidação constituída por cinco (5) lagoas, duas (2) lagoas primárias duas (2) secundárias e uma (1) de maturação como processo de tratamento dos esgotos. Embora estas lagoas exijam áreas extensas, não necessitam de maquinarias nem equipamentos avançados; reduzem-se, assim, os custos de operação e manutenção.



Figura 4.1 – Localização da bacia de oxidação de Benguela (Google Earth 2012)

As lagoas são aeróbicas, com vista a limitar os problemas de cheiros e consequentemente a saúde pública. As bacias foram projetadas optando por uma relação comprimento-largura de 3:1 para facilitar a circulação do efluente.

As lagoas primárias foram concebidas para a extracção de lamas de forma manual ou com tubo flutuante. O efluente passa através de canais para as lagoas secundárias e entra por fim nas lagoas de maturação das quais é descarregado por gravidade para um sistema de rega.

Reservou-se um lugar para permitir duplicar a capacidade das lagoas no futuro e a estação.

Hoje, a bacia de oxidação conta com infra-estruturas variadas que são: dois (2) edifícios com a função de residência, um balneário com quatro (4) compartimentos para senhoras e outros quatro (4) compartimentos para os homens, com duas salas de conferências, um armazém e um campo de futebol de onze, onde a sua equipa de futebol joga sempre nas suas horas de lazer e prevê ainda a construção de mais infraestruturas para diversos fins.

A tabela (4.1) a seguir mostra os parâmetros fundamentais da bacia de oxidação de Benguela.

Tabela 4.1- Parâmetros fundamentais da bacia de oxidação de Benguela (Fonte: Empresa de Águas e Saneamento de Benguela, 1997)

| Parâmetros | Primária | Secundárias | Maturação | Total |
|---|---|---------------------------------|-----------|------------------------|
| Número de lagoas | 2 | 2 | 1 | 5 |
| Área (m ²) | 1.530 | 8.140 | 5.120 | 25.100 |
| Volume (m ³) | 3.060 | 13.020 | 7.490 | 39.650 |
| Retenção (d) | 5.6 | 4.9 | 3.0 | - |
| Profundidade (m) | 2.0 | 1.6 | 1.3 | - |
| Relação C:L | 3:1 | 3:1 | 3:1 | - |
| Largura (L, m) | 15 | 79 | 54 | - |
| Comprimento (C, m) | 102 | 103 | 105 | - |
| Ligação | Em paralelo | Em série | Em série | - |
| Capacidade (média) | - | - | - | 2.785m ³ /d |
| Carga orgânica à entrada/saída (CBO ₅ ²⁰²) | 0.04kg/pessoa/dia ou 0.30kg/m ³ /ano | 340 kg/10000m ² /dia | - | 30mg/l |
| Redução orgânica | 80% | 90% | 95% | |
| Efluente e coliformes fecais/100 ml | 97% redução | 99,94% | 99.998% | <5.000 |
| Lamas (m ³ /ano) | 0.04 m ³ /pessoa/ano | - | - | 800m ³ |

O tratamento das águas residuais através das bacias de oxidação é, de todos os processos, o que mais se aproxima da simulação das condições naturais. A água residual atravessa uma série de lagoas (Patrocínio, 2007).

Consideram-se, de modo geral, quatro fases de tratamento de efluentes nas bacias de oxidação: preliminar, primário, secundário e terciário.



Figura 4.2.- Grelhas para o tratamento preliminar na bacia de oxidação de Benguela (fotografia tirada pelo autor)

A figura 4.3. ilustra detalhadamente as principais fases no tratamento das águas residuais na bacia de oxidação.

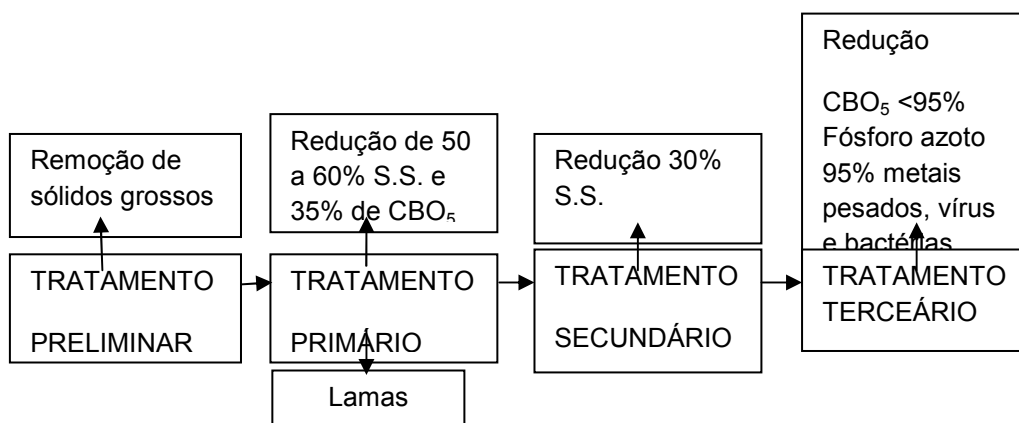


Figura 4.3.- Fases de tratamento de águas residuais nas bacias de oxidação (adaptado de Patrocínio, 2007)

4.2. FUNCIONAMENTO DA BACIA DE OXIDAÇÃO

Segundo o Manual de Operação e Manutenção do sistema de esgotos de Benguela, a atividade inicial das Lagoas, realizou-se no início da estação quente, a fim de se determinar o mais cedo possível as populações microbianas necessárias para provocar a estabilização dos esgotos.

Retirou-se toda a vegetação das lagoas e encheram-se com a água limpa, de modo a permitir o desenvolvimento gradual de algas e populações de bactérias heterotróficas. Foi necessário manter o valor do pH acima de sete para permitir o desenvolvimento de bactérias.

Na actualidade, na bacia de oxidação de Benguela não se realizam análises de amostras da água, o que impossibilita avaliar se o efluente está de acordo com os padrões de escoamento ou reutilização locais, o que deveria ser feito regularmente.

A avaliação do desempenho e comportamento das lagoas é ainda extremamente útil, pois, permite saber quando o sistema se encontra com sub/sobrecarga. Este processo é muito mais complexo do que a rotina do controlo da qualidade do efluente e permite calcular o acréscimo, de carga que o sistema poderá suportar com segurança, à medida que a comunidade que ele serve for crescendo, e prever o acréscimo de mais lagoas.

4.2.1 – Plantas na bacia de oxidação

Na bacia de oxidação de Benguela consideram-se duas espécies de vegetação: plantas aquáticas que têm raízes e caules parciais ou inteiramente imersos na água e aparecem normalmente só no lado interno da ladeira, onde há humidade, e as plantas terrestres que podem ser encontradas em qualquer lado na zona seca do local, que pouco influenciam o funcionamento da bacia.



Figura 4.4 - Vegetação aquática na bacia de oxidação (fotografia do autor)

Se a profundidade da água nas lagoas for muito reduzida (60 cm), a vegetação poderá cobrir literalmente toda a superfície. A redução da profundidade nas lagoas é, muitas vezes, devida a um excesso de infiltração através do fundo da lagoa, podendo também ser causada por insuficiência da massa de líquido em circulação em comparação com a infiltração e a evaporação. Estas funcionam normalmente com uma profundidade superior a 90 cm.

Os remédios possíveis contra o desenvolvimento da vegetação aquática incluem: capinar frequentemente as margens rasas, retirar as plantas aquáticas que emergem da água em pontos distantes da margem da lagoa, a partir de um barco ou uma jangada baixando o nível da água 30 – 50 cm, para permitir cortar os caules das plantas num ponto suficientemente baixo.

4.2.2 – Materiais em suspensão

A superfície das lagoas deve ser libertada de toda a matéria flutuante, como espuma, papel, plásticos, óleos, gordura, e qualquer outra matéria que possa impedir a penetração da luz solar. Por vezes, acumulam-se tapetes de algas à superfície das lagoas produzindo uma espuma verde-escura e, se não forem retirados, provocam problemas de cheiros, devido a decomposição de algas, para além de diminuírem a passagem da luz solar.

Na bacia de oxidação de Benguela constata-se a presença frequente destes materiais flutuantes devido à pouca frequência da sua remoção, o que pode repercutir-se no seu funcionamento, como se constata na figura 4.5.



Figura 4.5 - Materiais flutuantes na bacia de oxidação. (Imagem obtida pelo autor)

Porém, entre os remédios possíveis contra a acumulação de materiais flutuantes inclui-se: um jacto de água dirigido sobre a matéria flutuante dos tapetes de água por meio de uma mangueira manobrada pelo operador, permitindo afundar os tapetes nas lagoas e, depois de desviados e impelidos pela acção do vento à superfície para um

canto ou lado da lagoa, podem ser despedaçados com um rodo munido de cabo comprido. Se formarem escumadeira, esta deverá ser usada para retirar os tapetes flutuantes, que deverão ser enterrados.

4.2.3. Influência do clima no funcionamento da bacia de oxidação

Tendo em conta o que foi exposto anteriormente na caracterização geral do clima segundo Köppen, os efeitos ambientais da bacia de oxidação são influenciados por este.

A magnitude dos efeitos ambientais dá-se nos meses de Dezembro a Março, correspondente à época quente e chuvosa, em que se evidencia a proliferação de insectos e de doenças, bem como a alteração da estética da paisagem.

Outros factores que influenciam à incidência dos efeitos ambientais são os ventos que sopram de Oeste-Este que transportam os cheiros em direcção aos assentamentos adjacentes, fundamentalmente no período da tarde e noite. Porém, a velocidade do vento é variável durante o ano.

4.2.4. Reutilização do efluente da bacia de oxidação

A orientação da Organização Mundial de Saúde para a qualidade microbiológica das águas residuais, mostrou que os germes patogénicos de excreções que representam maior perigo para a rega de culturas são as nematóides intestinais e as bactérias fecais do homem (Empresa de Águas e Saneamento de Benguela, 1997).

A tabela 4.3 mostra a orientação para a qualidade microbiológica das águas residuais da bacia de oxidação.

Tabela 4.3- Orientação para a qualidade microbiana das águas residuais tratadas, utilizadas como fonte de rega (fonte: Empresa de Águas e Saneamento de Benguela, 1997)

| Condições de reutilização | Grupo exposto | Nematóides intestinais (média aritmética por nº de ovos por litros) | Coliformes fecais (média geométrica do nº por 100 ml) |
|--|--------------------------------------|---|---|
| Rega com restrições (culturas com probabilidades de serem consumidas cruas, campos de desporto e parques públicos) | Trabalhadores | ≤ 1 | Não é recomendado nenhum padrão |
| Rega sem restrições (cereais culturas industriais, forragem, pastagem e árvores) | Trabalhadores, consumidores, público | ≤ 11 | ≤ 1000 |

O efluente resultante do processo de tratamento das águas residuais da bacia de oxidação de Benguela é reutilizado, apesar de esta reutilização fazer perigar a saúde da população.

O efluente final é utilizado na rega para a produção de culturas, tais como a de mandioca, abóbora e cana-de-açúcar, não recomendáveis segundo a orientação mundial da saúde, o que provoca doenças intestinais entre outras, como ilustram as figuras 4.6 e 4.7.



Figura 4.6 - Descarga do efluente (fotografia obtida pelo autor)



Figura 4.7 - Cultivo de abóbora com utilização do efluente (fotografia obtida pelo autor)

Destacam-se também as culturas de milho, banana, mamão, que não periga o seu consumo, apesar de se observar a rega de culturas a partir das primeiras lagoas, o que se traduz num perigo para ambas as culturas.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E PROPOSTA DE SOLUÇÃO

5.1. METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

A amostragem incidiu sobre: (i) as lamas resultantes do processo de tratamento das lagoas (lagoa primárias e secundárias), (ii) as plantas que se encontravam nas águas das lagoas, (iii) as plantas das extremidades das lagoas e (iv) aquelas situadas na zona de plantação adjacente às lagoas e que são regadas pela água residual resultante do tratamento nas bacias.

As lamas utilizadas para a análise laboratorial foram as das duas primeiras lagoas. As amostras foram colhidas colocadas num recipiente e devidamente conservadas em local longe da luz solar até a sua completa secagem, posteriormente foram enviadas para análise química.

Quanto as plantas, foram devidamente identificadas, após a sua identificação, fez-se a colheita, posteriormente colocadas num recipiente e guardada num local sem o contacto com a luz solar.

As plantas foram recolhidas em locais distintos. Primeiro amostraram-se as plantas das lagoas primárias, depois as das lagoas secundárias e terciárias. Finalmente fez-se a recolha de plantas na zona de cultivo.

Durante a recolha os recipientes por onde eram colocadas as plantas foram devidamente simbolizados com números e letras, e com a ajuda de um GPS foram tiradas as coordenadas dos locais de colheita, o que veio a facilitar posteriormente a identificação.

Depois de secas, as plantas foram moídas e transportadas para o laboratório de análises química.

As análises químicas foram efetuadas no Laboratório Químico do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

5.2. ANÁLISE QUÍMICA

Antes de se efectuarem as análises químicas das amostras (lamas e plantas), estas foram identificadas, e colocadas numa estufa durante 24 horas a 50°C.



Figura 5.1- Estufa

Depois as plantas foram moídas. De cada amostra foram pesadas cerca de 0,5g e colocadas em tubos de teflon. A cada tubo foram adicionados 8 ml de ácido nítrico (HNO_3) e 2 ml de água oxigenada (H_2O_2).

Estes tubos foram colocados no micro-ondas Multiwave 300 Anton-Paar. Foi seleccionado o programa adequado para a digestão das amostras e que dura cerca de 1 hora.



Figura 5.2- Micro-ondas Multiwave 300 Anton Paar

As amostras digeridas foram retiradas do microondas e transferidas para balões de vidro. Foi adicionada a quantidade de água destilada (H₂O) necessária para perfazer 25 ml de solução. De seguida cada amostra foi filtrada e colocada em frasco plástico. Finalmente cada amostra foi analisada por absorção atômica com chama para determinar concentrações dos seguintes elementos: cádmio (Cd), cobalto (Co), crómio (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn). A concentração de arsénio (As) também foi determinada mas por absorção atômica com câmara de grafite.



Figura 5.3- Aparelho de espectrofotometria por absorção atômica com câmara de grafite

5. 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas das amostras são apresentados na tabela seguinte (Tabela 5.1):

Tabela 5.1. Análises químicas dos materiais amostrados

| Amostras | Elementos analisados (valores em mg/kg de peso seco da amostra) | | | | | | | |
|-------------------------------|---|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------------|
| | As | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| Lama da 1ª lagoa (entrada) | 30,367 | 0,001 | 8,329 | 12,534 | 7,123 | 8,647 | 0,989 | 25,960 |
| Lama da 2ª lagoa (secundária) | 0,087 | 0,000 | 6,190 | 17,754 | 11,430 | 2,806 | 0,359 | 55,622 |
| | Elementos analisados (valores em mg/kg de peso de cinza da amostra) | | | | | | | |
| Gramíneas | 0,077 | 0,000 | 10,504 | 6,849 | 7,090 | 1,814 | 0,348 | 25,514 |
| <i>Zea mays</i> | 4,958 | 0,001 | 0,306 | 18,584 | 51,867 | 8,014 | 39,448 | 350,92 2 |
| <i>Juncus longistylis</i> (?) | 0,009 | 0,001 | 10,662 | 10,036 | 3,325 | 1,029 | 0,314 | 7,024 |
| <i>Cynodon dactylon</i> | 0,189 | 0,000 | 4,542 | 10,852 | 4,659 | 0,206 | 0,081 | 14,442 |
| <i>Saccharum officinarum</i> | 0,092 | 0,001 | 9,305 | 16,381 | 22,614 | 1,573 | 0,471 | 89,107 |
| <i>Poligonum</i> sp. | 0,168 | 0,000 | 8,880 | 16,486 | 2,585 | 1,054 | 0,464 | 27,271 |

Os resultados da tabela mostram que as lamas da primeira (lagoa de entrada) retêm a maior quantidade de arsénio (As) e alguma quantidade (pequena) de cobre (Cu) crómio (Cr), chumbo (Pb) e níquel (Ni).

O teor de arsénio encontrado nas lamas das lagoas secundárias é baixo o que pode indicar; (i) ou a pouca eficiência na sua remoção entre as lagoas inicial e final (provavelmente por estar solúvel), (ii) ou então as quantidades de arsénio são por si já baixos após a passagem da primeira lagoa. Os teores de arsénio encontrados no milho (*Zea mays*) sugerem que continua presente, em quantidades significativas, nas águas do efluente. A confirmar-se esta hipótese é necessário instalar sistemas de remoção do arsénio e consideramos que o método mais eficaz é a fitorremediação.

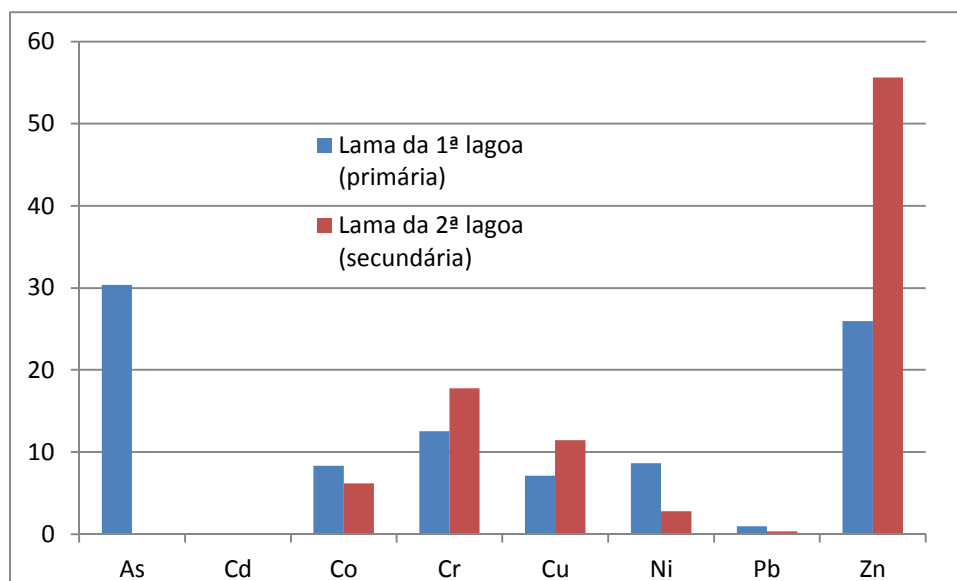


Figura 5.4 – Análise química das lamas primária e secundária

Os teores de cádmio (Cd) são baixos e sem significado tanto nas lamas como nas plantas.

Relativamente ao cobre (Cu), crómio (Cr) e zinco (Zn), o aumento do seu teor nas lamas secundárias parece indicar que eles se encontram na fase líquida, com alguma abundância, pois são facilmente incorporados na vegetação a jusante.

Os níveis de chumbo (Pb) e níquel (Ni) diminuem na segunda lama e sugerem um comportamento similar ao do arsénio (As), tanto mais que aparecem representados na vegetação (principalmente no milho).

No caso do cobalto (Co) os valores são relativamente elevados e são captados tanto pelas gramíneas como pelos juncos.

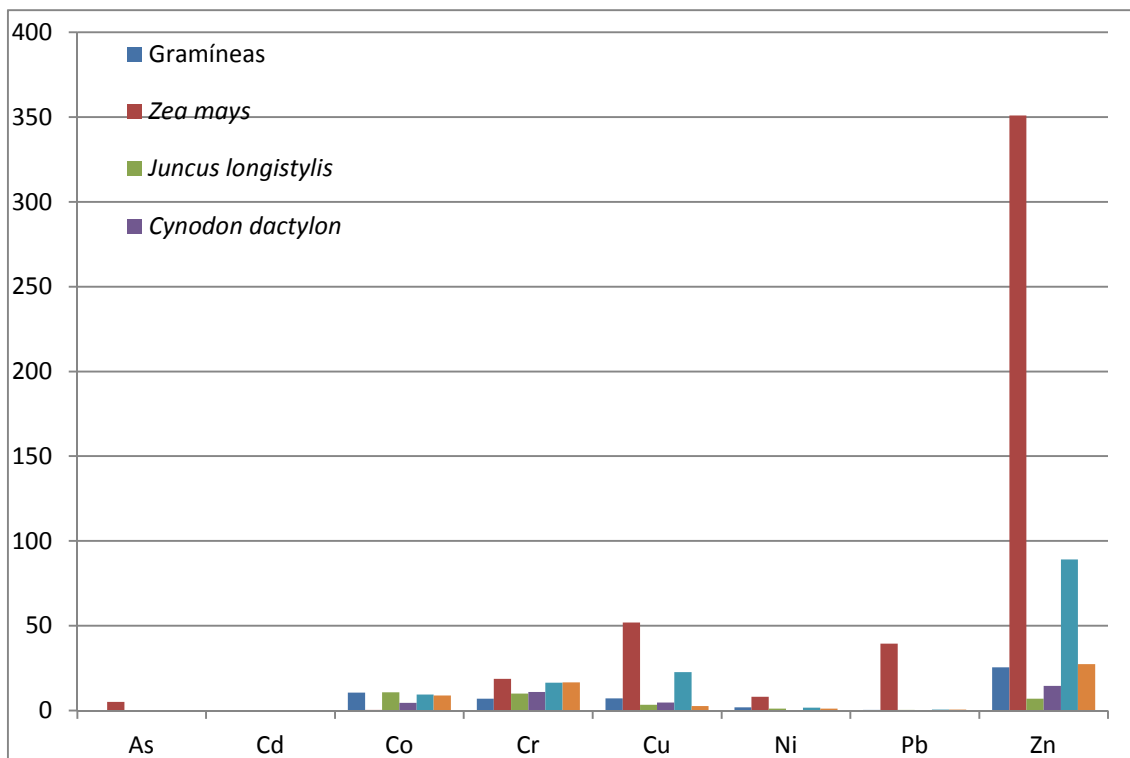


Figura 5.5 – Análise química das plantas amostradas

Foi também calculada a correlação entre os valores analisados e, na tabela abaixo, são realçados os valores considerados significativos (a vermelho significância superior a 95%, a laranja significância superior a 90% e a amarelo significância superior a 70%).

Tabela 5. 2 - Coeficiente de Correlação de Pearson (r)

| R | As | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|----|
| As | 1 | | | | | | | |
| Cd | 0.440 | 1 | | | | | | |
| Co | -0.018 | -0.057 | 1 | | | | | |
| Cr | -0.034 | 0.177 | -0.542 | 1 | | | | |
| Cu | -0.015 | 0.475 | -0.735 | 0.582 | 1 | | | |
| Ni | 0.779 | 0.543 | -0.465 | 0.320 | 0.566 | 1 | | |
| Pb | 0.034 | 0.387 | -0.803 | 0.471 | 0.924 | 0.612 | 1 | |
| Zn | -0.015 | 0.408 | -0.787 | 0.587 | 0.982 | 0.585 | 0.974 | 1 |

Desta análise pode-se observar que há correlação positiva muito significativa entre o chumbo (Pb) e o zinco (Zn), entre o cobre (Cu) e o zinco (Zn) e entre o cobre (Cu) e o chumbo (Pb).

Existe uma correlação positiva significativa entre o níquel (Ni) e o arsénio (As).

Existe também uma correlação significativa mas negativa entre o cobalto (Co) e os elementos cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn).

Portanto com base nos resultados poder-se-iam escolher as espécies vegetais mais adequadas para serem utilizadas numa *wetland* para a fitorremediação, espécies estas passíveis de serem encontradas no local, dando particular destaque a plantas como as *Thypha sp.*, *Juncus sp.*, *Myriophyllum sp.*, *Potamogeton sp.*, e o uso de cultivo em grande extensão do milho (*Zea mays*), pois, tendo em conta os resultados da análise química, estes absorvem significativas quantidade de metais, e, no caso do milho, estes metais são armazenados no caule e na folha e não chegam até ao fruto.

5.4. DIMENSIONAMENTO DE UMA WETLAND

Para a construção de uma *wetland* artificial o primeiro aspecto a ter em conta são as condições que devem ser favoráveis, e com base nestas condições deve-se criar planos e programas que facilitem a monitorização das mesmas (Campos, 1999).

Quando for necessário dimensionar e escolher parâmetros que definam a capacidade de eliminação de poluentes há que considerar o caudal do efluente, lidando deste modo com as variações do dia-a-dia e com variações sazonais. Há a necessidade, também, de se conhecerem as quantidades de contaminantes presentes no efluente para se seleccionarem os métodos mais viáveis (Lautenschlage, 2001).

Relvão (1999) afirma que dimensionar uma *wetland* não é uma operação simples, face aos parâmetros em jogo. Segundo este autor importa no entanto fornecer alguns dados ainda que aproximados, e que permitam pré-dimensionar as lagoas para que possam ser usadas sem grande risco de colmatção ou de quebra de eficiência.

Existem diversos métodos de dimensionamento de *wetlands* tais como o método empírico, método proposto por Reed, Crites e Middlebrooks, Metcalf & Eddy, Relvão, e EPA (Seco, 2008). Mas todos eles se socorrem da lei de Darcy (escoamento em meios porosos).

5.4.1. Proposta de *wetland* artificial

Tendo em conta que as águas residuais passam já por um tratamento nas lagoas das bacias, e que a *wetland* artificial vai constituir um tratamento secundário, propõe-se a utilização de um sistema misto de *wetland* (combinação de zonas de fluxo livre com zonas de fluxo sub-superficial), visto que nestas águas residuais há pouca concentração de sólidos e o fluxo é uniforme.

Para a construção do *wetland* deve-se fazer essencialmente o uso de plantas como *Juncus sp.* (juncos), *Zea mays* (milho) e *Saccharum officinarum* (cana), *Typha capensis* (tabúia, foguetes), *Potamogeton sp.*, e *Myriophyllum spicatum* (pinheirinha-da-água) porque são autóctones.



Figura 5.6 - *Potamogeton natans* (fonte: wikimedia comuns, Christian Fischer, 2005)

Teoricamente a relação comprimento-largura da *wetland* tem grande influência no regime hidráulico e resistência ao escoamento. As relações 10:1 ou maiores asseguram um escoamento tipo êmbolo mas têm tendência a transbordar na parte mais elevada da célula devido à acumulação de vegetação, principalmente nos sistemas de fluxo superficial. Relações aceitáveis são de 3:1 a 4:1 (Vega, 2012).

A remoção de material orgânico é muito importante no tratamento de efluentes residuais. Um dos modelos matemáticos que ilustra a remoção da matéria orgânica, recomendado para fluxos sub-superficial é o de reactor de fluxo contínuo com o escoamento do tipo êmbolo. Para tal, selecciona-se o teor em matéria orgânica, expressa na forma de CBO_5^{20} como o parâmetro cuja remoção determina a eficiência do tratamento. Tendo em conta que esta remoção ocorre segundo uma reacção cinética de 1ª ordem, a equação que descreve tal fenómeno é:

$$\frac{C_e}{C_a} = \exp(-k_T t_r) \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Onde:

C_e – Concentração de CBO_5^{20} do efluente – saída (mg/l)

C_a - Concentração de CBO_5^{20} do afluente – entrada (mg/l)

k_T – Constante cinética de primeira ordem (dia⁻¹)

t_r – tempo de retenção hidráulica (dia)

O valor de k_T pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$k_t = k_{20} \theta^{T-20} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Sendo:

k_{20} – constante cinética de primeira ordem (a 20°C)

T – Temperatura média de funcionamento da *wetland* artificial (°C)

θ – Constante adimensional, que varia entre 1,05 a 1,104

O tempo de retenção hidráulico (t_r) pode ser calculado com base na porosidade do meio através da seguinte expressão:

$$t_r = \frac{A_s \ln n}{Q} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Onde:

t_r - Tempo de retenção hidráulica (dias)

h – Espessura da *wetland* artificial (m)

n – Porosidade do meio (volume de vazios/volume total do leito)

Q – Caudal médio que circula através da *wetland* artificial (m³/d)

As expressões que permitem a determinação do volume e da área superficial das *wetlands* são deduzidas a partir das equações já expostas, sendo o volume útil da *wetland* (V) calculado de acordo com o caudal, a remoção de carga orgânica e a porosidade do material a empregar na *wetland*, através da expressão:

$$V = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{k_t n} \quad (\text{Eq. 5.4})$$

A área superficial de uma *wetland* (A_s), obtém-se através da equação de cálculo do volume, arbitrando um valor para a espessura da *wetland* (h), e recomendam-se valores entre 0,50 m e 1,00 m (Relvão, 1999), dependendo das espécies botânicas a utilizar :

$$A_s = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{k_t n h} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

Para o cálculo da secção transversal da *wetland* O comprimento das *wetlands* (L) pode ser expresso a partir da área superficial (A_s), necessitando antes para o efeito o conhecimento largura (L):

Assumindo uma relação entre o comprimento (C:L) de 3:1:

$$L = \sqrt{\frac{A}{3}} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

Onde:

m - declive

K_s - condutividade hidráulica (m/s)

5.4.2. Cálculo

Com base nas equações expostas pode-se fazer o dimensionamento da *wetland* artificial na bacia de oxidação de Benguela, começando por apresentar a seguinte tabela (5.4):

Tabela 5.4- Parâmetros para dimensionar a *wetland* artificial

| Parametros | Unidade | Valor | Referência |
|--|------------|-------|-------------------------------------|
| CBO_5^{20} (concentração inicial C_a) | mg/l | 5300 | Valor estimado (*) |
| CBO_5^{20} (concentração final C_e) | mg/l | 30 | Valor médio (EPA, 2004) |
| Porosidade | | 0,35 | Tabela Crites e Tchobanoglous, 1998 |
| Profundidade (h) | M | 0,9 | Estimada |
| Temperatura | (°C) | 22 | Medida de campo |
| Condutividade K_s | (m/dia) | 5 000 | Estimada |
| Declive | (%) | 1 | EPA 832-F-00-023 |
| Caudal (Q) | m^3 /dia | 1440 | Cálculo |

Um dos primeiros aspectos a ter em conta é a constante cinética de primeira ordem, k_t . Esta é muito importante pois permite mais tarde calcular a área superficial (equações 5.2 e 5.5).

$$k_t = 1,03 \times 1,06^{22-20}$$

$$k_t = 1,16d^{-1}$$

Para este calculo assumiu-se $k_{20} = 1.03$ (meio de enchimento misto) e $\theta = 1,06$ (valores apresentados em Relvão, 1999)

Com o resultado de k_t podemos saber assim qual o valor da área superficial A_s , a partir do método de Relvão(1999) partindo do seguinte:

$$A_s = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{k_t n h}$$

$$A_s = \frac{1440 \frac{m^3}{d} \times (\ln (C_a \div C_e))}{1,16d^{-1} \times 0,9m \times 0,35}$$

$$A_s = \frac{1440 \frac{m^3}{d} \times (\ln 5300 \div 30)}{0,3654 m/d}$$

$$A_s = 20390m^2, \text{ aproximadamente } 20\,000m^2$$

Há necessidade também de calcular o tempo de retenção hidráulica (t_r), que constitui o tempo médio de permanência das moléculas de água numa unidade de tratamento, partindo do seguinte:

$$t_r = \frac{A_s \cdot h \cdot n}{Q}$$

$$t_r = \frac{20000m^2(0,9m)(0,35)}{1440m^3/día}$$

$$t_r = 4,4 \text{ dias}$$

Portanto, as dimensões da largura (L) e do comprimento (C) da *wetland* serão as seguintes:

$$L = \sqrt{\frac{A}{3}} = \sqrt{\frac{20000}{3}} = 81,65 \text{ m}$$

E para o comprimento

$$C = 3 \times L = 81,65 \times 3 = 245 \text{ m}$$



Figura 5.7 – Espaço disponível para construção de *wetlands* (estão representadas duas linhas perpendiculares com 445 metros e 155 metros para escala)

Os dados apresentados anteriormente são extremamente conservadores e são necessárias algumas considerações adicionais:

1. Os valores são meramente demonstrativos do procedimento de cálculo e usaram-se os valores de CBO_5^{20} para ilustrar o procedimento de cálculo; no cálculo efectivo de valores seria necessário entrar também com valores de outros parâmetros (nitratos, concentrações de metais em solução no efluente à saída da bacia de oxidação, etc.);
2. O valor da concentração de CBO_5^{20} do afluente corresponde ao valor na entrada da bacia de oxidação. Naturalmente à saída da bacia de oxidação os valores serão significativamente inferiores. Se assumirmos uma redução de 90% no valor de CBO_5^{20} (ou seja um valor de 530 mg/l) então a área diminui para 11 000 m² (mantendo os restantes valores iguais);
3. Os cálculos assumem um fluxo sub-superficial. No entanto algumas das plantas requerem um sistema com fluxo livre (p.e. *Juncus* sp.). Assim o que efectivamente seria implementado seria um sistema misto (como se ilustra na figura 5.8): *Typha capensis* (efeito de filtragem de partículas em suspensão e de fitodegradadora); *Juncus* sp. (efeito misto); *Miriophyllum spicatum* e *Potamogeton* sp. (efeito de rizofiltração).

No entanto pode-se ilustrar a configuração da maneira de como serão distribuídas as plantas na bacia de oxidação de Benguela, mostrando assim o possível design da *wetland* artificial.

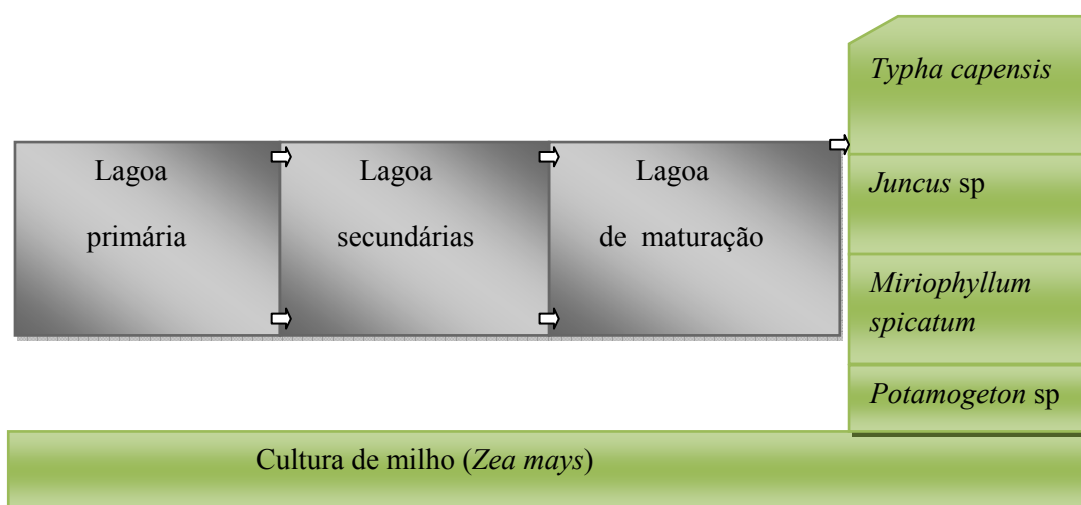


Figura 5.8. Ilustração da proposta de design da *wetland* artificial

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

O processo de tratamento das residuais em Benguela é feito por intermédio das bacias de oxidação. Nas bacias, a água passa por cinco lagoas e são tratadas de forma natural, aproveitando-se do clima favorável.

Apesar da bacia de oxidação constituir um método de tratamento de águas residuais de esgotos e que melhora em parte a qualidade do efluente resultante deste processo de tratamento, as águas resultantes deste tratamentos não apresentam os parâmetros todos desejáveis de reutilização.

Para o melhoramento da qualidade das águas residuais finais do processo de tratamento na bacia de oxidação usou-se a técnicas de fitorremediação.

A fitovolateralização, a fitoextração, a rizofiltração a fitoestabilização e a fitodegradação constituem as técnicas de fitorremediação usadas no tratamento das águas residuais nas bacias de oxidação. Este é um processo de tratamento de águas residuais com baixo custo económico e que pode ser aplicada na bacia de oxidação de Benguela dada as características favoráveis da área.

As plantas fitorremediadoras formam uma *wetland* artificial ou fito-ETARs. As *wetlands* definem-se como lagoas artificiais com a presença de plantas capazes de absolver, estabilizar, neutralizar ou volatilizar os contaminantes das águas residuais.

As análises químicas feitas em lamas das lagoas e em plantas revelam um teor elevado de concentração de certas substâncias nas águas das lagoas.

A partir de cálculos dimensionou-se a *wetland* artificial. Assumindo os valores de carga orgânica à entrada da bacia de oxidação, os resultados dos cálculos fornecem um valor para a área de implementação da *wetland* de 20.000m² aproximadamente. No entanto se usarmos valores mais realistas para as concentrações do efluente da bacia de oxidação, esse valor baixa para os 11.000m² (aproximadamente).

Por tanto a configuração final da *wetland* mostra um *design* constituído por um sistema de misto de fluxo livre e fluxo sub-superficial, com uma mistura de algumas plantas de que são exemplo *Typha carpensis*, *Juncus* sp, *Myriophyllum spicatum* e *Potamogeton* sp.

6.2. RECOMENDAÇÕES

1- Transmitir os resultados à Empresa de Águas e Saneamento e a administração municipal de Benguela encarregadas de levar adiante a gestão ambiental das águas

residuais da cidade de Benguela para que considerem os resultados da presente investigação no planeamento físico.

2- Propor à direção da Empresa de Águas e Saneamento de Benguela a plantação de árvores à volta da bacia de oxidação, formando uma cortina vegetal de forma a minimizar os seus efeitos ambientais na população adjacente.

3- Sugerir à Direção da Empresa de Águas e Saneamento de Benguela a manutenção mais rigorosa das bacias de oxidação, para o melhoramento do estado atual a que se encontram e estudos para a obtenção de dados novos acerca dos parâmetros de funcionamento das lagoas.

4- Divulgar os resultados obtidos através da participação em diferentes eventos científicos vinculados ao tema, propiciando assim o intercâmbio com outros especialistas e a transmissão das experiências.

5- Dar continuidade aos estudos, sobre tudo ligado a análise química das águas das lagoas e de outras plantas existentes no local para a obtenção de resultados mais satisfatórios.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, R. A. e Almeida, N. A. M. 2005. Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. Faculdade de Enfermagem da Universidade de Goiás-Goiania (Go-Brasil). Revista Electrónica-ISSN.1518-1944. Consultado aos: 13.12.2011. Brasil. Disponível em: <http://www.fen.ufg.br/revistas7-3/original-08htm.pag.308-318.br>.
- AMANCO, 2003. Por um mundo melhor, gestão ambiental. Sistema de Gestão Ambiental. Sistema Integrado de Gestão Amanco. Brasil. Consultado aos: 13.12.2011. Brasil. Disponível em: <http://www.meioambiente.amanco.com.br>.
- Ambientebrasil, 2008. **Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)**. Saneamento ambiental. Portal do meio ambiente. Boletim diário de notícias ambientais. Revista do meio ambiente. Brasil. Consultado aos: 11.04.2011. disponível em: <http://sanambiental.blogs.com/2008/07/estao-de-tratamento-de-aguas-residuais.html>.
- Ângelo, C., 2005. Wastewater-Águas servidas/águas residuais/efluentes. Meio ambiente. Science-meio ambiente e ecologia. Portugal. Consultado: 10.11.2011. Disponível em: <http://www.proz.com.pt>.
- ANRA, 2001, Lei de bases do sistema de educação. Lei N.º 13 / 01 de 31 de Dezembro. Assembleia Nacional da República de Angola. Luanda. Angola.
- APESB, 2006. *Relatório de actividades e contas do conselho directivo*. Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental Revista de Tecnologias do Ambiente. Portugal. Consultado aos: 02.12.2011. Disponível em:<http://www.apesb.org/fotos/gca/1205929549.relatoriodeactividades2007final.pdf>.
- APAMENTA, 2007, *Tratamento de águas residuais*. Associação Portuguesa de Empresas de Tecnologias Ambientais. Instituto Para a Qualidade na Formação. Formação Profissional Especializada. Portugal. Consultado aos: 03.11.2011. Disponível em: <http://www.apamenta.pt>.
- Bracamonte, S. C. & Domingo, L. P., (2002). *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla-La Mancha*. Real Jardim Botânico, CSIC, Madrid, 340p.
- Brooks, R. R., (1983). *Biological methods of prospecting for minerals*. New York: Wiley-Interscience,322p.
- Brochura Sobre Legislação Ambiental 19-06-1998.Capitulo II. Órgãos de gestão ambiental. Artigo16º. Avaliação de impacto ambiental. Angola.
- Cunningham,S.D. 2000. Phytostabilization of metais. In I Rask and B.O. Ensleyeds. Phytoremetion of toxic Metals: Ussing plantas to clean-up the environment. New York, Jonh Wiley e Sons Inc.,71-88 pag.

Câmara Municipal de Estarreja. 2008. Regulamento do sistema de águas residuais do conselho de Estarreja. Preâmbulo capítulo 1. Disposições gerais. Artigo 2º. Definições. Lisboa. Portugal. Portugal. Consultado: aos 20.11.2011. Disponível em: <http://www.cm-estarreja>.

Câmara Municipal de Benguela. 1964. Código de Posturas da Câmara Municipal de Benguela. Boletim Oficial de Angola. Luanda. Angola.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2008. Águas urbanas. Legislação e Planeamento para Preservação dos Mananciais. Resolução nº 20 de 18.06.06, Lei nº8935 de 07/03/89. Brasil. Consultado aos: 10.07.12 Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/aguas/urbanas>.

Carvalho, M. 2004. ETAPs e piscinas biológicas “o mesmo conceito mas aplicações tao diferentes”. Portal naturlink. Disponível em www.naturlink.pt.

CME, 2008, Regulamento do sistema de águas residuais do conselho de Estarreja. Câmara Municipal de Estarreja. Lisboa. Portugal. Consultado em 20.11.2011. Disponível em: <http://www.cm-estarreja>.

CMB, 1964. *Código de Posturas da Câmara Municipal de Benguela*. Câmara Municipal de Benguela. 1964. Boletim Oficial de Angola. Luanda. Angola.

Diniz, A.C., 1991. *Angola o meio físico e potencialidades agrárias*. Instituto para a cooperação económica (ICE). Cooperação Portuguesa. Ministério dos negócios estrangeiros, Ministério das finanças. Portugal.

Chitoma, F. 2011. *Efeitos ambientais causados pela bacia de oxidação de Benguela*. Universidade Agostinho Neto. Centro Universitário de Benguela. Professor da cadeira de avaliação de impacto ambiental/licenciado em Geografia. Consultado 18/07/2012. Benguela. Angola

Cooper,R. 2000 Comparative Pallem Morphology and ultrastructure the Callitrichceal, Americam Journal of Botany,Vol,87.N2,pp 161-175

CONAMA, 2008. Águas urbanas. Legislação e Planeamento para Preservação dos Mananciais. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18.06.06, Lei nº8935 de 07/03/89. Brasil. Consultado aos: 10.07.12 Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/aguas/urbanas>.

Costa, L. 2003. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colífagos e bacteriófagos. Revista de Biologia e Ciências da Terra, V.3, N°1, Brasil.

Cruz L. P. V., 2005. Principais técnicas de tratamento das águas residuais. Assistente do Projecto da Escola Superior de Tecnologia de Viseu pag 1. Portugal. Consultado aos: 10.07.12 Disponível em: <http://www.ipv.pt/millennium/ect7-lpvc.htm-18k>.

Daymon, J. 2008. Diagnóstico geográfico ambiental dos resíduos na vila da Baía Farta. Trabalho de fim de curso de Universidade Agostinho Neto. Centro Universitário de Benguela. Angola. Benguela.

Dinard, A. 2003. Fitorremediação. Forom de estudos Contábeis, Faculdade integradas Clorentianas, Rio Claro. São Paulo.

Diniz, A. C, (2006). Características Mesológicas de Angola. Descrição e correlação dos aspectos fisiográficos, dos solos e da vegetação das zonas agrícolas angolanas. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, 2ª Ed., Lisboa, 546 p.

EASB, 1997. Projecto de reabilitação urbana do Lobito – Benguela. Manual para funcionamento e manutenção do sistema de esgotos de Benguela. Empresa de Águas e Saneamento de Benguela. Gabinete Provincial do Plano de Benguela. Benguela. Angola.

GMA, 2008, Águas residual (ETARS) rede de drenagem. Ambiente alandroal, energia para crescer. Gabinete municipal de Alandroal. Actividade Municipal. Portugal. Consultado aos 10.06.2012. Disponível em: <http://www.cm.alandroal.pt/pt/conteudos/actividades%20municipal/ambiente>.

Galvão, C. F. (1972). Carta Geológica, Folha nº227-228, Lobito, Notícia explicativa, Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, Luanda.

GPB, 2006, Código de Posturas. Governo Provincial da Benguela. Governo Provincial da Benguela. Administração Municipal de Benguela. República de Angola.

Huambo, B. 2012. Efeitos ambientais causados pela bacia de oxidação de Benguela. Chefe da bacia de oxidação. Empresa de Água e Saneamento de Benguela. [Comunicação pessoal, 18 de Julho de 2012]. Benguela. Angola.

INIDE, 2005. Programas de geografia. Ensino secundário. 2º Ciclo. Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento da Educação. Ministério da educação. República de Angola.

João, J. Z. M., 2012. Efeitos ambientais causados pela bacia de oxidação de Benguela. Chefe do Departamento do Saneamento e Ambiente. Empresa de Águas e Saneamento de Benguela. [Comunicação pessoal, 17 de Julho de 2012]. Benguela. Angola.

Kalueio, F. N. 2007. Diagnóstico do impacto socio-económico e ambiental da instalação da futura refinaria de petróleo na cidade do Lobito. Trabalho de fim de curso

para aquisição do grau de licenciatura. Universidade Agostinho Neto. Centro Universidade de Benguela. Angola.

Lantenschelager, S. 2001. Modelagem do desempenho de Wetlands construídas. Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia hidráulica e sanitária. Escola politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo.

Leite, M. 2007. Ciência e saúde. Jornal folha. Folha online-ciência. Brasil. Consultado aos: 15.12.2012. Disponível em: <http://www.folha.vol.com.br/folha/ciencia>.

Machado, M.L.B. e Silva, A. S., 2005. A contribuição das acções antrópicas na degradação do solo e do meio ambiente. Alunas do curso de Ciências Biológicas. Bachareladas da universidade de Veiga de Almeida (UVA) Rio de Janeiro, Brasil. Consultado aos: 11.06.2012 Disponível em: <http://www.uva.br/cursos/graduacao/ccbs/revistabiologia/artigos/ecoesandro.htm>.

MAOTDR, 2006, Águas residuais urbanas. Instituto da Água. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional Relações externas/União Europeia. Portugal. Consultado 18.12.2011. Disponível em: <http://www.inag.pt/inag2004/port/r-esternas/ue/ag-res-urb/aguas-res-urb>.

MINUA, 2006. Lei das associações de defesa do ambiente. Ministério do Urbanismo e Ambiente. Lei nº3\06. Publicado na 1ª série do diário da República, nº 8. Brochura sobre legislação ambiental. 18-01-06. Luanda. Angola

MINUA, 1998. Lei de bases do ambiente. Ministério do Urbanismo e Ambiente. Lei nº5\98. Publicado na 1ª série do diário da República, nº 27.

MINUA, 2004, Decreto nº 51/04. Ministério do urbanismo e ambiente. Diário da República - 1ª série, 59, 23-07-04

MINUA, 2003. Estatuto orgânico do ministério do urbanismo e ambiente. Ministério do Urbanismo e Ambiente. Decreto-lei nº 4/03 de 9 de Maio, publicado na 1ª Série do diário da República nº 36.

Mazzuco, K. T. M. (2008). Uso da Canavalia ensiformis como Fitorremediador de Solos Contaminados por Chumbo. Tese de doutoramento, Departamento de Engenharia Química e de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis

Ngongola, S. e Anapaz, J. C. 2008. Comportamento geográfico ambiental das águas residuais do centro de cidade de Benguela. Trabalho de fim de curso. Universidade Agostinho Neto. Centro universitário de Benguela. Angola.

Neto, P. N., 1994. Os grandes problemas ambientais do mundo contemporâneo. Instituto de Estudos Avançados da Univeridade de São Paulo. Brasil. Consultado aos: 10.07.2012. Disponível em: <http://www.iea.usp.br/iea/textos/noqueira-netoambiental>.

ONU, 1992. Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos. Agenda 21 em cumprimento ao disposto no parágrafo 3 da secção I da resolução 44/228 da assembleia Geral de Nações Unidas. Brasil. Consultado 14.07.2012 Disponível em: <http://www.homologa.ambiente.sp.gov.br/agenda21/ag21.htm>.

Organização Valência. 1996. Tarifas de águas e esgotos. Reorganização institucional da empresa provincial de águas de Benguela (EPAB). Angola. Consultado aos: 10.08.2012. Disponível em: <http://www.caei.org/anexos/54.doc>.

Patrocínio, T., 2006. Tecnologias de tratamento de águas residuais urbanas (ETRAR). Ficha tecnica nº 23 tratamento de águas residuais urbanas. Edição construlink.com 2007. Brasil. Consultado aos: 30.11.2011. Disponível em: <http://www.construlink.com.etar.br>.

Portal da Editora Libreria. 2008. Reuso de agua. Empresa Libreria. Portal de Geografia. Brasil. Consultado aos: 13.06.2012. Disponível em: <http://www.libreria.com.br/produto.asp?id-produto=72RªTaquaritinga,139-sp>.

Projecto Angola. 2005. Avaliação do Impacto Ambiental, Socioeconómico e da Saúde. Legislação, normas e padrões do projecto. Brochura de informações do projecto. Portugal. Consultado aos: 18.10.07. Disponível em: <http://www.anglaing.com/projectos/documents/brochura05>.

Projecto de Reabilitação Urbana e Ambiental das cidades do Lobito e Benguela (PRUALB) (1997). Revista trimestral nº 02- 2º trimestre. Governo provincial de Benguela. Angola.

Relvão, A.1999. Sistemas de tratamento de Efluentes em Aglomerados Urbanos por Leito de Macrófitas Emergentas. Comissão de Coordenação da região do Centro.Coimbra

Salati, E.Jr.; Salati, E.; Salati, E. (1999). Wetland projects developed in Brazil. Water Science and Technology, v. 40, n.3, p.19-25.

Santos. I. A. C. P. 2004. Tratamento de águas e de águas residuais. Universidade do Minho, Braga. Centro de Engenharia Biológica. Departamento de produção e sistemas. Portugal. Consultado aos: 24.11.2011. Disponíveis em: <http://www.norg.uminho.pt/emgpf/doc/IPinho-res>.

Siegel, F. R., (2002). *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Germany. Springer.

Valentim, M. 2003. Desempenho de leitos cultivados (Construted Wetland) para tratamento de esgotos: contribuição para concepção e operação. Tese de Doutorado, FEAGRI-Faculdade de engenharia agricola,UNICAMP, Campina

Vaz, A. P.R. 2008. Avaliação de impactos ambientais nas estações de tratamento de esgoto sanitário: ETE-Lajes, Aparecida de Goiania-Go. Webartigos.com. Universidade Católica de Goiás. Brasil.Consultado aos: 20.07.2012. Disponível em: <http://www.webartigos.com/.../avaliação-de-impactos-ambientais...estações-de-tratamento-de-esgotos-sanitario.../...-32k>