

## RESUMO

Este trabalho aborda, de forma simples e objectiva, aspectos que definem a radioactividade, em particular a de origem natural, e como ela pode ser perigosa para o ser humano.

O objectivo principal foi o de avaliar os níveis de radioactividade natural em rochas de composição ígnea-metamórfico e sedimentar que afloram ao longo das margens do Rio Catumbela (Catumbela – Angola), integradas no Complexo Metamórfico, de idade pré-câmbrica, e nas Formações de Catumbela e Quissonde, do Cretácico.

Para o efeito, e com suporte num contador do tipo Geiger-Muller, mediram-se, em 116 locais, os fluxos de radiação (alfa, beta e gama), com os valores a variarem entre 27 e 109 cpm.

Os valores médios apurados foram de 88,2 cpm, 54,7 cpm e 55,8 cpm, respectivamente para o Complexo Metamórfico, a Formação Catumbela e a Formação Quissonde. As medianas têm valores similares em todos os casos, o que indica a presença de pequena variabilidade nos valores do fundo radiométrico na área estudada.

Os resultados são próximos aos que já foram obtidos em estudos similares, em território angolano ou em Portugal; as rochas carbonatadas têm valores um pouco mais elevados e, no caso do complexo ígneo-metamórfico, posicionam-se no limiar inferior do intervalo estabelecido em Portugal.

Os baixos fluxos de radiação medidos no presente estudo fazem pressupor que os riscos de exposição à radiação ionizante para as populações locais serão baixos.

## ABSTRACT

This paper addresses, in a simple and objective way, aspects related to radioactivity, in particular natural radioactivity, and shows how it can be dangerous for humans.

The main objective was to assess the levels of natural radioactivity in outcrops of igneous, metamorphic and sedimentary rocks along the banks of the River Catumbela (Catumbela - Angola); those rocks are included in the Metamorphic Complex of pre-Cambrian age, and to Catumbela and Quissonde Formations of Cretaceous age.

For this purpose, and with the help of a counter Geiger-Muller device, fluxes of radiation (alpha, beta and gamma) were measured in 116 locations, with the values ranging from 27 to 109 cpm.

The measured mean values were 88.2 cpm, 54.7 cpm and 55.8 cpm, respectively for the Metamorphic Complex and for the Catumbela and Quissonde sedimentary Formations. The median values are similar in all cases, indicating the presence of a small variation in the radiometric background in the area.

The results are close to those already obtained in similar studies in Angola or Portugal, the carbonate rocks have somewhat higher values in the Angola territory and, in the case of the igneous-metamorphic complex, are located nearby the lower end of the range established in Portuguese rocks .

The low radiation fluxes measured in this study allowed to assume that the risks of exposure to ionizing radiation for the local population will be low.

## Pensamento

Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas  
Que já têm a forma do nosso corpo  
E esquecer os nossos caminhos que nos levam sempre aos mesmos lugares

É o tempo da travessia  
E se não ousarmos fazê-la  
Teremos ficado... para sempre  
À margem de nós mesmos

Fernando Pessoa

## **Agradecimentos**

Aos meus Orientadores, Doutor Alcides Pereira e Doutor Luís Duarte, pela permanente e imediata disponibilidade que sempre existiu da sua parte ao longo da execução deste trabalho e por todas as viagens que tiveram de enfrentar em Angola.

Ao Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, especialmente ao seu Director, o Doutor Alcides Pereira, pelas condições que foram criadas para a concretização deste trabalho.

Ao Doutor José Manuel Azevedo, coordenador do Mestrado em Geociências, pelas recomendações; e também a todo o colectivo de docentes e funcionários desse Departamento.

Aos bolsheiros do Laboratório de Radioactividade Natural, Vasco Mantas e Paulo Pinto.

À Universidade Privada de Angola – UPRA, onde tudo começou. Agradeço as sucessivas disponibilidades na cedência de diversas ajudas.

Aos meus pais, de feliz memória, Bernardino Pascoal e Filomena da Costa Pascoal. A eles, o meu eterno obrigado. Devo-lhes a minha vida. Que Deus os tenha.

À memória do meu tio Padre Agostinho Veríssimo Sonjamba, que me acolheu e cuidou na altura da minha infância.

A eles, um carinho eterno.

Agradeço de modo especial à minha prestimosa esposa, Antónia Pascoal, que com o seu carinho, os seus concelhos e a sua presença, nunca deixou de acompanhar a minha formação integral, de igual modo aos filhos Nelo, Filomena, Arieth, Jorge e Evandra.

A família, particularmente aos irmãos e irmãs que sempre estiveram perto para dar força e coragem;

Ao meu primo Jorge N`dongo, pelo apoio em diversas situações;

Ao casal ZéMaria e Castro pelo seu acolhimento durante as minhas estadias no Lubango!

A eles o sempre obrigado!

À Administração municipal da Catumbela, especialmente ao seu Administrador Luís Gonzaga Lino,

À Administração comunal do Biopio, especialmente ao Vice-Administrador António João Cassinde,

Às Autoridades tradicionais das mesmas administrações, que cooperaram nas minhas pesquisas, ajudando com todo esforço que tinham ao seu alcance! (Que direi de vós, Alberto Gime e Orlando Alberto, que nos momentos mais difíceis, de tristeza e muito

mais, encontrei um amigo, um irmão e um pai para um conselho! A vós, o meu sincero e profundo obrigado.)

À Direcção da Escola do I Ciclo do Ensino Secundário José Samuel / Lobito e aos seus Directores, José Ricardo, Pedro Calongo e Benedito Catanha, pela boa disponibilidade a mim prestada,

Um especial obrigado.

Ao MSc. Soma, Arquitecta Ana, Adão Saviemba e a Maria Samuel, pelo vosso apoio.

Aos colegas que, sempre permitindo um ambiente salutar, fecundo, de cooperação e de harmonia, favoreceram os estudos que contribuíram para a conclusão deste curso.

## Índice Geral

<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. A radioatividade natural-Fundamentos Teóricos</b> .....	<b>3</b>
2.1. Introdução.....	3
2.2. Conceitos básicos .....	4
2.2.1. Desintegração radioactivas.....	4
2.2.2. Tipos de radiação – Características básicas.....	6
2.2.2.1 Radiação alfa.....	6
2.2.2.2 Radiação beta .....	7
2.2.2.3 Radiação gama.....	8
2.3. Elementos radioactivos.....	9
2.3.1.Séries radioactivas ou elementos radioactivas naturais.....	11
2.4. Fontes de radiação.....	15
2.4.1. Radioactividade de origem natural.....	15
2.4.1.1 Origem terrestre.....	15
2.4.1.1.1. Concentração de elementos radioactivos em materiais geológicas.....	15
2.4.1.1.2. O caso particular do gás radão.....	19
2.4.1.2. Origem cósmica.....	23
2.4.2. Fontes artificiais de radiação.....	24
2.5. Efeitos biológicos da radioactividade.....	24
2.6. Legislação relativa ao gás radão .....	29
<b>3.Caracterização da área em estudo</b> .....	<b>31</b>
3.1. Geográfica e Administrativa .....	31
3.2. Geomorfologia e Hidrográfica .....	32
3.3. Enquadramento geológico regional .....	33
3.4. Caracterização geológica local .....	37
3.4.1. Granitos e rochas granitóides (Granito do Lobito) .....	37
3.4.2. Complexo metamórfico .....	37
3.4.3. Unidades sedimentares da Bacia de Benguela .....	40
3.5. Tectónica regional .....	44
<b>4. Avaliação dos Níveis de Radioactividade Natural em Rochas Metamórficas e Sedimentares na Região da Catumbela</b> .....	<b>46</b>
4.1. Introdução .....	46
4.2. Métodos e técnicas .....	46
4.3. Resultados obtidos e sua discussão .....	48
<b>5. Conclusões</b> .....	<b>63</b>
<b>6. Bibliografia</b> .....	<b>64</b>

## Índice de Figuras

- Figura.2.1. Campoeléctrico ou magnético da radiação
- Figura. 2.2. Radiação Alfa (<http://www.coladaweb.com/quimica/>).
- Figura. 2.3. Radiação Beta (<http://www.coladaweb.com/quimica/>).
- Figura. 2.4. Radiação Gama (<http://www.coladaweb.com/quimica/>).
- Figura.. 2.5. Série de decaimento do  $^{238}\text{U}$  (adapt. CNEN).
- Figura. 2.6. Decaimento do  $^{235}\text{U}$  (adapt. CNEN).
- Figura. 2.7. Decaimento do  $^{232}\text{Tório}$  (adapt. CNEN).
- Figura. 2.8. Efeitos da radioactividade na pele ([www.coladaweb.com](http://www.coladaweb.com)).
- Figura. 3.1. Enquadramento da área em estudo.
- Figura .3.2 - Distribuição das altitudes (m) em Angola (CEP, 2006).
- Figura. 3.3 – Folha 227-228 da Carta Geológica de Angola, à escala 1: 100.000 (Galvão & Silva 1972).
- Figura. 3.4 - Litostratigrafia e principais eventos tectónicos e estratigráficos da Bacia do Kwanza (segundo Guiraud*et al.*, 2010).
- Figura. 3.5. Aspecto dos corpos gneisso-migmáticos e da sua organização espacial.
- Figura 3.6 – Aspectos das rochas que integram o Complexo Metamórfico
- Figura. 3.7 – Localização geográfica da Bacia de Benguela e sua relação com as bacias do Kwanza e do Namibe (*in*Quesne*et al.*, 2009).
- Figura. 3.8. Vista geral e pormenorizada da Formação Sal Maciço.
- Figura. 3.9. Pormenor de litologias pisolíticas dos calcários da Formação Binga.
- Figura. 3.10. Aspecto genérico e pormenor da Formação Twenza.
- Figura. 3.11. Formação Catumbela vista de forma genérica e em pormenor.
- Figura.3.12. Vista Geral e particular da Formação Quissonde.
- Figura. 4.1. Ilustração dos locais de estudo na carta geológica do Lobito( Galvão & Silva,1971).
- Figura. 4.2. Aspecto do detector utilizado na recolha de dados no campo.
- Figura 4.3 – Histograma da distribuição dos valores de radiação natural (em cpm) obtidos em rochas das 3 unidades estudadas.
- Figura. 4.4. Histograma da distribuição dos valores de radiação natural (em cpm) obtidos em rochas do Complexo metamórfico.
- Figura. 4.5 - Histograma da distribuição dos valores de radiação natural (em cpm) obtidos em rochas da Formação Catumbela.
- Figura.4.6- Histograma da distribuição dos valores de radiação natural (em cpm) obtidos em rochas sedimentares da Formação Quissonde.



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1. características dos tipos de radiação (<http://www.coladaweb.com/quimica/> )

Tabela 2.2. Concentrações médias de U e Th em algumas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. (Adaptado de Boyle, 1982; Faure, 1986).

Tabela 2.3. Concentrações típicas de litologias mais correntes relativamente à média da crosta continental superior; (-) inferior, ( $\approx$ ) próximo da média e (+) superior à média (adaptado de Pereira *etal.*, 2004).

Tabela 2.4. Dose por exposição à radiação gama em diferentes tipos de rochas (em mSv/ano).

Tabela 2.5. Intervalo de variação estimado para o risco relativo, ao longo da vida, de contrair cancro do pulmão devido a exposições ao radão no interior das habitações (adaptada de NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1998).

Tabela 4.1. Valores de radiação natural (em cpm) obtidos nas três unidades geológicas estudadas.

Tabela 4.2. Valores de alguns parâmetros estatísticos referentes aos dados radiométricos obtidos no conjunto das unidades estudadas.

Tabela 4.3. Valores de radiação natural (em cpm) obtidos nas rochas integradas no designado Complexo metamórfico.

Tabela 4.4. Valores de alguns parâmetros estatísticos calculados com base nos dados radiométricos obtidos no Complexo Metamórfico.

Tabela 4.5. Valores de radiação natural (em cpm) obtidos nas rochas sedimentares integradas na Formação Catumbela.

Tabela 4.6. Valores de alguns parâmetros estatísticos calculados com base nos dados radiométricos obtidos na Formação Catumbela.

Tabela 4.7. Valores de radiação natural (em cpm) obtidos nas rochas integradas na designada Formação Quissonde. M e P em metros.

Tabela 4.8. Valores de alguns parâmetros estatísticos calculados com base nos dados radiométricos obtidos na Formação Quissonde.

Tabela 4.9. Comparação entre os valores médios radiométricos (em cps) obtidos em litologias de afins em Angola e em Portugal.