



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências

A Física num Parque de Diversões

Eugénia Maria H. R. Antunes Leitão

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em
**Ensino de Física e Química no 3ºCiclo do Ensino Básico e
no Ensino Secundário**
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Sandra Soares

Covilhã, Outubro de 2011

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus filhos Maria Rita e Miguel e ao meu marido Paulo.

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à contribuição de várias pessoas a quem devo os meus mais sinceros agradecimentos.

À Professora Doutora Sandra Soares, agradeço a disponibilidade dispensada na orientação deste trabalho. A sua capacidade de análise em todas as situações, bem como o seu espírito científico foram fundamentais para o esclarecimento de todas as dúvidas surgidas.

A todos os colegas e alunos da Escola Secundária/3 de Amato Lusitano, em Castelo Branco, a disponibilidade e colaboração na realização dos trabalhos experimentais.

À minha família, em especial ao meu marido e aos meus filhos por toda a disponibilidade, compreensão e cooperação na concretização deste projecto.

Resumo

Este trabalho consiste na implementação de um Clube de Ciências, dirigido aos alunos do Ensino Secundário interessados em desenvolver as suas aptidões no campo das ciências, em especial na área da Física.

No âmbito das orientações curriculares para o ensino da Física no 12º ano de escolaridade, este Clube de Ciências estará estruturado em torno de duas das unidades curriculares, “Mecânica da Partícula” e “Física Moderna”, no qual serão realizadas actividades relacionadas com as referidas unidades.

Os temas “Radiação/Ambiente” e “Projectos em Terra”, englobam trabalhos de projecto realizados por alunos de 12º ano, em grupos de dois ou três elementos, que têm as disciplinas de Física e Biologia como opção. Os trabalhos são realizados por fases, de maneira a que os alunos aprendam a trabalhar em pequenos projectos, conduzindo a um produto final resumido num *poster* e divulgado na revista científica virtual Physics is Fun (PHUN).

Entende-se que os Clubes de Ciências são o espaço ideal para complementar o desenvolvimento das competências específicas para a literacia científica dos alunos - conhecimento, raciocínio, comunicação, atitudes -, visto que neles pode desenvolver-se com maior eficiência a implementação de experiências científicas diferenciadas que os envolverão no processo ensino-aprendizagem. Ao nível do Ensino Secundário, servem como preparação para o futuro dos alunos que pretendam ingressar no ensino superior, pois privilegiam o trabalho em grupo e a interligação de saberes.

Através da concretização de todas as actividades, pretende-se fomentar nos alunos o espírito crítico, a curiosidade científica, o pensamento criativo, os hábitos de pesquisa e a educação para a cidadania.

Palavras-chave

Radiação/Ambiente; Projectos em Terra; PHUN; Clubes de Ciência

Abstract

This work is the implementation of a Science Club addressed to the students of the secondary level who are interested on developing their skills in the field of Science, mainly in the area of Physics.

In the scope of the curricula orientations for teaching Physics on 12th year scholarship, this Science Club will be structured around two of the curricula units, “Mechanic of the Particles” and “Modern Physics”. And on this club we intend to develop activities related with these curricula units.

As an alternative, it is included the possibility that students may develop the same activities in the discipline of “Project Area” which allows them to improve their knowledge under an integrative perspective of the fundamental knowledge for their education continuity.

The areas of “Radiation/Environment” and “Projects on Earth” cover the project works done by groups of two or three 12th year students having Physics and Biology as optional disciplines. The works will be developed by phases, in order that students can learn how to work on small projects, conducting to a final result to be resumed in a *poster* and published in a scientific virtual magazine Physics is Fun (PHUN).

Science Clubs are believed to be the ideal space to complement the development of specific competences for the scientific literacy of the students - knowledge, reasoning, communication and attitude - once in them the implementation of differentiate scientific experiences that will involve the student on the teaching/learning process can be developed with efficiency. At the secondary studies level, Science Clubs serve as a preparation to students who intent access to University, once they privilege teamwork and knowledge interconnection.

Through the fulfilling of all activities we intend to foster on students critical approach, scientific curiosity, creative though, research and habits education for citizenship.

Keywords

Radiation/Environment; Projects on Earth; PHUN; Science Clubs

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 : CLUBES DE CIÊNCIA	3
1.1. A Física: Uma Proposta para Clube de Ciências	3
1.2. Enquadramento das actividades segundo as orientações curriculares para a disciplina de Física	4
1.3. Funcionamento dos atelieres no Clube de Ciências	5
1.3.1. Caracterização dos Ateliers.....	5
1.3.2. Actividades a desenvolver	6
1.3.3. Avaliação das actividades	7
CAPÍTULO 2: RADIAÇÃO / AMBIENTE	8
2.1. As radiações que nos rodeiam	8
2.2. Radiações ionizantes e não ionizantes.....	9
2.3. Fontes de radiação	11
2.3.1. Radioactividade de origem natural.....	12
2.3.1.1. Radiação cósmica.....	12
2.3.1.2. Radiação terrestre.....	13
2.3.1.3. Radioactividade tecnologicamente aumentada	15
2.3.2. Radioactividade de origem artificial	16
2.3.2.1. Testes nucleares.....	16
2.3.2.2. Produção de energia eléctrica	16
2.3.2.3. Acidentes em instalações nucleares	16
2.3.2.4. Produção e utilização de radioisótopos.....	17
2.4. Radioactividade.....	17
2.5. O núcleo atómico e a estabilidade nuclear.....	18
2.6. Emissões radioactivas	19
2.6.1. Decaimento alfa.....	20
2.6.2. Decaimento beta (β)	21
2.6.2.1. Decaimento β^-	21
2.6.2.2. Decaimento β^+ e captura electrónica	22
2.6.3. Decaimento gama (γ)	23
2.7. Lei do decaimento radioactivo.....	23
2.8. Detector de radiação ionizante: Detector de Geiger-Müller	26

2.9. Efeitos biológicos das radiações ionizantes	27
2.9.1 Classificação dos efeitos biológicos	30
2.9.1.1. Efeitos estocásticos e determinísticos	30
2.9.1.2. Efeitos imediatos e tardios.....	30
2.9.1.3. Efeitos somáticos e hereditários.....	31
2.10. Aplicações das radiações ionizantes	31
CAPÍTULO 3: RADÃO NO AMBIENTE	33
3.1. O radão	33
3.2. Exposição e risco radiológico do radão	34
3.3. Factores que influenciam a libertação do radão.....	34
3.4. O radão no interior dos edifícios.....	37
3.5. Procedimentos para reduzir o radão no interior dos edifícios.....	39
CAPÍTULO 4: ACTIVIDADE EXPERIMENTAL.....	41
4.1. A actividade experimental.....	41
4.2. A experiência	45
4.3. Os resultados experimentais.....	45
CONCLUSÃO	48
BIBLIOGRAFIA	49
ANEXO 1: Planta do Parque de Diversões	53
ANEXO 2: Tabela dos atelieres do Parque de Diversões	55
ANEXO 3: Protocolo experimental	57

INTRODUÇÃO

Com este trabalho pretende-se contribuir para a implementação de um Clube de Ciências alargado a todos os níveis de ensino, subordinado ao tema “Parque de Diversões na Escola”.

O principal objectivo é promover a autonomia dos alunos, incentivando-os a aprender fazendo e interligando saberes, ao pôr em prática os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Ciências Físico-Químicas e Física, dentro do espírito de uma das frases proferidas por Galileu Galilei (1564-1641):

“Não se pode ensinar tudo a alguém, apenas ajudá-lo a encontrar por si mesmo”

Neste trabalho apresenta-se a planta de um Parque de Diversões (anexo 1) onde constam utilidades próprias, como sejam zona de entrada, sala de primeiros socorros, bar, sala para conferências e para visionamento de filmes, instalações sanitárias e uma ampla área exterior.

No Parque estão também distribuídos diversos ateliers reservados para o desenvolvimento de actividades relacionadas com os temas: Viver Melhor na Terra, Ciência Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), abordados no 3º Ciclo do Ensino Básico, Radiação/Ambiente, Projectos em Terra, abordados no 12º ano, e Organização de Eventos.

Pretende-se que as actividades seleccionadas façam a interligação dos conhecimentos adquiridos ao longo do 3º Ciclo do Ensino Básico e do Ensino Secundário e que os alunos, dos diferentes níveis de ensino, possam trocar ideias sobre os trabalhos a realizar.

Para além dos ateliers há ainda uma zona destinada a diversões, um parque infantil, uma pista para estudo de movimentos de um carrinho telecomandado e alojamento para visitantes numa versão ecocasa.

Neste trabalho o Clube de Ciências prevê a realização de actividades, que se enquadram nos temas Radiação/Ambiente e Projectos em Terra, que permitam a compreensão de um conjunto de conceitos relacionados com a estrutura e funcionamento do sistema Terra e das suas interacções com as actividades humanas, a serem divulgadas numa revista virtual de divulgação científica: PHUN.

Este trabalho encontra-se estruturado em quatro capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma referência aos Clube de Ciências. O segundo aborda conteúdos que constam do programa de 12º ano de Física, “Núcleos atómicos e radioactividade”, fazendo o enquadramento teórico relativo ao tema Radiação/Ambiente. O terceiro é dedicado ao radão, por ter um papel de destaque no âmbito da radioactividade ambiental. Finalmente, no quarto e último capítulo apresenta-se uma actividade experimental, implementada no atelier Radiação/Ambiente do Parque de Diversões, bem como os resultados obtidos.

CAPÍTULO 1

CLUBES DE CIÊNCIA

1.1. A Física: Uma Proposta para Clube de Ciências

Os clubes de ciências podem ser a base da formação de futuros investigadores, pois incluem uma diversidade de actividades de carácter científico, e promovem a participação em escolas de verão, feiras de ciência e tecnologias juvenis e outro tipo de acontecimentos culturais e científicos.

O clube serve para os alunos tomarem contacto com questões técnicas e podem fomentar a compreensão dos saberes teóricos, para além de promover a construção do conhecimento de uma forma informal e descontraída [1].

Sendo a Física uma disciplina opcional da formação específica, os alunos desta disciplina devem ter particular interesse nesta ciência. A escolha de temas relacionados com a Física, nas actividades a desenvolver no Clube de Ciências, reforça a aprendizagem desta disciplina, pondo em destaque a sua relação com a tecnologia, com o ambiente e com a sociedade.

Os alunos de Física no 12º ano, têm no final de cada tópico de aprendizagem, temas genericamente denominados como “Física em Acção”, que sugerem actividades passíveis de serem desenvolvidas nos atelieres, como por exemplo as que se incluem no tema Projectos em Terra e que focam a interpretação de movimentos observados nos parques de diversão – Montanha Russa, Baloioço Gigante, Poço da Morte e respectivos parâmetros de segurança.

O programa curricular de Física do 12º ano contempla uma unidade temática sobre Física Moderna, onde é abordado o tema da radioactividade, num capítulo denominado “ Núcleos atómicos e radioactividade”, que vem de encontro à escolha do tema Radiação/Ambiente. Algumas das actividades desenvolvidas dentro do tema, permitirão aos alunos tomar contacto com o projecto com o mesmo nome, através de protocolos experimentais fornecido pelo Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP), fundamental para o reforço da integração da escola na sociedade socorrendo-se da cooperação entre a escola secundária e as instituições de ensino superior e laboratórios científicos.

Os projectos a desenvolver no clube, para além de estarem relacionados com os conteúdos programáticos da disciplina de Física, devem também integrar competências por eles adquiridas nas outras disciplinas do seu currículo.

Os projectos, desenvolvidos em grupos de trabalho, subordinados aos temas Radiação/Ambiente e Projectos em Terra, que dão nome a dois dos ateliers do Parque de Diversões (anexo 2), serão divulgados na revista PHUN.

1.2. Enquadramento das actividades segundo as orientações curriculares para a disciplina de Física

O programa da disciplina de Física, 12º Ano, pretende pôr em destaque as relações desta ciência com a tecnologia e o ambiente, bem como com as suas aplicações na sociedade.

Sendo a Física uma ciência experimental, a prática laboratorial está em evidência no programa, que o Ministério da Educação aprovou, e homologou em Fevereiro de 2004. Esta disciplina faz parte da componente de formação específica do curso científico-humanístico de Ciências e Tecnologias e é opcional no 12º Ano.

A Física está ligada às situações do quotidiano e como tal é a base de muitas tecnologias. Assim, o programa da disciplina preconiza um equilíbrio entre a formulação de ideias, conceitos e leis, ilustrando também como estas se aplicam nas situações do dia-a-dia, quando se refere, no final de cada tópico, à “Física em Acção”.

O trabalho prático desempenha um papel fundamental para desenvolver competências científicas, e pode ser concretizado em muitos tipos de formatos, como sejam, actividades de resolução de problemas, trabalhos laboratoriais e experimentais, actividades com programas computacionais ou com calculadoras gráficas.

O computador pode ser utilizado como uma base de dados, para pesquisas, como meio de comunicação e como instrumento no processamento de dados experimentais, e a calculadora gráfica é útil na resolução de problemas que exijam análise gráfica, na aquisição automática de dados experimentais e no seu tratamento.

As actividades práticas, desenvolvidos pelos alunos, em pequenos projectos, no Clube de Ciências, nos temas Radiação/Ambiente e Projectos em Terra, no âmbito da Física, para além da componente laboratorial ou experimental, têm que estar fundamentadas em conhecimentos teóricos.

O tema Radiação/Ambiente enquadra-se na unidade temática III, Física Moderna, no conteúdo núcleos atómicos e radioactividade.

O estudo da radioactividade, ao nível do 12º ano, justifica-se pela actualidade do tema.

As indicações metodológicas do programa sugerem:

- a utilização de um contador Geiger-Müller para detectar a radiação natural de fundo ou de fontes radioactivas;

- dar ênfase aos efeitos das radiações ionizantes, suas aplicações e avaliação das vantagens e desvantagens da sua utilização.

Em “Física em acção” é sugerido investigar os motivos de perigosidade para a saúde pública da acumulação de radão em edifícios.

O tema Projectos em Terra enquadra-se na unidade I, Mecânica da Partícula, no conteúdo movimentos de corpos sujeitos a ligações.

As indicações metodológicas do programa da disciplina, apontam para a caracterização de forças de ligação e as restrições que estas impõem ao movimento dos corpos onde estão aplicadas, salientando-se, assim, a sua importância nos movimentos que se observam nos parques de diversões e respectivos parâmetros de segurança [2]. Por esta razão realizam-se os trabalhos intitulados “Divertimentos no Parque e Saúde Pública”, incluídos no tema Projectos em Terra.

1.3. Funcionamento dos ateliers no Clube de Ciências

1.3.1. Caracterização dos Ateliers

O Parque de Diversões que dá nome ao Clube de Ciências, que se pretende implementar na Escola Secundária/3 de Amato Lusitano, em Castelo Branco, possui diversos ateliers, que são a “imagem” de um futuro local onde os alunos poderão planificar e realizar as actividades que pretendem desenvolver ao longo do ano lectivo dentro dos temas propostos.

Sugerem-se três ateliers, denominados Radiação/Ambiente, Projectos em Terra e Organização de Eventos, sendo os dois primeiros vocacionados para os trabalhos de projecto, relacionados com as unidades temáticas da Física do 12º Ano, Física Moderna e Mecânica da Partícula, enquanto o terceiro serve para a organização de actividades diversas, como mesas redondas, palestras, exposições, dias temáticos, visualização de filmes e de documentários e ainda para pesquisas na Internet de simulações úteis ao estudo da Física, capazes de complementar alguns trabalhos experimentais.

Os ateliers podem funcionar no espaço de sala de aula, caso os trabalhos sejam desenvolvidos na disciplina de Física, ou numa outra sala disponível para o funcionamento do Clube de Ciências.

No início do ano lectivo, os alunos organizam-se em grupos de dois ou três elementos e indicam o título do trabalho de projecto subordinado aos temas Radiação/Ambiente e Projectos em Terra.

Ainda nesta fase, os alunos devem entregar a planificação do seu trabalho e criar um blog de acordo com o tema que vão tratar.

Ao longo do segundo período, têm que desenvolver um relatório escrito e organizar uma palestra relacionada com os temas dos ateliers.

Na última fase do projecto, já no terceiro período, os alunos concluem o relatório escrito e elaboram, para cada tema, um poster com o qual podem concorrer ao concurso “Jovens Cientistas”, importante para o desenvolvimento da criatividade e espírito científico. Ainda nesta fase, no final do período, os alunos organizam uma sessão de exposição de posters, para a qual poderão convidar agentes exteriores à Escola quer tenham participado ou colaborado no projecto.

As fases do projecto encontram-se na tabela resumo do anexo 2, distribuídas pelos respectivos ateliers e segundo a calendarização descrita.

O Clube de Ciências, está aberto a todos os alunos interessados, independentemente da sua escolaridade e do curso que frequentam na escola, podendo, por isso, associar-se ao Clube que integra os ateliers já mencionados.

Sendo um espaço aberto a todos, pode servir para desenvolver trabalhos de formatos diversos e ser um elo de ligação entre todos os elementos da comunidade educativa, nomeadamente, pode ser um espaço que privilegia a transdisciplinaridade, pois há trabalhos que para além das pesquisas, requerem também a montagens de maquetas, a elaboração de posters, a escrita de artigos de opinião, a serem divulgados na revista PHUN, e a organização de palestras com a participação de elementos da comunidade escolar ou mesmo de agentes exteriores à escola.

O Clube de Ciências é o espaço ideal para o desenvolvimento das capacidades dos alunos e para fomentar a sua curiosidade científica podendo ser um auxílio na escolha da sua formação futura, quer em termos de prosseguimento de estudos, quer em termos da entrada na vida activa.

1.3.2. Actividades a desenvolver

No âmbito da Física Moderna, poderão ser realizados trabalhos práticos com componente experimental, suportada por protocolos experimentais como o apresentado no anexo 3 ou protocolos fornecidos pelo Laboratório de Instrumentação e Física Experimental das Partículas (LIP), um laboratório científico e técnico de utilidade pública que tem por objectivos a investigação no campo da Física Experimental de Altas Energias e da Instrumentação Associada. O LIP tem, entre outros, o projecto “Radiação Ambiente” que promove experiências nas Escolas Secundárias envolvendo radiações ionizantes, ao qual a ESAL está associada.

Os outros trabalhos de projecto, intitulados “Divertimentos no parque” e “Saúde pública: efeitos da utilização das diversões”, enquadram-se no âmbito da Física, no estudo da unidade

Mecânica da Partícula, estendendo um pouco ao estudo do Som, e também no âmbito da Biologia, ao tratarem-se questões ligadas à saúde.

A revista PHUN é um projecto de divulgação científica e como tal tem como primeiro objectivo mostrar à comunidade educativa artigos alusivos a trabalhos realizadas pelos alunos no Clube de Ciência. Pretende-se que seja um projecto dinâmico e aberto a quem estiver interessado em Ciência e queira participar. Está dividida em cadernos subordinados aos temas que dão nome aos diversos ateliers (anexo 2) e tem um editorial que em cada número, é escrito por um professor de Física, Química, Biologia, Matemática ou Geografia convidado pelos alunos membros do Clube de Ciência.

O primeiro número da revista contém dois artigos relativos a trabalhos experimentais, desenvolvidos no atelier Radiação/Ambiente, um artigo sobre os divertimentos no parque e efeitos da utilização das diversões, desenvolvido no atelier Projectos em Terra e um artigo sobre uma palestra subordinada ao tema “Como a Física pode ser divertida”, desenvolvido no atelier Organização de Eventos.

1.3.3. Avaliação das actividades

As actividades desenvolvidas no Clube de Ciências devem ser avaliadas com a elaboração de um relatório, que terá o formato do relatório oficial utilizado para todos os projectos desenvolvidos na escola, de modo a agilizar a avaliação anual do Clube de Ciência

CAPÍTULO 2

RADIAÇÃO / AMBIENTE

2.1. As radiações que nos rodeiam

Os seres humanos vivem mergulhados num mundo de radiações. A exposição permanente à radiação proveniente de fontes naturais é inevitável. Os raios cósmicos vindos do espaço exterior, os elementos radioactivos que estão presentes na crosta terrestre, na atmosfera, na água que bebemos ou mesmo nos alimentos que ingerimos, como o potássio-40, o carbono-14, o urânio-238 e o radão-222, fazem parte do quotidiano das nossas vidas.

Para além das fontes naturais de radiação, o homem está exposto às fontes de radiação por ele criadas, como os aparelhos electrónicos (televisão, telemóveis e monitores de computadores) centrais nucleares, acidentes e ensaios nucleares, meios de diagnóstico e tratamento usados em medicina (raios X, raios gama e outros) e etc [3].

Na figura 2.1 apresenta-se a distribuição média das principais fontes de radiação naturais e artificiais, onde se pode ver que a radiação proveniente de fontes naturais é percentualmente superior à radiação proveniente das fontes artificiais.

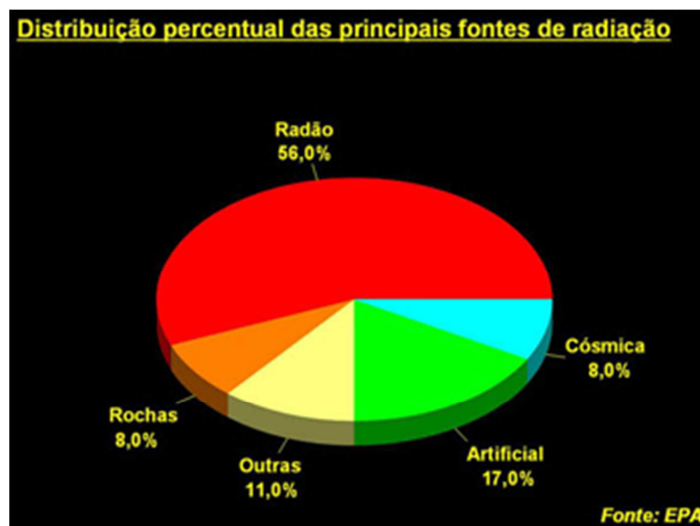


Figura 2.1.: Distribuição percentual média das principais fontes de radiação em Portugal, destacando-se as fontes de radiação naturais e em particular o gás radão [4].

As radiações naturais ou artificiais a que o Homem está continuamente sujeito são designadas radiações de fundo.

2.2. Radiações ionizantes e não ionizantes

As radiações podem ser definidas como a propagação de energia sob a forma de onda, radiação electromagnética, ou de partícula, radiação corpuscular.

De acordo com a forma como interagem com a matéria, as radiações podem ser ionizantes, se tiverem energia suficiente para excitar ou ionizar os átomos com os quais colidem transformando-os em iões, ou não ionizantes se a sua energia não for suficiente para provocar a ionização dos átomos, podendo estes apenas ficar excitados. São exemplos de radiações ionizantes algumas radiações electromagnéticas como os raios X, gama e UV longínquo, partículas electricamente carregadas como as partículas alfa, beta (electrões e positrões), prótons e partículas sem carga eléctrica, como o neutrão.

As radiações do espectro electromagnético de mais baixa energia são exemplos de radiações não ionizantes - as microondas, a luz visível, ondas de rádio, etc [5].

O espectro electromagnético representa o conjunto de todas as formas de energia radiante (ondas de rádio e de TV, luz solar, raios X e gama, etc) do Universo. Em função da frequência e do comprimento de onda das ondas electromagnéticas, podem ser definidas várias ondas como indicado na figura 2.2.

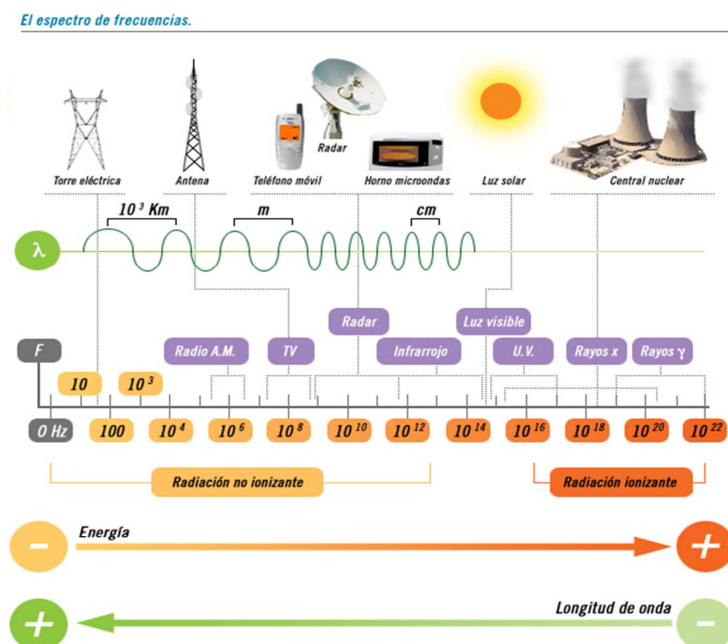


Figura 2.2.: Espectro electromagnético [6].

As radiações ionizantes, quer se comportem como partículas ou como radiações electromagnéticas, transferem energia para os materiais com os quais interagem. Os danos ou

alterações provocadas pelas radiações estão relacionadas com a quantidade de energia transferida.

Para a mesma energia, os diferentes tipos de radiação apresentam diferentes poderes de penetração. Na figura 4.3. está representado o poder de penetração das radiações ionizantes alfa, α , beta, β , X e gama, γ , e neutrões.

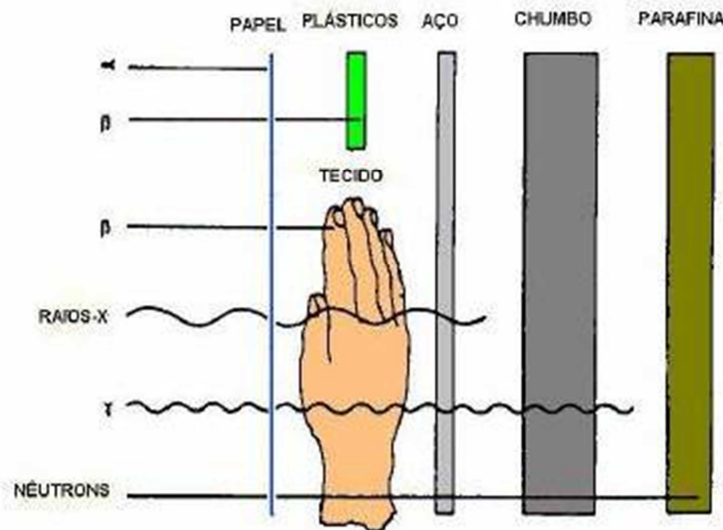


Figura 2.3.: Poder penetrante das radiações α , β , X, γ e neutrões [7].

As radiações α são as de maior carga eléctrica, interagindo facilmente com a matéria, e como são as mais pesadas são, por isso, as mais lentas. A sua velocidade relativamente baixa, determina um tempo de interacção grande, o que contribui para o seu poder de ionização elevado. Como no processo de ionização as radiações α perdem parte da sua energia, a sua velocidade diminui e, por isso, o seu poder de penetração é baixo. São facilmente absorvidas por uma folha de papel e penetram apenas alguns centímetros no ar. No corpo humano são detidas pela camada de células mortas da pele.

As radiações β têm menor carga eléctrica, e maior velocidade do que as radiações α , apresentando, por isso, menor poder ionizante e maior poder de penetração. Placas de alumínio, com 3mm de espessura, são suficientes para as absorver e no ar a distância que percorrem é cerca de 1m. As radiações X e γ , devido à ausência da massa e de carga eléctrica, têm um poder de penetração maior do que as anteriores e atravessam grandes distâncias sem serem absorvidas, sendo os raios X menos penetrantes do que os raios γ . O seu poder ionizante é fraco e a absorção destas radiações consegue-se com placas de chumbo, mais espessas no caso das radiações γ . O corpo humano é facilmente atravessado por estas radiações [4].

Os neutrões, partículas electricamente neutras, são de todas as radiações ionizantes as que têm maior poder de penetração.

Na tabela 2.1. resumem-se algumas propriedades das radiações ionizantes.

Tabela 2.1: Algumas propriedades das radiações ionizantes [7] [8] e [9].

Radiação Ionizante	Natureza	Massa (u)	Carga eléctrica	Velocidade (m/s)	Poder penetrante	Poder ionizante
Partículas α	Partícula (${}^4_2\text{He}^{2+}$)	4	+2	3×10^7	Fraco	Forte
Partículas β	Partícula (electrões ou positrões)	$5,5 \times 10^{-4}$	+1 ou -1	$< 2,7 \times 10^8$	Bastante penetrante	Fraco
Raios X	Onda electromagnética (energia elevada)	0	0	3×10^8	Altamente penetrante	Muito fraco
Raios γ	Onda electromagnética (energia elevada)	0	0	3×10^8	Altamente penetrante	Muito fraco
Neutrão	Partícula (electricamente neutra)	1	0	$< 3 \times 10^7$	Altamente penetrante	Variável

2.3. Fontes de radiação

Como já foi dito a radioactividade ambiente pode ter origem natural ou artificial e resulta, basicamente, de quatro fontes principais:

- formação de radionuclídeos cosmogénicos, devido à interacção da radiação cósmica com a atmosfera, como é o caso do carbono-14;
- radioactividade natural aumentada tecnologicamente devido à utilização de matérias primas que contêm material radioactivo;
- libertação de radão para a atmosfera;

- radionuclídeos artificiais resultantes de actividades antropogénicas, como por exemplo, testes nucleares, produção de energia eléctrica por via nuclear e outras.

2.3.1. Radioactividade de origem natural

2.3.1.1. Radiação cósmica

Os raios cósmicos, são compostos por partículas altamente energéticas, provenientes do espaço exterior que interagem com os gases atmosféricos, formando nuclídeos cosmogénicos. Ao colidirem com os átomos da atmosfera, geram neutrões e protões que interagem com núcleos leves de carbono, azoto e oxigénio, originando novos elementos (figura 2.4.).

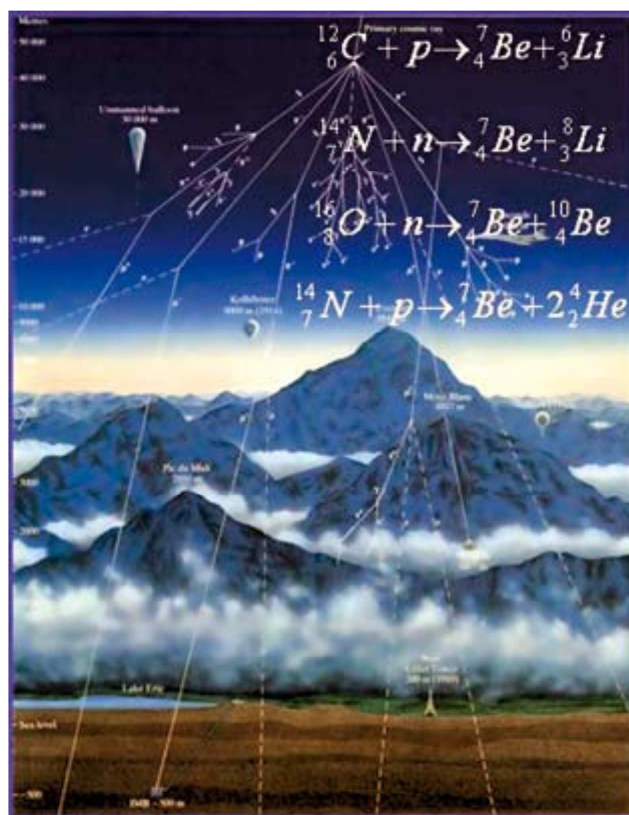


Figura 2.4.: Interação da radiação cósmica com os gases da atmosfera originando novos elementos como, por exemplo, o berílio (${}^7\text{Be}$) [10].

Os radionuclídeos que apresentam taxas de produção mais elevadas e, portanto, os mais significativos do ponto de vista de exposição para o ser humano são o trítio, ${}^3\text{H}$, o berílio-7, ${}^7\text{Be}$, o carbono-14, ${}^{14}\text{C}$, e o sódio-22, ${}^{22}\text{Na}$ [10]. O trítio (${}^3\text{H}$) entra directamente no ciclo da água na forma de água tritiada, o ${}^{14}\text{C}$ participa nos processos de transferência entre a atmosfera e a biosfera na forma de ${}^{14}\text{CO}_2$ e os radionuclídeos ${}^7\text{Be}$ e ${}^{22}\text{Na}$ associam-se às partículas de aerossol da atmosfera.

Uma parte da radiação cósmica não atinge a superfície da Terra, ficando bloqueada pela atmosfera e pelo campo magnético terrestre, responsável pelo desvio de algumas das radiações, menos intensas na região equatorial do que nos pólos. A radiação cósmica que recebemos depende também da altitude, aumentando consideravelmente para as regiões equatoriais de maior altitude, pois a camada de ar que actua como protecção é menos espessa. Por exemplo, a dose de radiação à altitude de cruzeiro de um avião a jacto é cerca de 150 vezes superior à dose de radiação ao nível do mar [3].

2.3.1.2. Radiação terrestre

A Terra é composta por rochas que contêm alguns elementos químicos com isótopos radioactivos que contribuem significativamente para a radioactividade atmosférica, devido à formação de gases, como por exemplo o radão, que podem ser libertados pela superfície da Terra.

O radão apresenta três isótopos principais: ^{219}Rn , ^{220}Rn e ^{222}Rn gerados nas cadeias naturais de decaimento do actínio, do tório e o urânio, respectivamente, mostradas nas figuras 2.5., 2.6. e 2.7.

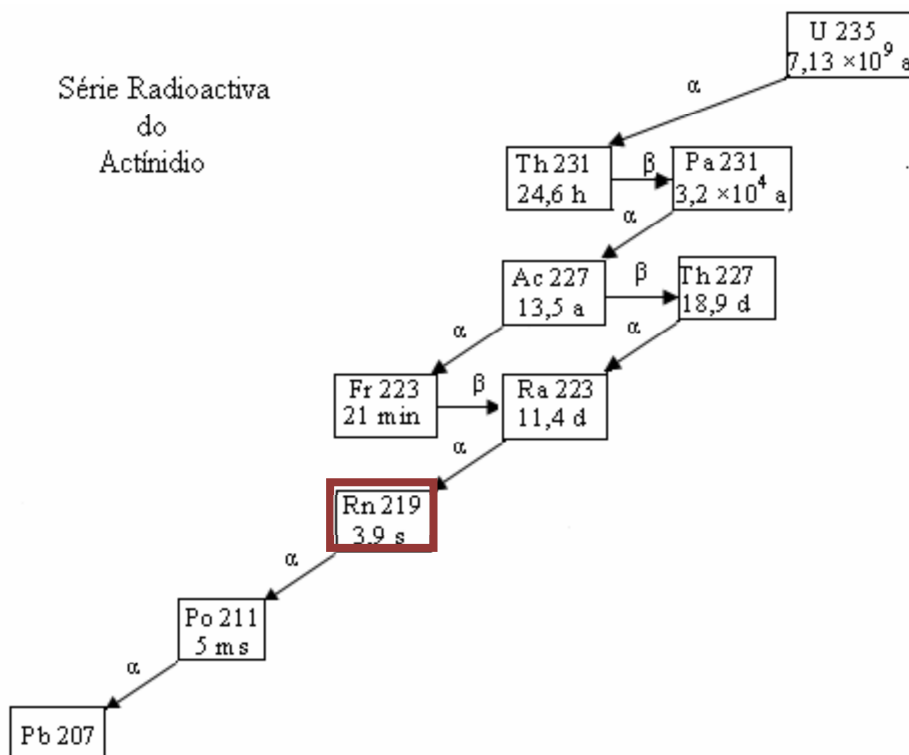


Figura 2.5.: Série radioactiva do Actínio [11].

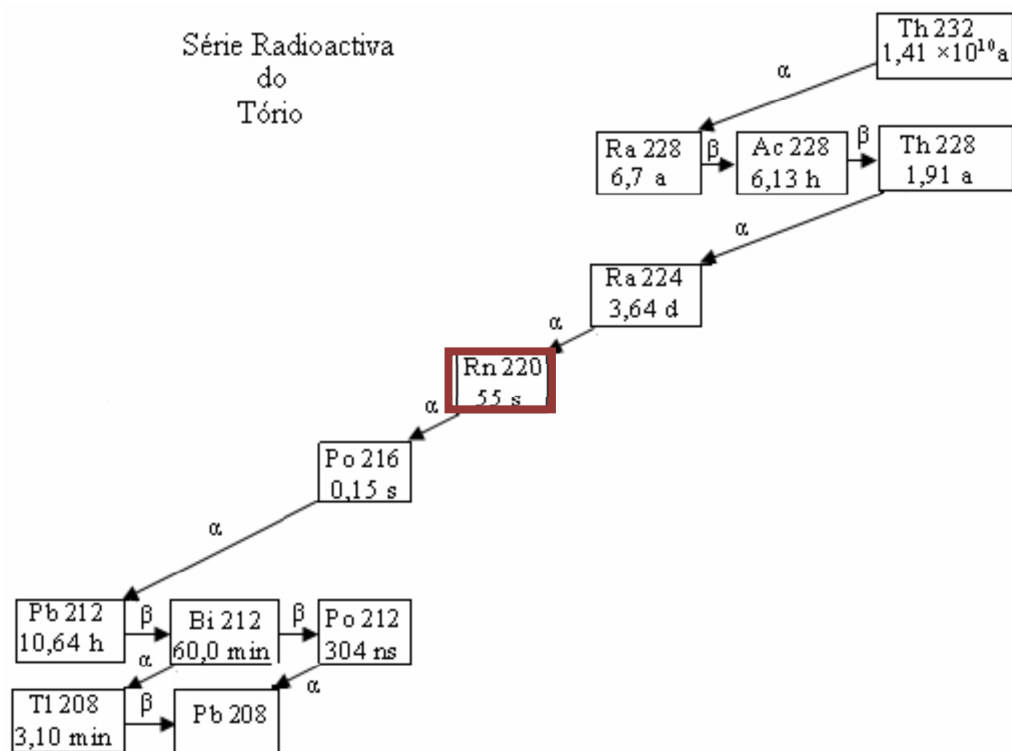


Figura 2.6.: Série radioactiva do Tório [11]

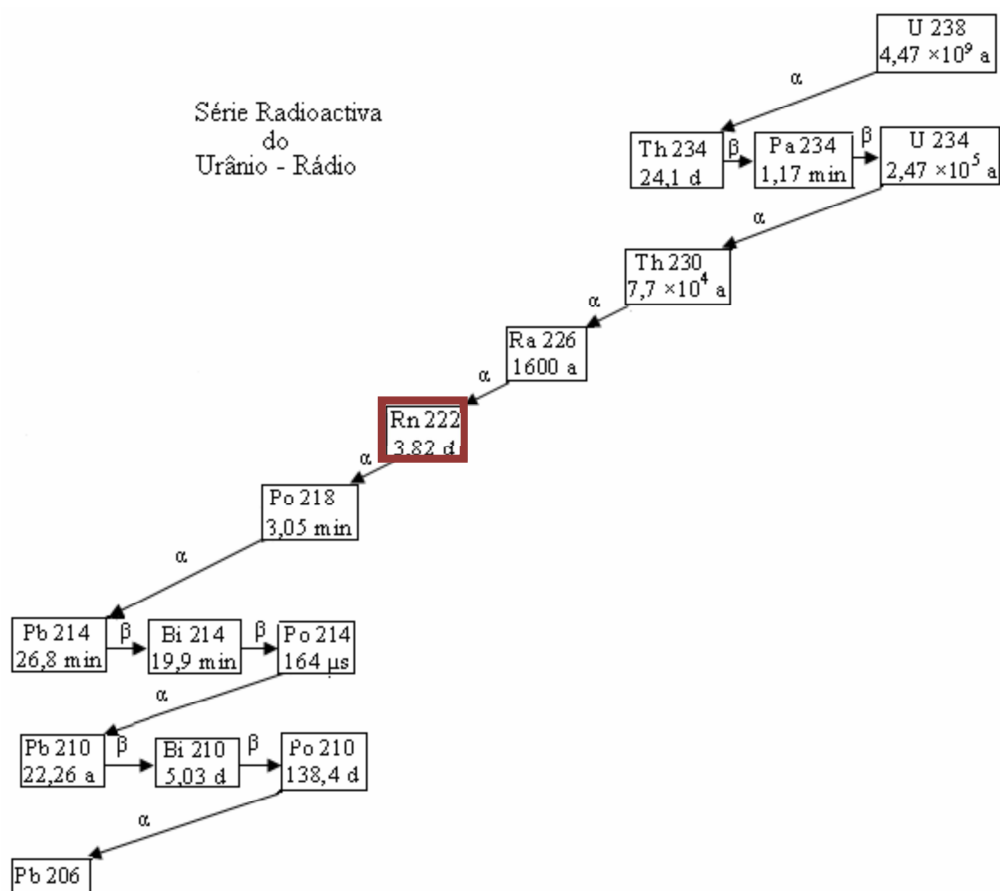


Figura 2.7.: Série radioactiva do Urânio - Rádio [11].

O ^{222}Rn , um gás inerte com uma meia-vida de 3,8 dias, tem uma probabilidade elevada de se difundir através das microfendas das rochas, e dos solos, e atingir a atmosfera, antes de decair nos seus descendentes sólidos (chumbo, bismuto e polónio). Pelo contrário o ^{219}Rn e o ^{220}Rn , com meia-vida de 3,9s e 55s, respectivamente, apresentam menor probabilidade de se difundirem para a atmosfera antes de decaírem.

Os descendentes sólidos resultantes do decaimento do radão que atingem a atmosfera podem ligar-se a partículas de poeira e gotas de água, ficando sujeitos aos mesmos processos em que estas partículas intervêm.

2.3.1.3. Radioactividade tecnologicamente aumentada

A radioactividade ambiente não é apenas o resultado das actividades que envolvem o uso do combustível nuclear, mas também a outras actividades tecnológicas.

As actividades não nucleares que mais contribuem para a emissão dos radionuclídeos naturais são a indústria dos fosfatos, a produção de energia eléctrica, em particular as centrais térmicas a carvão, e a mineração [12].

Os isótopos radioactivos naturais como o ^{40}K , e radionuclídeos pertencentes às séries radioactivas do urânio e do tório, o ^{226}Ra e o ^{228}Ra , encontram-se agregados aos fosfatos usados intensamente na indústria de fertilizantes fosfatados. Estes fertilizantes largamente utilizados nas actividades agrícolas podem aumentar a radioactividade dos solos [13].

Aqueles radioisótopos naturais encontram-se também no carvão, em quantidades equivalentes às que se encontram nos solos. A combustão do carvão provoca um aumento da concentração dos radioisótopos naturais na atmosfera, pois durante o processo são emitidos, a nível global, cerca de 9000 toneladas de tório e 3600 toneladas de urânio, onde se incluem 24 toneladas de ^{235}U [14].



Figura 2.8.: Vista das escombrelas da Mina de Vale d'Arca

A utilização dada às cinzas resultantes da combustão do carvão, como a produção de cimento e asfalto, é uma outra potencial via de exposição à radiação emitida pelos radionuclídeos.

A extracção e tratamento do minério de urânio, usado como combustível nuclear, constitui também uma actividade perturbadora dos níveis de radioactividade natural. Na figura 2.8. representa-se uma vista geral das escombrelas da Mina de Vale d'Arca

2.3.2. Radioactividade de origem artificial

Na distribuição percentual das principais fontes de radiação - Figura 2.1 - cerca de 17% correspondem a fontes de origem artificial. Estas são essencialmente provenientes de testes nucleares, produção de energia eléctrica por via nuclear, acidentes em instalações nucleares e produção e utilização de radioisótopos.

2.3.2.1. Testes nucleares

Os testes nucleares foram a principal fonte de radionuclídeos artificiais no ambiente.

O primeiro teste nuclear na atmosfera ocorreu em 1945, após o que se seguiram muitos outros com especial frequência nos anos 50. A partir de 1963, a realização de testes nucleares diminuiu significativamente devido à assinatura do Tratado de Abolição dos Testes Nucleares que proibia a realização de testes subaquáticos e na atmosfera, continuando a realizarem-se testes no subsolo. Só em 1996 entrou em vigor o Tratado de Proibição Total de Ensaios Nucleares.

As maiores emissões de radionuclídeos resultam de testes efectuados na atmosfera, em que se libertam entre 90 a 100% das partículas e a totalidade dos gases. No caso dos ensaios subaquáticos e no subsolo é considerável a quantidade de gases emitidos, sendo quase total a contenção de partículas [15].

2.3.2.2. Produção de energia eléctrica

As emissões para o ambiente provenientes de reactores nucleares em normal funcionamento são, em geral, reduzidas. Os derrames de uma central nuclear são expelidos essencialmente sob a forma de gás pela chaminé da central, sendo a maioria constituídos por vapor de água. Os resíduos radioactivos produzidos nas centrais nucleares são manipulados, transportados e armazenados sob condições de segurança extrema, pois a contaminação do meio ambiente pode conduzir a alterações muito graves nos ecossistemas[9].

2.3.2.3. Acidentes em instalações nucleares

A ocorrência de acidentes nucleares em instalações militares e civis é uma realidade. A consequência deste tipo de acidentes é a libertação de quantidades significativas de radionuclídeos artificiais para a atmosfera, nalguns casos ao nível da estratosfera facilitando o seu transporte a longas distâncias.

Os três acidentes mais graves envolvendo reactores nucleares em instalações civis foram o acidente de Three Mile Island, em 1979 nos Estados Unidos, o acidente de Chernobyl, em 1986 na Ucrânia e, recentemente, o acidente de Fukushima, no Japão em Março de 2011.

No caso de Three Mile Island foram libertados para a atmosfera ^{133}Xe e ^{131}I , isótopos radioactivos de xénon e iodo.

No acidente de Chernobyl e Fukushima foram emitidos para a atmosfera iodo-131, ^{131}I , céσιο-137, ^{137}Cs , e céσιο-134, ^{134}Cs , estimando-se que no caso de Chernobyl cerca de 34% do ^{131}I e 56% do ^{137}Cs tenham sido transportados e depositados a longas distâncias do acidente. Outros radionucléidos originados em Chernobyl, como o telúrio-132, ^{132}Te , o bário-140, ^{140}Ba , e outros, que foram detectados em diferentes países [10].

2.3.2.4. Produção e utilização de radioisótopos

A indústria, a medicina e algumas áreas de investigação utilizam os radioisótopos em larga escala. A exposição a estes radioisótopos pode acontecer devido às quantidades, muito reduzidas, emitidas na fase de produção e, posteriormente, na fase da utilização.

A componente mais importante da globalidade da dose para a população é proveniente do diagnóstico e tratamento do cancro com nucléidos radioactivos como o cobalto-60, o fósforo-32, o iodo-131 e outros. Por exemplo, nos países mais desenvolvidos cerca de 20% das terapias com iodo-131 são utilizadas para tratamento de cancro da tiróide e 80% para tratamento de doentes com hipertiroidismo [16].

2.4. Radioactividade

A radioactividade é a capacidade que certos átomos possuem de emitir radiação electromagnética ou partículas, pelo facto dos seus núcleos serem instáveis e com o objectivo de adquirir maior estabilidade.

A descoberta da radioactividade deve-se a Henry Becquerel, quando, em 1896, estudava a emissão e a absorção de luz pela matéria e, acidentalmente, observou que sais de urânio emitiam uma radiação invisível capaz de impressionar placas fotográficas protegidas. Ainda no mesmo ano, Becquerel demonstrou que as radiações emitidas pelos sais de urânio eram capazes de ionizar gases, tornando-os condutores de corrente eléctrica. Anos mais tarde, esta propriedade das radiações foi utilizada por Geiger para a criação do contador de Geiger.

Embora se deva a Becquerel a descoberta da radioactividade, as investigações mais relevantes sobre este fenómeno foram realizadas por Marie Curie e Pierre Curie.

Em 1898, Marie Curie descobriu, em Paris, que o elemento tório também era radioactivo. Ainda no mesmo ano, juntamente com o seu marido, Pierre Curie, descobriu, num mineral de óxido de urânio, dois novos elementos radioactivos, o polónio e o rádio. Foram os Curie que

designaram este fenómeno de emissão espontânea de radiação, por parte de certos núcleos, por radioactividade [8].

2.5. O núcleo atómico e a estabilidade nuclear

O núcleo apesar de ocupar uma pequena porção do volume total do átomo, contém a maior parte da massa do átomo devido à presença dos protões e neutrões.

A estabilidade do núcleo é determinada pela razão neutrão-protão (n/p). Para átomos estáveis de elementos de baixo número atómico, a razão n/p é aproximadamente igual a um. À medida que o número atómico aumenta a razão n/p dos núcleos estáveis torna-se superior a um. Este comportamento deve-se à necessidade de um número de neutrões cada vez maior para compensar as repulsões electrostáticas resultantes de um número cada vez maior de protões.

No gráfico da figura 2.9. está representado o número de neutrões em função do número de protões em vários isótopos.

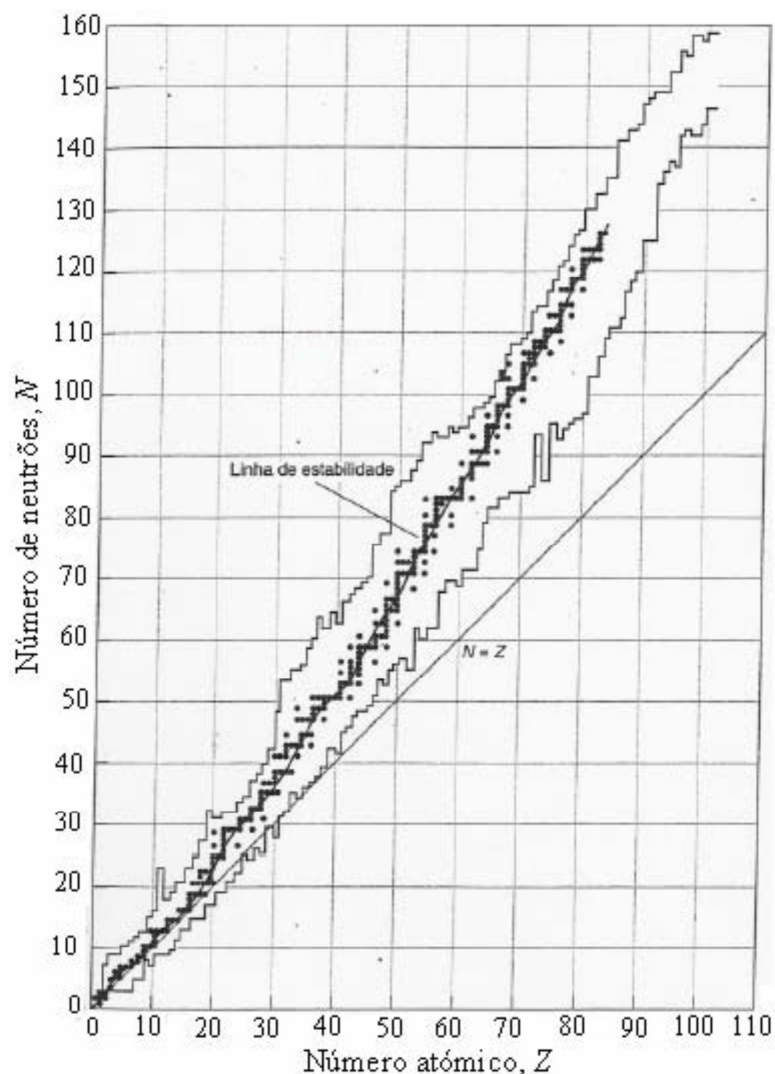


Figura 2.9.: Gráfico que relaciona a estabilidade dos núcleos com o número de prótons e o número de neutrões [17].

A linha recta representa os pontos em que a razão n/p é igual a 1 e, portanto, os núcleos em que o número de neutrões é igual ao número de prótons. Para os núcleos pesados a linha de estabilidade afasta-se desta recta e inclui-se na região ou faixa de estabilidade onde se encontram os núcleos estáveis. Os núcleos radioactivos encontram-se fora daquela faixa. Acima e abaixo da faixa de estabilidade os núcleos têm razões n/p superiores e inferiores, respectivamente, aos núcleos, com igual número atômico, do interior da faixa. Para baixar ou aumentar a razão n/p e, conseqüentemente, descer ou subir no sentido da faixa de estabilidade, terão que ocorrer emissões radioactivas.

2.6. Emissões radioactivas

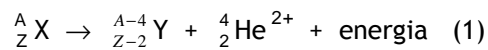
Como sugere o gráfico da figura 2.9., a maior parte dos nuclídeos conhecidos são instáveis, ou seja, radioactivos, transformando-se espontaneamente em nuclídeos mais estáveis, com

emissão de partículas e/ou radiação electromagnética, de forma a aproximarem-se da faixa de estabilidade. Assim, este processo que conduz à estabilidade dos núcleos acontece por emissões ou decaimentos radioactivos [8].

2.6.1. Decaimento alfa

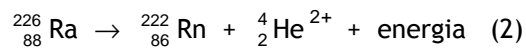
Neste decaimento um núcleo emite uma partícula alfa α , ou seja, um núcleo de hélio

(${}^4_2\text{He}^{2+}$), um gás nobre, pois não reage quimicamente com os demais elementos. O núcleo formado tem assim menos dois prótons e dois neutrões do que o núcleo original. Este decaimento pode ser representado através da equação:



A emissão α ocorre nos elementos com número atómico elevado, nos quais a força nuclear forte não consegue manter os prótons e os neutrões unidos.

Um exemplo de um decaimento α é o do rádio-226, traduzido pela equação:



e representado na figura 2.10.

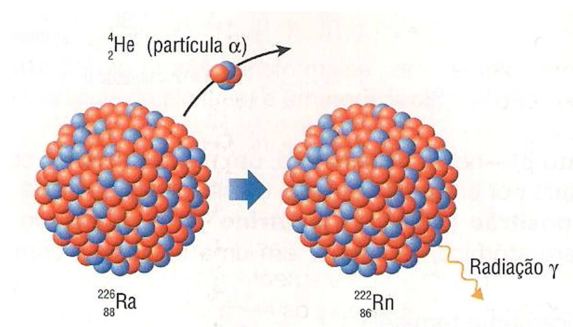


Figura 2.10. : Decaimento α do ${}^{226}\text{Ra}$ [8].

A radiação γ é emitida na passagem do ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ do estado excitado ao estado fundamental.

2.6.2. Decaimento beta (β)

Este processo ocorre com núcleos que possuem um número excessivo ou insuficiente de neutrões para serem estáveis. A relação entre o número de prótons e de neutrões provoca três tipos de decaimento radioactivo β : decaimento β^- , decaimento β^+ ou captura electrónica.

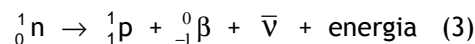
Neste tipo de decaimento o número de massa, A, permanece constante, enquanto que o número atómico, Z, varia de uma unidade.

2.6.2.1. Decaimento β^-

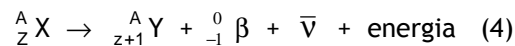
Os núcleos com um grande número de neutrões quando comparado com o número de prótons tendem a decair por emissão β^- e Z aumenta uma unidade.

Neste processo há a transformação de um neutrão em próton, com emissão de um electrão

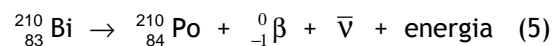
(${}^0_{-1}\beta$), do interior do núcleo, e de um antineutrino, $\bar{\nu}$, [8]:



O processo de decaimento pode ser representado através da equação:



Um exemplo de um decaimento β^- é o do bismuto-210:



que se encontra representado na figura 2.11.

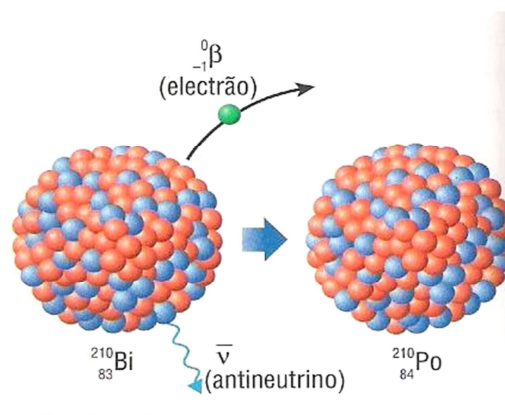
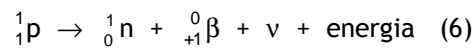


Figura 2.11. : Decaimento β^- do ^{210}Bi [8].

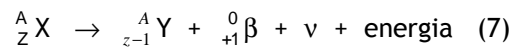
2.6.2.2. Decaimento β^+ e captura electrónica

Os núcleos leves que contêm um excesso de prótons quando comparado com o número de neutrões tendem a decair por emissão β^+ ou captura electrónica e Z diminui de uma unidade.

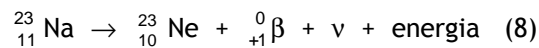
No decaimento β^+ há a transformação de um próton em neutrão, com emissão de um positrão (${}^0_{+1}\beta$), do interior do núcleo, e de um neutrino, ν , [8]:



O processo de decaimento pode ser representado através da equação:



Um exemplo de um processo de decaimento β^+ é:



que a figura 2.12 pretende representar.

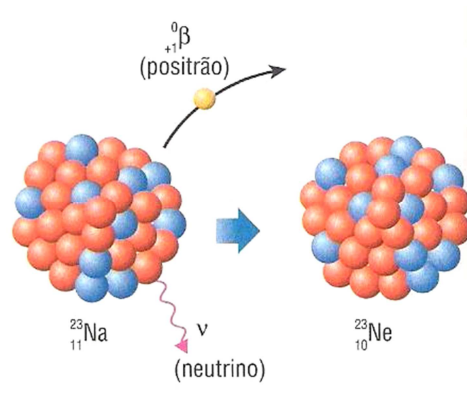
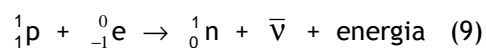
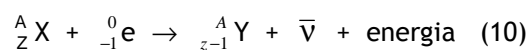


Figura 2.12. : Decaimento β^+ do ^{23}Na [8].

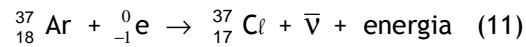
Na captura electrónica um electrão, geralmente da orbital 1s, é capturado pelo núcleo combinando-se com um próton para formar um neutrão [8]:



O processo de captura electrónica pode ser representado através da equação:

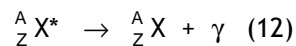


Um exemplo de um processo de captura electrónica é:



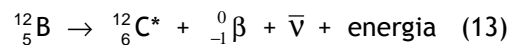
2.6.3. Decaimento gama (γ)

No decaimento γ , um núcleo radioactivo num estado excitado decai para um estado de menor energia emitindo um fóton (radiação γ), sem que haja alteração nem do número atómico nem do número de massa [8]:

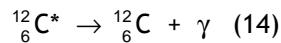


Os decaimentos α e β são normalmente acompanhados de emissão de radiação γ .

Por exemplo o decaimento β^- do ${}_{5}^{12}\text{B}$ ocorre com produção de ${}_{6}^{12}\text{C}^*$:



No regresso ao estado fundamental o núcleo de carbono-12 excitado (${}_{6}^{12}\text{C}^*$) emite um fóton γ :



Um exemplo de um decaimento α seguindo de um decaimento γ foi apresentado na figura 2.10.

2.7. Lei do decaimento radioactivo

Numa amostra radioactiva existe um número muito elevado de núcleos radioactivos, daí que o seu decaimento pode ser estudado por métodos estatísticos, medindo-se a probabilidade de um núcleo decair por unidade de tempo.

A emissão de radiação pelos núcleos decresce exponencialmente com o tempo de acordo com a **Lei do decaimento radioactivo** :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (15)$$

onde N é o número de átomos de um radionuclídeo presentes na amostra num dado instante, N_0 é o número inicial de átomos de um radionuclídeo presentes na amostra ($t = 0s$) e λ é a constante de decaimento. Esta constante, λ , é uma característica da substância e indica a probabilidade de ocorrer um dado processo radioactivo, por unidade de tempo.

Na figura 2.13. está representada a curva exponencial da lei do decaimento radioactivo.

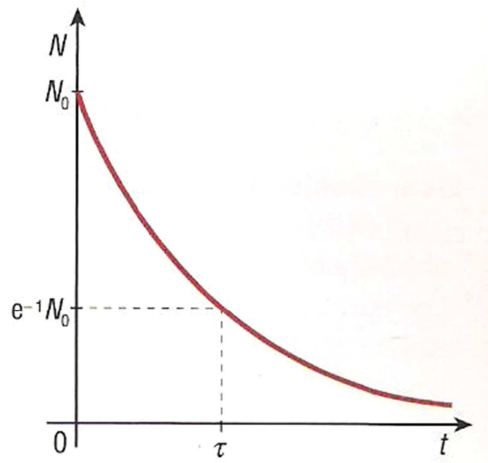


Figura 2.13.: Decaimento exponencial de um núcleo radioactivo, onde está assinalado o tempo médio de vida, τ , que é o inverso da constante de decaimento, λ [8].

O tempo de meia vida, ou período de decaimento, $t_{1/2}$, é o tempo que decorre até que o número de núcleos radioactivos seja reduzido a metade do seu valor inicial, ou seja, $\frac{N_0}{2}$. No gráfico da figura 2.14. está representado o decaimento de um núcleo radioactivo em função do tempo

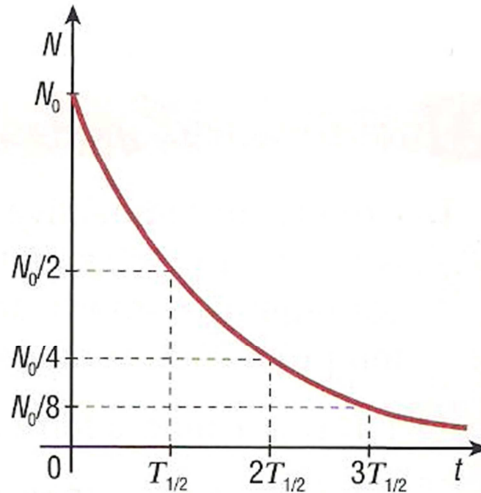


Figura 2.14.: Decaimento exponencial de um núcleo radioativo, onde se assinala o tempo de meia-vida, $t_{1/2}$ [8].

Da equação (15) verifica-se que:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \Leftrightarrow e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

Aplicando o logaritmo neperiano a ambos os membros desta igualdade, vem:

$$\ln e^{-\lambda t_{1/2}} = \ln \frac{1}{2} \Leftrightarrow -\lambda t_{1/2} = \ln \frac{1}{2}$$

e assim o tempo de meia-vida é dado pela expressão

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (16)$$

ou ainda

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Os tempos de meia-vida dos núcleos radioativos variam desde valores muito pequenos (inferiores a $1 \mu\text{s}$) até valores muito grandes (superiores a 10^{16} anos).

A tabela 2.2. mostra os tempos de meia-vida de alguns nuclídeos radioativos.

Tabela 2.2.: Tempos de meia-vida de alguns núclídeos radioactivos [8].

Núclídeos	$t_{1/2}$
$^{235}_{92}\text{U}$ (natural)	$7,1 \times 10^8$ anos
$^{238}_{92}\text{U}$ (natural)	$4,5 \times 10^9$ anos
$^{14}_6\text{C}$ (produzido por raios cósmicos)	$5,7 \times 10^3$ anos
^3_1H (produzido por raios cósmicos)	12,5 anos
$^{40}_{19}\text{K}$ (natural)	$1,26 \times 10^9$ anos
$^{131}_{53}\text{I}$ (artificial)	8 dias
$^{214}_{84}\text{Po}$ (artificial)	$1,6 \times 10^{-4}$ s

A actividade, A , de uma amostra radioactiva é o número de decaimentos por unidade de tempo, é então uma medida da rapidez com que a desintegração ocorre, definida pela expressão:

$$A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (17)$$

A actividade de um radionúclídeo mede-se em curie (ci). Diz-se que uma amostra tem uma actividade de 1ci, quando são produzidas $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo. No entanto, a unidade SI para a quantificação da actividade de um radionúclídeo é o becquerel, Bq, que corresponde a uma desintegração por segundo [8].

2.8. Detector de radiação ionizante: Detector de Geiger-Müller

A radiação ionizante pode ser detectada usando um detector (ou contador) de Geiger-Müller. Este equipamento efectua a contagem do número de partículas α , β , fotões X e γ que chegam até ele, mas não permite medir a energia das radiações. O principio físico consiste essencialmente em converter a radiação em energia eléctrica, para posterior medição.

O corpo do contador Geiger-Müller é em geral constituído por um cilindro metálico, preenchido com um gás rarefeito, em geral o árgon. Uma das extremidades é fechada com uma película fina (de metal, vidro, etc.) e constitui a janela do detector, ou seja, a zona por onde deverão entrar as partículas a detectar.

No eixo do cilindro é colocado um fio rígido, electricamente isolado do corpo do detector. Entre o fio central (ânodo) e o corpo cilíndrico (cátodo) é aplicada uma diferença de potencial (da ordem das centenas de volt). Quando uma radiação entra no detector, o gás é ionizado sendo produzida uma avalanche, da qual resulta um sinal eléctrico [18].

Na figura 2.15. está representado um sistema completo de detecção, constituído pelo detector de Geiger-Müller, uma fonte de alta tensão e uma unidade de contagem.

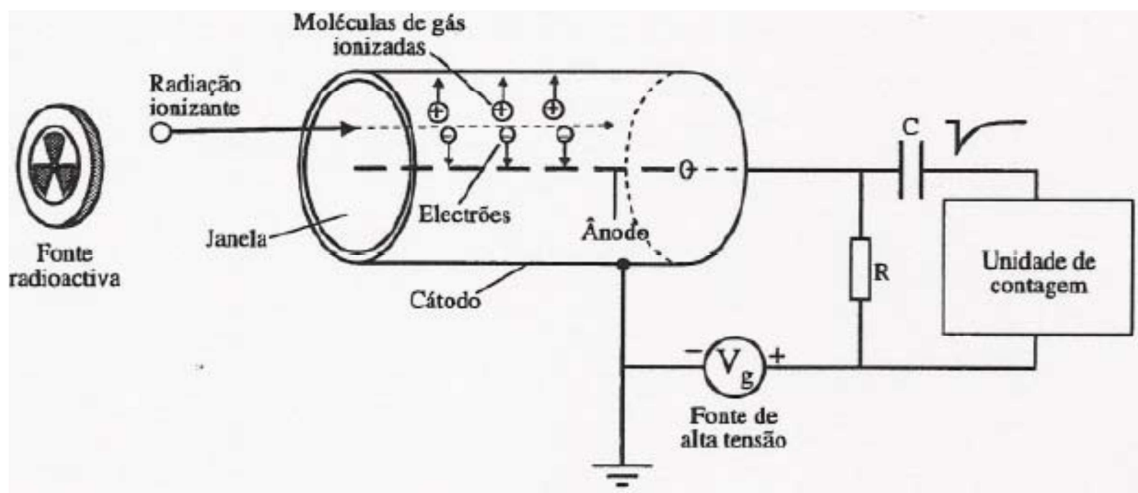


Figura 2.15. : Sistema completo do contador de Geiger-Müller [19].

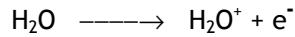
2.9. Efeitos biológicos das radiações ionizantes

Os efeitos biológicos resultam principalmente de danos provocados nas moléculas de ADN do núcleo das células.

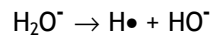
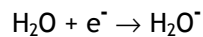
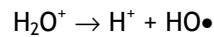
Quando o tecido biológico absorve a radiação ionizante, os danos nas células podem ocorrer por dois processos: acção directa e acção indirecta.

Na acção directa a radiação interage directamente com as moléculas de ADN, ocorrendo uma transferência intensa de energia que provoca a quebra de ligações químicas nas moléculas e, conseqüentemente, a destruição das estruturas celulares.

Na acção indirecta a radiação interage com átomos e moléculas dos componentes intracelulares (sobretudo água) formando-se espécies reactivas, radicais livres e iões, que podem danificar a estrutura do ADN. Sendo 80% da célula composta por água é grande a probabilidade da radiação provocar a ionização da água:



O ião H_2O^+ dissocia-se e o electrão livre incorpora uma molécula de água dissociando-a, de acordo com as equações seguintes:



Os iões, H^+ e HO^- , e os radicais $\text{HO}\bullet$ e $\text{H}\bullet$, formados nas reacções podem atacar moléculas das células, como as que formam os cromossomas, ou podem conjugar-se dando origem a substâncias nocivas para a célula.

A figura 2.16. mostra o efeito directo e indirecto da radiação sobre a estrutura do ADN.

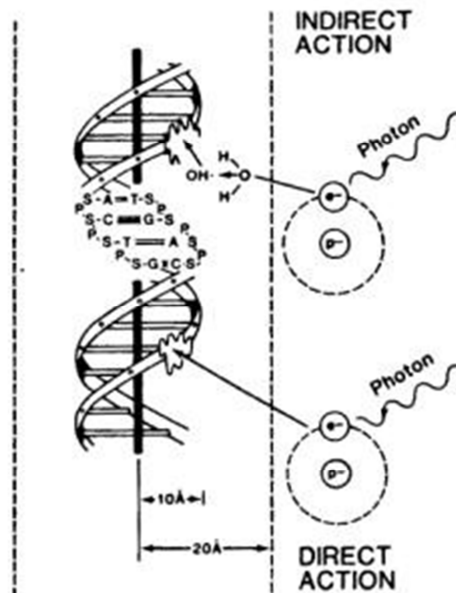


Figura 2.16. : Acção directa e indirecta da radiação sobre a estrutura do ADN [7]

Os efeitos químicos conduzem, assim, a danos nas células que podem ser de diversas formas, como a sua morte prematura ou a mutação. Estas alterações nas células não induzem necessariamente ao aparecimento de uma doença, são apenas respostas naturais do

organismo a um agente modificador. Enquanto a quantidade e frequência das alterações nas células forem reduzidas, o organismo desencadeia sistemas de reparação. No entanto, quando a quantidade e frequência das alterações provocadas pela radiação começam a desequilibrar o organismo humano, aparecem sinais de incapacidade de recuperar ou repara os danos produzidos nas células e surge a doença [7].

Os efeitos biológicos da radiação ionizante dependem da dose de radiação absorvida, ou seja, da energia absorvida por unidade de massa do material sobre o qual incide a radiação, que se exprime no SI em *gray*, Gy. No entanto, para medir o dano biológico de uma radiação usa-se a dose equivalente de radiação absorvida, H, que se exprime em sievert (Sv) no SI [9].

A tabela 2.3 mostra os efeitos biológicos de uma dose instantânea de radiação.

Tabela 2.3: Efeitos biológicos de uma dose instantânea de radiação [9].

Dose (Sv)	Efeito
0 a 0,25	Nenhum efeito observável
0,26 a 0,50	Pequeno decréscimo no número de glóbulos brancos
0,51 a 1,00	Decréscimo significativo do número de glóbulos brancos. Lesões.
1,01 a 2,00	Perda de cabelo, náuseas.
2,01 a 5,00	Hemorragias, úlceras, morte em 50% da população.
> 5,00	Morte

O tipo de radiação é também determinante para o efeito que uma dada radiação provoca no organismo vivo. As radiações β e γ têm fraco poder ionizante, enquanto a radiação α , quando é absorvida, origina um elevado número de iões por unidade de massa [3].

Os efeitos da radiação dependem também do tipo de tecido irradiado. Nem todos os tecidos são igualmente sensíveis à radiação, sendo, por exemplo, mais sensíveis os tecido dos órgãos genitais do que os da pele [11].

O tempo de exposição à radiação é igualmente importante. A mesma dose de radiação absorvida num curto espaço de tempo tem efeitos diferentes dos que teria se o tempo de exposição fosse alargado [9].

2.9.1 Classificação dos efeitos biológicos

Os efeitos biológicos são classificados em função da dose e formas de resposta, estocásticos e determinísticos, em função do tempo de latência, imediatos e tardios, e são também classificados em somáticos e hereditários [7].

2.9.1.1. Efeitos estocásticos e determinísticos

Os efeitos estocásticos são efeitos em que a probabilidade de ocorrerem é proporcional à dose recebida e para os quais não existe limiar de segurança. No entanto, os organismos de protecção radiológica internacionais como o ICPR (International Commission on Radiological Protection) e a IAEA (International Atomic Energy Agency) têm adoptado um modelo de dose-resposta de exposição à radiação ionizante designado por LNT (Linear No-Threshold). O que significa que existe sempre a probabilidade da radiação desencadear efeitos biológicos, mesmo para pequenas doses, não existindo um limiar de segurança passível de se adoptar.

O cancro é um exemplo de um efeito estocástico.

Os efeitos determinísticos têm um limiar de segurança, abaixo do qual os danos causados são insuficientes para prejudicar células e tecidos. Tal significa que os efeitos determinísticos são devidos a doses elevadas, acima do limiar, e a gravidade dos danos aumentam com a dose. São exemplos destes efeitos os eritemas e queimaduras na pele.

2.9.1.2. Efeitos imediatos e tardios

Os efeitos são imediatos quando a resposta biológica se faz sentir num período de poucas horas até a algumas semanas após a exposição, por exemplo o eritema da pele. Quando a resposta biológica surge depois de anos ou décadas, os efeitos classificam-se de tardios, dos quais o cancro é um exemplo.

Os efeitos imediatos, acompanhados de lesões graves ou letais, predominam se as doses de radiação forem muito altas. Para doses intermédias continuam a predominar os efeitos imediatos, mas grau de gravidade menor. Para doses baixas, há possibilidades de ocorrência de efeitos tardios e as lesões aparecerão a longo prazo

2.9.1.3. Efeitos somáticos e hereditários

Quando a resposta biológica afecta a própria pessoa que foi exposta à radiação, não interferindo nas gerações posteriores, os efeitos são somáticos.

Os efeitos são hereditários quando surgem somente nos descendentes da pessoa irradiada.

2.10. Aplicações das radiações ionizantes

As radiações ionizantes podem ter múltiplas utilizações. Na medicina têm uma larga aplicação no campo do diagnóstico e tratamento do cancro e outras doenças. Por exemplo, os raios X são largamente utilizados no diagnóstico de doenças. O iodo-123, fixado pela glândula tiróide, possibilita o estudo do seu funcionamento e a detecção de nódulos existentes. Outros radioisótopos, como o cobalto-60 e o fósforo-32, são utilizados em radioterapia.

A antropologia, a arqueologia e a geologia recorrem às emissões radioactivas de certos elementos, por exemplo, o árgon-40 e o carbono-14, para determinação da idade dos fósseis e artefactos.

Na produção de energia eléctrica em centrais nucleares usa-se o urânio-235, como combustível, em processos de fissão nuclear [9].

Também a indústria oferece um amplo campo de actividades que recorrem a fontes radioactivas para controlo de qualidade dos produtos fabricados, para verificar soldaduras em aviões e oleodutos e para esterilização de materiais cirúrgicos e alimentos [8].

As radiações ionizantes são também utilizadas na agricultura para controlo de pragas, conservação dos alimentos e irradiação de sementes de plantas.

Parte da produção agrícola global é destruída anualmente pelos insectos antes da colheita. A destruição de insectos pelo método de soltar machos esterilizados por radiações permite lutar contra os parasitas sem recorrer ao uso de pesticidas [20]. A exposição de alimentos a quantidades cuidadosamente controladas de radiação ionizante, irradiação, é um processo relativamente recente que permite a conservação dos alimentos, por controlo e eliminação dos parasitas. Com esta técnica são modificados os processos normais das células nos alimentos e consegue-se inibir o crescimento de bactérias, como a *Salmonella* ou *Listeria*. É possível também retardar o aparecimento de grelo em alimentos como a batata e a cebola e evitar a maturação rápida das frutas e das verduras - figura 2.17 - [21].



Figura 2.17. : Mangas conservadas com e sem irradiação [21].

A irradiação dos alimentos provoca efeitos directos sobre as células, quebrando as cadeias de ADN, que provocam a morte celular e/ou impedimento de multiplicação, e efeitos indirectos na sequência da produção de radicais livres que por sua vez atacam o ADN ou estruturas celulares. Estas reacções evitam a reprodução dos microrganismos produzindo um efeito de esterilização ou de descontaminação [22].

As doses de radiação a utilizar nos alimentos são variáveis conforme a finalidade dos tratamentos, podendo ser inferiores a 1kGy (dose baixa de irradiação), entre 1 a 10 kGy (dose média de irradiação) ou superior a 10 kGy (dose alta de irradiação) [20].

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) é possível aplicar doses até 10 kGy nos alimentos sem risco toxicológico, microbiológico ou nutricional para o consumidor [23].

Ainda assim a irradiação de alimentos é um tema polémico, tanto no âmbito científico como social. Apesar da palavra irradiação ser pouco familiar para os consumidores, o certo é que se trata de um método seguro e eficaz no que se refere à conservação dos alimentos referidos.

Não menos polémica, e actual, é a irradiação de sementes de plantas que permite induzir mutações genéticas, podendo melhorar quantitativa e qualitativamente a produção de géneros alimentícios, como a cevada [21].

CAPÍTULO 3

RADÃO NO AMBIENTE

3.1. O radão

O radão é um elemento químico do grupo dos gases nobres. Em condições normais de pressão e temperatura, o radão é um gás mais denso do que o ar, não reactivo, inodoro e incolor e, por isso, não detectável pelos nossos sentidos, não sendo óbvio o risco a ele associado.

O radão é solúvel em água e em solventes orgânicos.

A sua libertação para a atmosfera constitui uma das principais fontes de radioactividade ambiente, com uma contribuição superior a 50% na distribuição percentual da radiação devida a fontes naturais. A “entrada” do radão na atmosfera é devida à sua ocorrência nos solos, nas rochas, no ar e na água, que devido à desintegração dos seus núcleos gera outros núcleos, igualmente radioactivos, expondo assim o Homem às radiações ionizantes.

O radão apresenta três isótopos principais o ^{222}Rn , o ^{220}Rn e o ^{219}Rn , gerados naturalmente nas cadeias de decaimento do ^{238}U , ^{232}Th e ^{235}U , respectivamente.

Devido à sua curta meia-vida, os isótopos ^{219}Rn , com meia vida de 4s, e o ^{220}Rn , com meia vida de 55s, não são muito significativos para o ambiente.

O isótopo ^{222}Rn , com uma meia-vida de 3,82 dias, é um dos descendentes do decaimento do ^{238}U que constitui mais de 99% do urânio que está presente nas rochas e nos solos. Devido ao seu tempo de meia-vida ser de alguns dias, o gás ^{222}Rn é o único isótopo que apresenta mobilidade significativa nos sistemas geológicos, podendo difundir-se através das microfendas das rochas e através do solo acabando por entrar na atmosfera [24]. A cadeia de decaimento do ^{238}U , reproduzida na figura 4.7., mostra que ao ^{222}Rn se sucedem os isótopos ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi e ^{214}Po com meia-vida muito curta, entre 164 μs e 26,8 minutos. Existe assim potencial para que, num curto intervalo de tempo, um único núcleo de ^{222}Rn possa conduzir até cinco emissões radioactivas: três emissões alfa e duas emissões beta. Este facto evidencia a elevada dose de radiação ionizante associada ao radão, conferindo-lhe um papel de destaque no âmbito da radioactividade natural, justificando que sobre este gás se centre alguma atenção.

3.2. Exposição e risco radiológico do radão

A exposição ao radão ocorre, principalmente, a partir do solo. Embora este gás, por ser rapidamente dispersado, apresente concentrações geralmente baixas no exterior, ao infiltrar-se nos edifícios através de fendas nas fundações e paredes, fissuras no pavimento ou juntas de construção, pode atingir concentrações superiores às que se observam no exterior, a menos que os edifícios sejam muito bem ventilados [24].

O risco do radão deve-se sobretudo aos descendentes sólidos, como o polónio, o bismuto e o chumbo, resultantes do seu decaimento no ar. Estes descendentes podem ligar-se a partículas de poeira e gotas de água presentes na atmosfera que, uma vez inaladas, fixam-se nos tecidos pulmonares, como mostra a figura 3.1. Tendo aqueles radionuclídeos tempos de meia-vida curtos (entre 164 μ s e 26,8 min), produzem, num intervalo de tempo reduzido, uma irradiação contínua dos tecidos pulmonares até atingir o núcleo estável de ^{206}Pb . Os danos provocados nos tecidos pulmonares pelas radiações emitidas por estes radionuclídeos podem induzir o desenvolvimento do cancro [24].

Por esta razão, estimativas da Agência de Protecção Ambiental (EPA) dos EUA apontam para que 1 a 2 em cada 100 pessoas que, durante a vida, inalem ar com concentrações de radão não inferiores a 150Bq.m⁻³, incorrem no risco de contrair cancro do pulmão. Este risco é significativamente incrementado no caso dos fumadores [25].

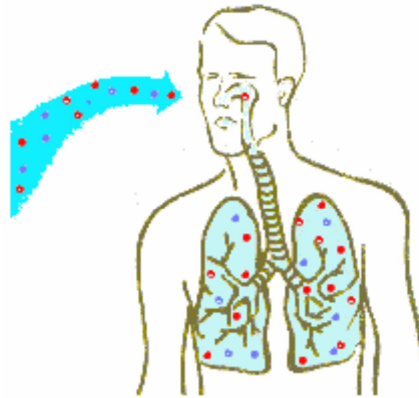


Figura 3.1.: Irradiação dos tecidos pulmonares por exposição ao radão e seus descendentes radioactivos [26]

3.3. Factores que influenciam a libertação do radão

Diversos factores geológicos condicionam a exposição ao radão. A produção deste gás depende da concentração de urânio nos materiais geológicos que é variável, sendo mais elevada em rochas graníticas (eruptivas plutónicas) e mais baixa em rochas sedimentares, como o calcário [24].

A figura 3.2. mostra a carta geológica simplificada de Portugal onde se vê a distribuição das rochas predominantes nas várias regiões do País. É na região norte que predominam as rochas graníticas e onde, de acordo com a carta de distribuição do radão da figura 3.3., ocorrem os valores médios anuais mais elevados, sendo alvos de especial atenção os distritos da Guarda e de Viseu.

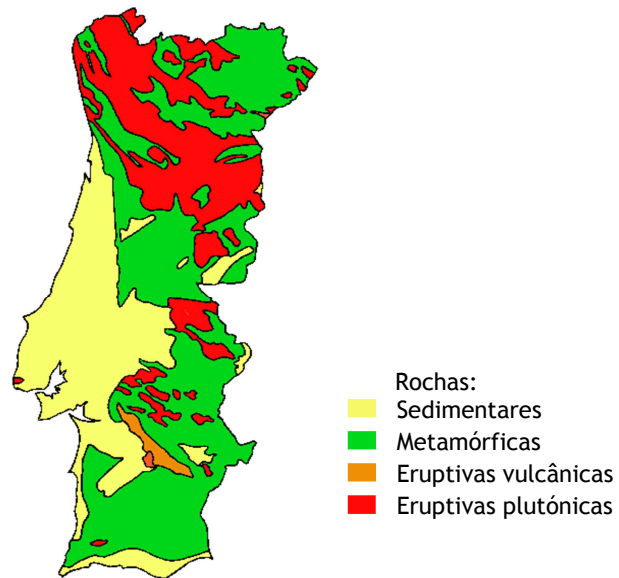


Figura 3.2.: Carta geológica simplificada de Portugal [27].

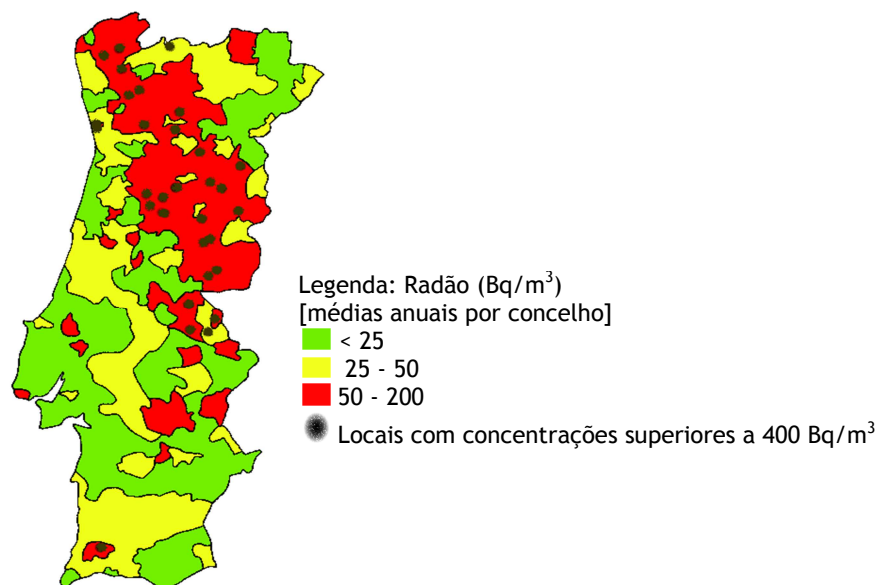


Figura 3.3.: Carta de distribuição do radão [27].

O fluxo de radão para a atmosfera, exalação, é condicionado pela permeabilidade das rochas. Em meios de permeabilidade baixa a moderada o fluxo de radão faz-se por difusão, sendo a distância máxima de transporte 5cm em água e 5m no ar. Para permeabilidades mais elevadas, o fluxo do gás faz-se predominantemente por convecção e a distância de migração do radão pode ascender a algumas dezenas ou centenas de metros [24].

A libertação do radão para a atmosfera é também influenciada por outros factores, não geológicos, como a pressão atmosférica, a humidade dos solos e a temperatura.

As concentrações de radão, no mesmo local, apresentam variações diárias e sazonais, como mostram as representações das figuras 3.4. e 3.5., respectivamente.

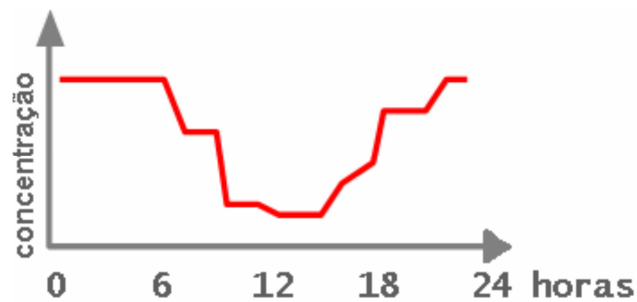


Figura 3.4.: Variação da concentração diária do radão na atmosfera [26]

É notória uma ciclicidade diurna na concentração do radão que regista valores mais altos quando o Sol se encontra sobre o zénite do local, altura em que a turbulência atmosférica é elevada, facilitando a diluição do gás na atmosfera. Quando o Sol se encontra no nadir, registam-se os valores mínimos na concentração do radão, devido à reduzida turbulência atmosférica que dificulta o fluxo litosfera-atmosfera [24].

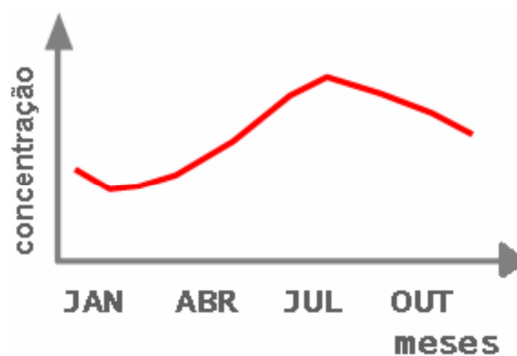


Figura 3.5.: Variação da concentração sazonal do radão [26]

Na atmosfera o radão dispersa-se sendo os níveis geralmente baixos, ou seja, inferiores a $10\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ [24].

3.4. O radão no interior dos edifícios

Para a mesma região, existe uma tendência acentuada para o radão produzido pelos materiais geológicos se concentrar em espaços interiores, registando-se concentrações que podem ser muito superiores às concentrações de radão na atmosfera exterior, podendo atingir valores de algumas dezenas ou milhares de Bq/m³ [24].

A natureza dos solos, o tipo de construção e os materiais utilizados, a temperatura ambiente, a pressão atmosférica e a ventilação da casa são factores que influenciam os níveis de radão no ar interior.

A entrada de radão em espaços interiores ocorre essencialmente através das zonas de contacto com a superfície do terreno, sendo as fissuras ou juntas mal seladas, nas fundações, as vias preferenciais de entrada do radão. A infiltração do radão no interior dos edifícios é devida à diferença de pressão como resultado da temperatura mais elevada no espaço interior. Por outro lado, o radão, em virtude da sua elevada densidade, concentra-se sobretudo no ar dos pisos inferiores, em caves e rés-do-chão, em especial se a ventilação desses espaços for reduzida. Como é um gás mais denso do que o ar, as suas concentrações são significativamente reduzidas a partir do segundo piso acima do solo, aproximando-se dos valores atmosféricos.

Os materiais de construção também podem contribuir para os níveis elevados de radão no interior dos edifícios, embora em menor proporção.

Em média, estima-se que 95% do radão presente numa habitação seja proveniente do subsolo, 5% dos materiais de construção e menos de 1% libertado a partir da água consumida, como se vê na figura 3.6. Em situações especiais, a contribuição das duas últimas fontes pode ser significativamente superior, nomeadamente na utilização de materiais de construção muito ricos em urânio e utilização de águas subterrâneas ricas em radão a partir de furos de captação próprios [24].

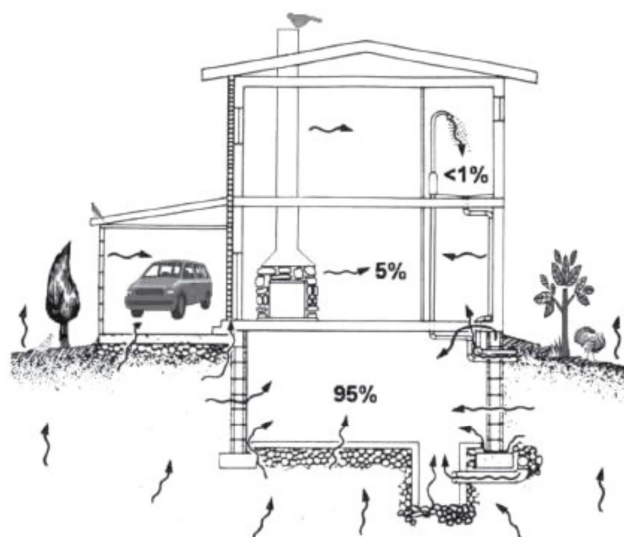


Figura 3.6. : Vias de penetração do radão em habitações [24].

No interior de edifícios também ocorrem variações sazonais da concentração de radão, mas inversas das verificadas no ar exterior, resultantes da maior ventilação efectuada nos meses de Verão e da menor ventilação durante o Inverno.

As concentrações mais elevadas de radão tendem a ocorrer durante a noite, período em que a ventilação é reduzida e que coincide com a maior ocupação das habitações.

A tendência que nos dias de hoje se verifica para a maior permanência do Homem em espaços interiores, com isolamentos cada vez mais eficientes para maior conforto térmico e poupança de energia, resulta numa crescente exposição ao radão no interior dos edifícios [26].

Em virtude das implicações ambientais da presença de radão em sistemas geológicos diversos países adoptaram recomendações ou legislação específica. A Comissão Europeia emitiu em 1990 uma recomendação, 90/143/Euratom, que sugere a adopção do valor limite de 400 Bq.m^{-3} como média anual da concentração de radão no interior das habitações já construídas, e de 200 Bq.m^{-3} para habitações a construir. A legislação nacional, através do Decreto Lei nº 79/2006 de 04 de Abril, estipula como limite máximo 400 Bq.m^{-3} , sendo a sua pesquisa obrigatória apenas em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco [27].

No que respeita à dose total de radiação recebida, a directiva europeia 96/29/Euratom, já integrada na legislação nacional, aplicável a locais de trabalho susceptíveis de conterem elevados níveis de radiação, como instalações nucleares, minas, instalações termais, grutas, fixa em 20 mSv por ano a dose máxima de radiação ionizante para trabalhadores e em 1 mSv a dose máxima para membros do público em geral [24].

Existem estudos efectuados em território português relativos à concentração de radão no ar de espaços interiores, nomeadamente em habitações e escolas. Um estudo de Teixeira e Faisca (1992) mostrou que, para uma amostragem estatística envolvendo milhares de

habitações do território nacional, em 9% dos casos as concentrações de radão são superiores a 200Bq.m^{-3} e em 3% dos casos as concentrações de radão são superiores a 400Bq.m^{-3} [24]. As maiores concentrações do gás foram observadas nos distritos de Viseu e da Guarda, onde o substrato geológico é maioritariamente constituído por granito que, em geral, incorpora teores de urânio mais elevados. É ainda nestas regiões que se regista a presença de muitas dezenas de antigas explorações deste elemento químico [28].

3.5. Procedimentos para reduzir o radão no interior dos edifícios

Na construção de novos edifícios devem ser tomadas medidas preventivas, mediante a aplicação de técnicas próprias, na altura da implantação das estruturas no terreno, de modo a evitar a passagem de radão dos solos para o seu interior. Em regiões de risco moderado, a aplicação de telas específicas impermeáveis a gases ao nível das fundações, e paredes caso existam caves, será suficiente para uma prevenção adequada. Nas áreas de risco elevado, para além da aplicação da tela impermeável, deverá ser projectada uma caixa-de-ar ventilada ao nível das fundações.

Para os edifícios e habitações já existentes, acima do valor limite da recomendação 90/143/Euratom, 400Bq.m^{-3} , devem-se ser tomadas medidas para redução do radão. Estas medidas podem passar por acções simples como selar todas as fendas existentes no pavimento ou juntas de tubagens (figura 3.7.), de forma a impedir as entradas de radão para a zona ocupacional; e promover a ventilação natural [26].

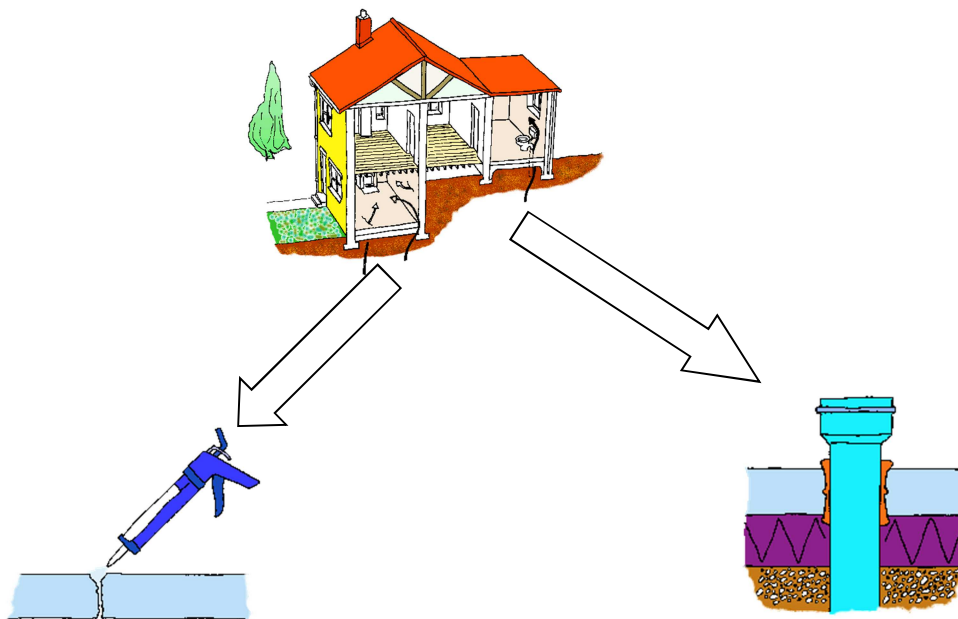


Figura 3.7.: Acções de redução do radão nas habitações [26]

Se estas técnicas não forem eficazes, podem tomar-se outras medidas correctivas como colocar no pavimento membranas que sejam impermeáveis ao ar (radão) e ventilação mecânica de modo a diminuir a pressão existente no espaço subjacente à construção. A figura 3.8. mostra algumas medidas para minimizar os níveis de radão nas habitações já construídas.



Figura 3.8.: Algumas medidas de minimização dos níveis de radão em habitações já construídas [29]

CAPÍTULO 4

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL

Neste ponto será apresentada, a título de exemplo, uma actividade experimental implementada no clube de ciências, no atelier subordinado ao tema Radiação/Ambiente. Nesta actividade pretende-se verificar a presença de gases radioactivos na atmosfera do interior de uma maqueta de uma ecocasa, o alojamento para visitantes no Parque de Diversões, resultante da aplicação do protocolo experimental “Presença de gases radioactivos na atmosfera de uma ecocasa” (anexo 3).

4.1. A actividade experimental

Na crosta terrestre muitos materiais possuem vários radionuclídeos como, por exemplo, urânio e os seus descendentes, sendo por isso radioactivos.

Os nuclídeos radioactivos de longa-vida estão presentes normalmente em pequenas concentrações nos materiais que nos rodeiam, nomeadamente, nas rochas que se formaram com a terra há $4,5 \times 10^9$ anos. A radioactividade depende do tipo de nuclídeos presentes nas rochas sendo, em regra, mais elevada nas rochas graníticas do que nas sedimentares.

Em geral, os nuclídeos radioactivos que ocorrem naturalmente nos minerais não são perigosos para a nossa saúde. Uma importante excepção é o radão, um elemento gasoso, cujos átomos se desintegram originando outros elementos, também radioactivos, tendo como consequência a exposição do Homem às radiações ionizantes.

O radão apresenta três isótopos principais: ^{222}Rn , ^{220}Rn e ^{219}Rn , com meias-vidas de 3,82 dias, 55s e 3,9s, respectivamente, gerados nas cadeias naturais de decaimento do ^{238}U , do ^{232}Th e do ^{235}U . Destes o único nuclídeo que coloca problemas de segurança radiológica é o ^{222}Rn , um gás, que devido à sua meia-vida ser de alguns dias tem tempo suficiente para se difundir através das microfendas das rochas e através do solo, entrando assim na atmosfera. Os descendentes sólidos resultantes do seu decaimento como o polónio, o bismuto e o chumbo podem ligar-se a poeiras e aerossóis presentes na atmosfera que ao serem inalados irradiam os tecidos pulmonares.

Em espaços abertos, o nível de concentração do radão é reduzido mas em espaços fechados, o radão libertado pelo solo ou materiais de construção atravessa as fissuras nos pavimentos e paredes e pode atingir níveis mais elevados. A concentração de radão no interior de uma habitação depende de muitos factores, tais como a sua localização no terreno, o tipo de materiais de construção, a ventilação, o andar, etc..

Na actividade experimental a ser desenvolvida com os alunos pretende-se detectar as radiações emitidas por uma rocha granítica (Figura 4.1.) colocada por debaixo de uma

maqueta de uma ecocasa, simulando a localização da casa numa zona com características geológicas semelhantes à da rocha utilizada.



Figura 4.1. : Rocha granítica utilizada na experiência

A existência de nuclídeos radioactivos foi detectada por um contador Geiger-Müller que, embora não fazendo a distinção dos diferentes tipos de radiação, permitiu fazer contagens de radiação ionizante em função do tempo na ecocasa em condições diferentes tal como indicado nas figuras 4.2. a 4.5.



Figura 4.2. : Ecocasa fechada



Figura 4.3. : Ecocasa aberta e ventilada



Figura 4.4.: Ecocasa sem caixa-de-ar



Figura 4.5.: Ecocasa com caixa-de-ar

Na experiência foi também avaliada a radiação emitida pela rocha (Figura 6.6) e a radiação de fundo natural (Figura 6.7)

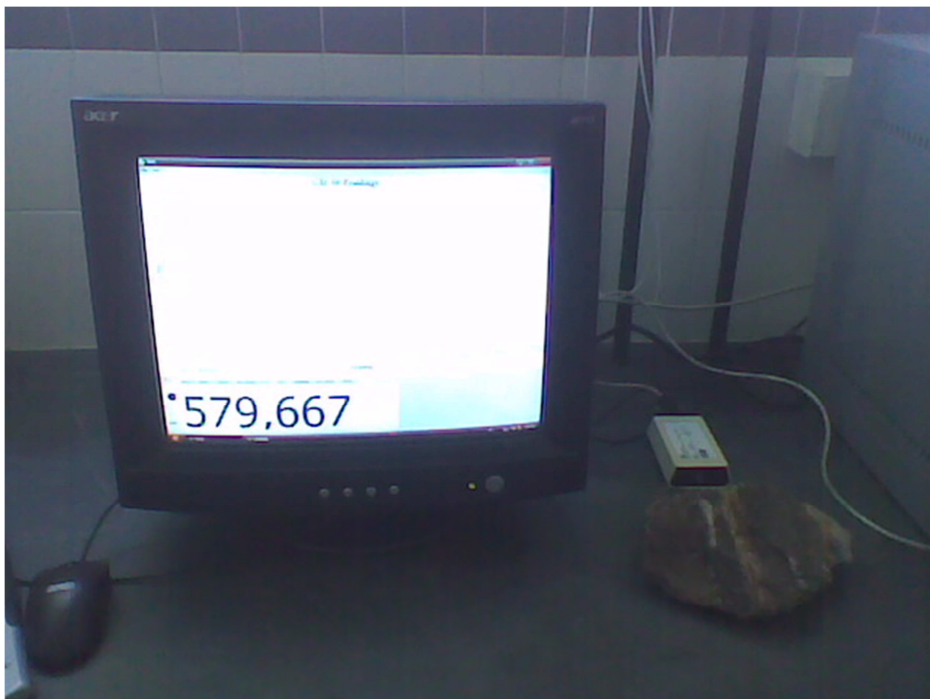


Figura 4.6.: Aquisição de contagens, com contador GM, da radiação emitida pela rocha



Figura 4.7: Aquisição de contagens, com contador GM, da radiação de fundo

4.2. A experiência

Foram feitas aquisições de contagens por hora, durante três dias consecutivos, da radiação emitida pela rocha granítica e da radiação no interior da ecocasa, com a rocha por debaixo da casa, em quatro situações diferentes: ecocasa fechada sem caixa-de-ar (ensaio 1), ecocasa fechada com caixa de ar (ensaio 2), ecocasa sem caixa de ar, com janelas e porta abertas e com ventilação forçada, ventoinha dentro da casa (ensaio 3); ecocasa com caixa-de-ar, com janelas e porta abertas e com ventilação forçada (ensaio 4). Para controlo da radiação de fundo foram feitas aquisições de contagens por hora, durante um dia, antes (fundo 1) e depois (fundo 2) das aquisições feitas na ecocasa.

4.3. Os resultados experimentais

Os valores médios da taxa de contagens encontram-se registados na tabela 4.1.

Tabela 4.1.: Valor médio das contagens por hora para a rocha, para o fundo e para a ecocasa

ENSAIO	Local da aquisição	Valor médio das contagens por hora
	Rocha	1470
1	Fundo 1	56,0
	Ecocasa	411,6
	Fundo 2	62,0
2	Fundo 1	56,5
	Ecocasa	395,5
	Fundo 2	60,7
3	Fundo 1	56,5
	Ecocasa	357,1
	Fundo 2	60,9
4	Fundo 1	56,3
	Ecocasa	246,6
	Fundo 2	60,6

A partir dos valores registados na tabela 4.1. pode observar-se que o número de contagens da rocha utilizada no estudo é bastante superior ao do fundo pelo que se pode concluir que a rocha é radioactiva, justificando-se assim que o número de contagens no interior da casa, em todos os ensaios, seja superior ao do fundo.

A comparação da taxa de contagens do fundo 1 e fundo 2 permite concluir que a alteração do fundo não foi significativa antes e depois das medições dentro da ecocasa.

Com os resultados experimentais da tabela 4.1. foi feita a representação gráfica do valor médio das contagens por hora para a ecocasa em função dos ensaios realizados.

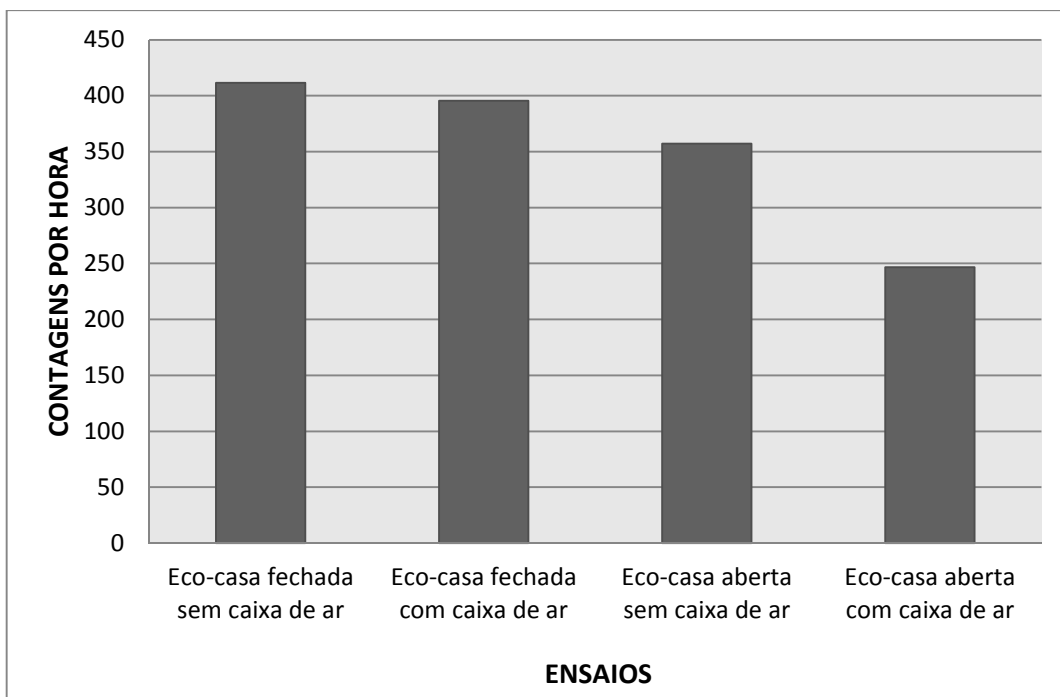


Figura 4.8. : Gráfico do valor médio das contagens por hora em função dos quatro ensaios

A análise do gráfico permite observar que o número de contagens é menor quando a casa se encontra aberta e ventilada, pelo que se pode concluir que a presença de núclídeos radioactivos é inferior em espaços abertos desde que ventilados, não sendo suficiente a abertura de portas e janelas tal como constatamos nesta experiência. O arejamento das habitações, natural ou forçado no caso de pisos inferiores, é assim um procedimento importante a seguir para evitar concentrações elevadas de radão no seu interior.

É ainda possível observar no gráfico que, para a mesma situação de arejamento (aberto ou fechado), o número de contagens é menor quando existe caixa-de-ar, o que leva a concluir que a existência de caixa-de-ar na estrutura da casa reduz a presença de radiação.

CONCLUSÃO

A aplicação de conceitos do âmbito da Física, como a Mecânica e a Física Moderna, num parque de diversões, com diferentes vertentes, poderá desenvolver nos alunos o gosto pela disciplina. Como tal, tomam consciência de que, ao contrário do que muitos questionam, a Física está presente em muitas situações e, até mesmo, em momentos mais lúdicos, como os vividos num parque de diversões.

A introdução de actividades experimentais, no âmbito do tema Radiação/Ambiente, é sempre uma mais valia. Os alunos envolvem-se mais activamente, desenvolvendo atitudes, como a responsabilidade e a autonomia, que devem ter em todo o trabalho desenvolvido no laboratório. Não menos valioso é o trabalho pré e pós laboratorial, no qual encontram não só a relação entre os conhecimentos teórico e experimental, mas também analisam e interpretam resultados que lhes permitem compreender e explicar alguns fenómenos e questões relacionados com o tema.

O tema Projectos em Terra apresenta-se com carácter de investigação, em que se privilegia a pesquisa e gestão de informação.

A criação de uma revista virtual de divulgação de científica, aberta à participação de toda a comunidade escolar, torna as novas tecnologias o veículo de divulgação dos trabalhos, feitos pelos alunos e para os alunos, no âmbito da ciência.

Este trabalho permitirá aos alunos alargar os seus conhecimentos, promover o trabalho em equipa, contribuir para o crescimento dos alunos enquanto cidadãos curiosos, empreendedores, autónomos e responsáveis.

BIBLIOGRAFIA

[1] **Gouveia, Almeida, Saraiva, Andréa e Reis, Carla Estrelo e Emanuel.** *Actividades realizadas por alunos no clube "Ciências Divertidas"*. Espinho : Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2002.

[2] **Ministério da Educação, Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular -** Programa de Física 12º Ano [em linha]. 2004. [Consult. Out. 2011]. Disponível em http://eec.dgisd.min-edu.pt/programas/fisica_12.pdf

[3] **Saunders, Peter -** Nós e as Radiações [em linha]. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 1991. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://www.lip.pt/files/radao/Radiacoes.pdf>

[4] **Caldeira, Helena, Belo, Adelaide e Gomes, João.** *Ontem e Hoje 12: Física 12º Ano*. Porto : Porto Editora, 2009.

[5] **Cardoso, Eliezer -** Radioactividade [em linha]. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/radio.pdf>

[6] **Menéndez, Rafael -** Los ordenadores en la actualidad [em linha]. Murcia: Universidade de Murcia, Departamento de Informática e Sistemas, 2011. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://www.um.es/docencia/barzana/IATS/IATS3-Ordenadores-en-la-actualidad.html>

[7] **Cardoso, Maria -** Efeitos biológicos da radiação [em linha]. 2011. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://biomedicaltopics.net/radiacoes-parte-2-efeitos-biologicos-da-radiacao/>

- [8] Macie, Noémia, et al. *Eu e a Física 12*. Porto : Porto Editora, 2009.
- [9] Costa, Alexandra, Costa, Ana Maria e Ferreira, Ana Margarida. *Química 12*. Lisboa : Plátano Editora, S.A., 2005.
- [10] United Nations Scientific Comite on Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR. *ANNEX A . Exposure From Natural Sources of Radiation*. New York : Report to the General Assembly With Scientific Annexes, 1993.
- [11] Oliveira, Carmen - A radioactividade e o ambiente no ensino secundário [em linha]. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Física, 2006. [Consult. Out. 2011]. Disponível em http://www.lip.pt/~luis/teses/Carmen_Oliveira_tese.pdf
- [12] Reis, Mário - A Radioactividade Ambiente [em linha]. Sacavém: Instituto Tecnológico e Nuclear, Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear, 2007. [Consult. Out. 2011]. Disponível em http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/30_1/vol30_fasc1_Art07.pdf
- [13] Avelar, A. C. & Ferreira, w. M. - Radioactividade natural presente nos fosfatos e farinha de ossos usados na agropecuária brasileira: a necessidade de controlo da radiação na indústria dos fosfatos [em linha]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola Veterinária, Departamento de Zootecnia, 2009. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://rdigital.univille.rct-sc.br/index.php/RSA/article/viewFile/184/189>
- [14] Baxter, M.S. *Technologically enhanced radioactivity: an overview*. s.l. : J. Environ, 1996.
- [15] Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, CTBTO. *Radionuclides Monitoring*. Vienna, Austria : Spring Technical Training Programme, International Monitoring System Division, 2001.
- [16] United Nations Scientific Comite on Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR. *ANNEX B: Exposure From Natural Sources of Radiation. Sources and effects of ionizing radiation*. 2000, Vol. I.
- [17] Tripler, P. e LLeewellyn, R. *Física Moderna*. s.l. : LTC Editora, 2001.

[18] **Peralta, Luís** - O contador de Geiger-Muller [em linha]. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Física. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://www.lip.pt/~luis/fn1/geiger.pdf>

[19] **Abreu, M. C., Matias, L. e Peralta, L. F.** *Física Experimental*. Lisboa : Editorial Presença, 1994.

[20] **Oliveira, Jaime da Costa e Martinho, Eduardo J. C.** *Energia Nuclear*. Lisboa : Junta de Energia Nuclear, 1977.

[21] Conservação de alimentos. [Consult. Out. 2011]. Disponível em http://www.lip.pt/files/radao/Conserv_Alimentos.pdf

[22] **Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas** - Protocolo da experiência: Germinação de sementes irradiadas [em linha]. [Consult. Out. 2011]. Disponível em http://www.lip.pt/outreach/moodle/file.php/10/protocolos/protocolo_sementes.pdf

[23] Qualfood - Radiações ionizantes em alimentos [em linha]. 2003. [Consult. Out. 2011]. Disponível em <http://qualfood.biostrument.com/?option=noticia&task=show&id=10677>

[24] **Neves, L. & Pereira, A.** - Radioactividade natural e ordenamento do território: o contributo das Ciências da Terra 2004) [em linha]. 2004. [Consult. Out. 2011]. Disponível em http://www.apgeologos.pt/pubs/geonovas/n_18/neves_pereira.pdf

[25] **Raymond, C.** *Química*. s.l. : McGraw-Hill, 1994.

[26] **Instituto Tecnológico e Nuclear, Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear** - Radão - Um Gás Radioactivo de Origem Natural [em linha]. Sacavém: Instituto Tecnológico e Nuclear, Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear, 2003. [Consult. Out.2011]. Disponível em http://www.itn.pt/docum/relat/radao/itn_gas_radao.pps

[27] Decreto-Lei Nº 79/2006. D. R. Série 67.

[28] **Pereira, A. e Neves, L.** *Geologia e Radioactividade Natural na Região das Beiras*. Coimbra : XXIII Curso de Actualização de Professores de Geociências, 2003.

[29] **Laboratório de Radioactividade Natural** - Radioactividade Natural [em linha]. Coimbra: Universidade de Coimbra, Departamento Ciências da Terra. [Consult. Out. 2011]. Disponível em
http://www.dct.uc.pt/index.php?option=com_allcontacts&view=items&cid=10&id=10&Itemid=66&lang=pt&limitstart=1

ANEXO 1

Planta do Parque de Diversões

ANEXO 2

Tabela dos atelieres do Parque de Diversões

Atelier Fases	1 Radiação / Ambiente	2 Projectos em Terra	3 Organização de Eventos
1º Fase	<ul style="list-style-type: none"> • Organização de grupos de trabalho; • Indicação do título do trabalho de acordo com o tema do atelier; • Planificação do trabalho; • Criação de um blog 	<ul style="list-style-type: none"> • Organização de grupos de trabalho; • Selecção do trabalho que, de acordo com o tema do atelier, pode ser <ul style="list-style-type: none"> - Divertimentos no parque - Saúde pública: efeitos da utilização das diversões • Planificação do trabalho; • Criação de um blog 	<ul style="list-style-type: none"> • Workshop : Como escrever um blog
2º Fase	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração do relatório escrito; • Organização de uma palestra relacionada com o tema do atelier; 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração do relatório escrito; • Organização de uma palestra relacionada com o tema do atelier; 	<ul style="list-style-type: none"> • Palestras
3º Fase	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusão do relatório escrito; • Elaboração de um poster; 	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusão do relatório escrito; • Elaboração de um poster; 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposição de posters

ANEXO 3

Protocolo experimental

Presença de gases radioactivos na atmosfera de uma ecocasa

Fundamentação teórica

Todos nós estamos constantemente expostos a uma grande variedade de radiações naturais. Estas radiações provêm do espaço exterior à Terra (radiação cósmica) e dos átomos radioactivos que existem um pouco por todo o lado, por exemplo, no solo que pisamos, nos materiais de construção das nossas casas, no nosso próprio corpo.

Os nuclídeos radioactivos de longa-vida estão presentes normalmente em pequenas concentrações nos materiais que nos rodeiam, nomeadamente, nas rochas que se formaram com a terra há $4,5 \times 10^9$ anos. A radioactividade depende do tipo de nuclídeos presentes nas rochas sendo em regra mais elevada nas rochas graníticas do que nas sedimentares.

Em geral, os nuclídeos radioactivos que ocorrem naturalmente nos minerais não são perigosos para a nossa saúde. Uma importante excepção é o radão, um elemento gasoso, cujos átomos se desintegram originando outros elementos, também radioactivos, tendo como consequência a exposição do Homem às radiações ionizantes.

O radão apresenta três isótopos principais: ^{222}Rn , ^{220}Rn e ^{219}Rn , com meias-vidas de 3,82 dias, 55 s e 3,9 s, respectivamente, gerados nas cadeias naturais de decaimento do ^{238}U , do ^{232}Th e do ^{235}U . Destes o único nuclídeo que coloca problemas de segurança radiológica é o ^{222}Rn , um gás, que devido à sua meia-vida ser de alguns dias tem tempo suficiente para se difundir através das microfendas das rochas e através do solo entrando assim na atmosfera. Os descendentes sólidos resultantes do seu decaimento como o polónio, o bismuto e o chumbo podem ligar-se a poeiras e aerossóis presentes na atmosfera que ao serem inalados irradiam os tecidos pulmonares.

Em espaços abertos, o nível de concentração do radão é reduzido mas em espaços fechados, o radão libertado pelo solo ou materiais de construção atravessa as fissuras nos pavimentos e paredes e pode atingir níveis mais elevados. A concentração de radão no interior de uma habitação depende de muitos factores, tais como a sua localização no terreno, o tipo de materiais de construção, a ventilação, o andar, etc..

Nesta experiência pretende-se detectar as radiações emitidas por uma rocha granítica colocada por debaixo de uma maqueta de uma ecocasa, simulando a localização da casa numa zona com características geológicas semelhantes à da rocha utilizada. A existência de nuclídeos radioactivos será detectada por um contador Geiger-Müller que, embora não fazendo a distinção dos diferentes tipos de radiação, permitirá fazer contagens de radiação ionizante em função do tempo na ecocasa em condições diferentes (figuras 4.2. a 4.5.). Na experiência será também avaliada a radiação emitida pela rocha (figura 4.6) e a radiação de fundo natural (figura 4.7)

Objectivos

- Investigar a existência de fontes naturais de radiação ionizante (radiação de fundo);
- Detectar a existência de radiação emitida por rochas;
- Verificar a presença de gases radioactivos na atmosfera do interior de uma maqueta de uma ecocasa;
- Concluir sobre os perigos da utilização de areias contendo elementos radioactivos em materiais de construção;

Material e equipamento

- Contador Geiger-Müller (GM)
- Rocha radioactiva
- Sistema de aquisição (Computador)
- Maqueta de uma ecocasa
- Ventoinha

Procedimento experimental

- Coloque em frente à janela do contador GM a "rocha radioactiva". Faça aquisições, em intervalos de tempo de 1 hora, durante 3 dias consecutivos. Registe, na tabela 1, a média das contagens.
- Faça uma aquisição com o contador GM durante um dia (fundo 1), sem que exista alguma fonte radioactiva nas proximidades, em intervalos de tempo de 1 hora.
- Coloque o contador GM dentro da ecocasa com a rocha por debaixo da casa, sem caixa-de-ar e com janelas e porta fechadas (*ensaio 1*).
- Ligue o sistema de aquisição automático (figura 1).
- Faça aquisições com o contador GM, em intervalos de tempo de 1 hora, durante 3 dias consecutivos. Registe, na tabela 1, a média das contagens.
- Faça uma nova aquisição com o contador GM durante um dia (fundo 2), sem que exista alguma fonte radioactiva, em intervalos de tempo de 1 hora. Registe, na tabela 1, a média das contagens.
- Repita os procedimentos anteriores para as seguintes situações:
 - ecocasa com a rocha por debaixo da casa, com caixa-de-ar e com janelas e porta fechadas (*ensaio 2*);
 - ecocasa com a rocha por debaixo da casa, sem caixa-de-ar, com janelas e porta abertas e com ventilação forçada, ventoinha dentro da casa (*ensaio 3*);
 - ecocasa com a rocha por debaixo da casa, com caixa-de-ar, com janelas e porta abertas e com ventilação forçada (*ensaio 4*).
- Registe, na tabela 1, a média das contagens para todas as situações.

Registo dos resultados

Tabela 1

ENSAIO	Local da aquisição	Valor médio das contagens por hora
	Rocha radioactiva	
1	Fundo 1	
	Eco-casa	
	Fundo 2	
2	Fundo 1	
	Eco-casa	
	Fundo 2	
3	Fundo 1	
	Eco-casa	
	Fundo 2	
4	Fundo 1	
	Eco-casa	
	Fundo 2	

Ensaio 1 - ecocasa sem caixa-de-ar e com janelas e porta fechadas

Ensaio 2 - ecocasa com caixa-de-ar e com janelas e porta fechadas

Ensaio 3 - ecocasa sem caixa-de-ar, com janelas e porta abertas e com ventilação forçada

Ensaio 4 - ecocasa com caixa-de-ar, com janelas e porta abertas e com ventilação forçada

Tratamento dos resultados

- Utilize uma folha de cálculo para fazer o gráfico dos valores médios das contagens por hora em função dos ensaios 1,2,3 e 4.

Questões

1. Compare os valores obtidos experimentalmente para a rocha radioactiva e para o fundo. O que pode concluir sobre a radioactividade da rocha utilizada?
2. A rocha em estudo poderia trazer alguns problemas em termos de saúde caso fosse utilizada como matéria-prima de materiais de construção?
3. O que pode concluir a partir da análise do gráfico?