

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
ENERGÉTICAS E NUCLEARES (PROTEN)

EDILSON ACCIOLY ROCHA

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO EXTERNA À RADIAÇÃO GAMA
DOS TRABALHADORES DE PEDREIRAS DE ROCHAS
GRANÍTICAS ORNAMENTAIS DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO EXTERNA À RADIAÇÃO GAMA
DOS TRABALHADORES DE PEDREIRAS DE ROCHAS
GRANÍTICAS ORNAMENTAIS DE PERNAMBUCO**

EDILSON ACCIOLY ROCHA

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO EXTERNA À RADIAÇÃO GAMA
DOS TRABALHADORES DE PEDREIRAS DE ROCHAS
GRANÍTICAS ORNAMENTAIS DE PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, do Departamento de Energia Nuclear, da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação Nuclear.

ORIENTADOR: PROF. DR. ROMILTON DOS SANTOS AMARAL (DEN)

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE JOÃO RICARDO FERREIRA CARDOSO (DGEO)

RECIFE

2007

R672a

Rocha, Edílson Accioly.

Avaliação da exposição externa à radiação Gama dos trabalhadores de pedreiras de rochas graníticas ornamentais de Pernambuco / Edílson Accioly Rocha. - Recife: O Autor, 2007.
66 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2007.

Inclui bibliografia e Apêndice.

1. Energia Nuclear. 2. Dosimetria 3. Rocha Ornamental
4. Radioatividade Ambiental. 5. Pedreira Título.

UFPE

612.01448

CDD (22. ed.)

BCTG/2007-142

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO GAMA NOS
TRABALHADORES DE PEDREIRAS DE ROCHAS GRANÍTIICAS
ORNAMENTAIS DE PERNAMBUCO**

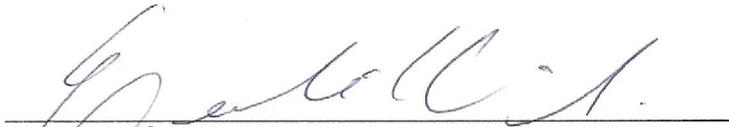
Edilson Accioly Rocha

APROVADO EM: 29.08.2007

ORIENTADOR: Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Jorge João Ricardo Ferreira Cardoso

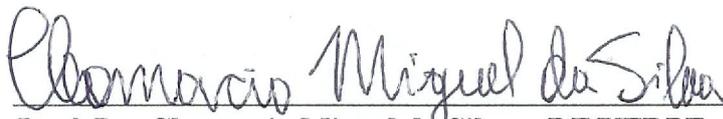
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Êudice Correia Vilela – CRCN/CNEN-PE

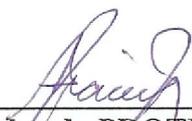


Prof. Dr. João Antonio Filho – DEN/UFPE



Prof. Dr. Cleomacio Miguel da Silva – DF/UFPE

Visto e permitida a impressão



Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

Aos meus pais, Edson e Gilzete, às minhas filhas Carolina e Daniele, à minha esposa Rejane, aos meus irmãos, Edilza, Edson Júnior, Edvaldo e Gerson e à minha tia-irmã Isalva Accioly.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela saúde, sabedoria e conhecimento, requisitos indispensáveis para mais uma conquista.

Aos meus pais, Edson de Almeida Rocha e Gilzete Accioly Rocha, pela educação, compreensão, amizade e amor.

Aos meus irmãos Edilza Maria Accioly Rocha, Edvaldo Accioly Rocha, Gerson Accioly Rocha e Edson de Almeida Rocha Júnior pelo incentivo.

A toda minha família pelo apoio e incentivo, em especial ao meu avô paterno Joaquim da Silva Rocha (*in memoriam*) pelo exemplo de trabalho e caráter e à minha avó materna Izabel Barreto Accioly (*in memoriam*), pelo carinho e ternura que sempre me dedicou.

Aos meus orientadores professores Dr. Romilton dos Santos Amaral e Dr. Jorge João Ricardo Ferreira Cardoso pela paciência, tempo disponibilizado na pesquisa, conhecimento adquirido ao longo do curso e pela amizade.

Ao Grupo de Estudos de Radioecologia da Universidade Federal de Pernambuco (**RAE**), e a todos os colegas do Departamento de Energia Nuclear, em particular aos colegas José Araújo dos Santos Júnior e Viriato Leal Neto, pelo estímulo, sugestões e amizade.

Aos funcionários do DEN pela colaboração, especialmente à Sra. Magali Rodrigues Ferreira (Secretaria do DEN), pelo excelente atendimento, condição que contribui para um ambiente harmonioso.

A Sra. Vera Lúcia Vasconcelos e ao seu filho e meu colega Wagner Eustáquio de Vasconcelos, pelo apoio na realização das pesquisas de campo.

Aos parentes, colegas e amigos que de uma maneira ou de outra contribuíram para a conclusão deste trabalho, muitas vezes até mesmo, com um simples gesto de carinho ou uma palavra amiga, meus sinceros agradecimentos.

Ao professor Suêlto Vita da Silveira que, por intermédio da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (FADE), contribuiu financeiramente para este trabalho e como idealizador da pesquisa, juntamente com o meu Orientador, Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), especialmente ao Departamento de Energia Nuclear, pelo apoio, e a todos os professores pelo conhecimento adquirido, especialmente ao Prof. Dr. André Maciel Netto, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela contribuição científica.

Ao professor Carlos Adolpho M. Baltar do Departamento de Engenharia de Minas-UFPE (Laboratório de Tecnologia Mineral).

À professora Dra. Helen Jamil Khoury, Coordenadora do Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes do DEN/UFPE, pelo apoio científico.

Aos professores e/ou pesquisadores Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira, Cleomacio Miguel da Silva, Eudice Correia Vilela, Frederico Antonio Genezini, João Antônio Filho e Suêlto Vita, pelas participações nas bancas examinadoras (seminários e defesa), avaliações e sugestões.

Ao professor José de Melo Lima Filho, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco (CEFET-PE), pela contribuição científica.

Aos professores e/ou pesquisadores Fernando Antônio Cardoso, Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues e José Edson Gomes de Souza, colegas do CEFET-PE, pela indicação a este programa de Pós-graduação.

Ao Serviço de Hemoterapia de Pernambuco (HEMOPE), na pessoa da pesquisadora Lidiane Régia Pereira Braga, pelo apoio laboratorial.

AValiação DA EXPOSIÇÃO EXTERNA À RADIAÇÃO GAMA DOS TRABALHADORES DE PEDREIRAS DE RÓCHAS GRANÍTICAS ORNAMENTAIS DE PERNAMBUCO

Autor: Edilson Accioly Rocha

Orientador: Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge João Ricardo Ferreira Cardoso

RESUMO

Os “granitos” de Pernambuco estão entre as mais belas rochas ornamentais do Brasil e são comercializados para vários outros estados do Brasil e países da Europa e da Ásia. O estado apresenta uma vasta reserva de rochas ornamentais, entre elas os “granitos”, com um elevado potencial extrativo e um considerável número de trabalhadores nessa atividade. Pernambuco destaca-se no cenário nacional como exportador dessa matéria-prima. Os trabalhadores dessa atividade estão expostos a uma grande massa rochosa nas frentes de extração por um período mínimo de oito horas diárias, cinco dias por semana. O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação prévia da exposição à radiação gama a que eles estão submetidos, uma vez que os “granitos” são conhecidos cientificamente por apresentarem concentrações de radionuclídeos naturais, tais como ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , acima dos teores médios das demais rochas. As radiações gama provenientes do decaimento das séries do urânio e do tório, acompanhados de potássio-40, em doses acima do limite permitido pelos órgãos governamentais, podem causar danos aos seres vivos. A dose individual internacionalmente adotada para pessoa do público é de $1,0\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. Neste estudo considerou-se esses trabalhadores como pessoa do público, uma vez que essa atividade ainda não é reconhecida como de exposição radioativa ocupacional. Com este trabalho espera-se contribuir para a monitoração ambiental, para avaliação dos riscos à saúde desses trabalhadores, bem como para conscientização da necessidade de uma certificação radiométrica para os “granitos” comercializados no Brasil. O estudo foi iniciado no Entrepasto Regional de Rochas Ornamentais no Recife, detectando-se valores de dose numa faixa de $0,60\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ a $2,22\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ para os blocos graníticos oriundos de Pernambuco. A fim de se ter uma amostragem mais significativa da exposição, estendeu-se as avaliações para mais 159 blocos graníticos monitorados nas cinco pedreiras ativas do estado, com uma média de 32 blocos por pedreira. Os valores de doses ficaram numa faixa de $0,28\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ a $2,36\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ para o conjunto de pedreiras monitoradas.

Palavras-chave: Dosimetria, granito, rocha ornamental, radioatividade ambiental, pedreira.

EVALUATION OF EXTERNAL EXPOSURE TO GAMMA RADIATION OF ORNAMENTAL ROCKS GRANITIC QUARRY WORKERS IN PERNAMBUCO

Author: Edison Accioly Rocha

Adviser: Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral

Co-adviser: Prof. Dr. Jorge João Ricardo Ferreira Cardoso

ABSTRACT

The Pernambuco granites are among the most beautiful ornamental rocks of Brazil, and are commercialized in various other states of Brazil and countries in Europe and Asia. The state has a vast reserve of ornamental rocks, among them the “granites”. It has an elevated mining potential and there are a considerable number of workers in this activity. Pernambuco stands out in the national scenario as an exporter of this raw material. The workers in this activity are exposed to a large mass of rock during extraction for a minimum period of eight hours a day, five days a week. The objective of this work was to carry out an evaluation of the gamma radiation exposure to which they are submitted, since the “granites” are scientifically known for having concentrations of natural radionuclides, such as ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , higher than the average content of the rest of the rocks. The gamma radiations coming from uranium and thorium series decay accompanied by potassium-40 at doses above the limits permitted by governmental organs can cause harm to living beings. The internationally adopted individual effective dose for persons is $1.0\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. In this study the workers were considered as persons from the public, since, this activity still is not recognized for radiation exposure occupation. This work is expected to contribute to environmental monitoring and for evaluation of health risks to these workers. The study was initiated at the Warehouse of Ornamental Rocks in Recife, where dose values in the range of $0.60\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ to $2.22\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ were detected, for “granite” blocks from Pernambuco. With the aim of having a more significant sample of dose, the evaluations were prolonged to include another 159 monitored “granite” blocks from, the five active quarries of the state, with an average of 32 blocks per quarry. The dose values were in the range of $0.28\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ to $2.36\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ for group of quarries monitored.

Keywords: Dosimetry, granite, ornamental rocks, environmental radioactivity, quarry.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Capacidade de penetração das partículas α , β e γ (FÍSICA .NET)	17
Figura 2: Localização das pedreiras de rochas ornamentais de Pernambuco	25
Figura 3: Levantamento radiométrico de blocos com cintilômetro	26
Figura 4: a. Cintilômetro portátil da marca SAPHYMO SRAT , modelo: SPP-2-NF;	27
Figura 5: Conjunto microscópio polarizante, charriot e contador de pontos.	29
Figura 6: Relação de conversão entre cps em $R \cdot h^{-1}$	30
Figura 7: Pedreira P01	33
Figura 8: Aspecto visual do granito Vermelho Rosa	33
Figura 9: Histograma de distribuição dos dados obtidos na pedreira P01	35
Figura 10: Teste para distribuição lognormal	36
Figura 11: Amostra de granito de Garanhuns	37
Figura 12: Zircão (a e b) produzindo halos de isotropização em biotita	37
Figura 13: Histograma de distribuição dos dados obtidos na pedreira P02	39
Figura 14: Teste para a distribuição lognormal P02	40
Figura 15: Aspecto visual dos blocos do granito Marrom Imperial.	41
Figura 16: Grão de allanita (a) auto-isotropizado ,	41
Figura 17: Teste para a verificação da distribuição beta	43
Figura 18: Amostra de rocha granítica da P04	44
Figura 19: Grão de zircão (a) produzindo forte halo de isotropização em biotita	44
Figura 20: Frente de lavra da Pedreira P04	45
Figura 21: Recorte de blocos com martelo pneumático em massa expansiva	45
Figura 22: Histograma das frequências dos intervalos de classes P04	47
Figura 23: Teste para a distribuição normal P04	47
Figura 24: Aspecto visual da rocha granítica	49
Figura 25: Cristal de allanita (a) parcialmente removido durante a laminação	49
Figura 26: Histograma das frequências dos intervalos de classes P05	51
Figura 27: Teste para a distribuição lognormal P05	51
Figura 28: Representação gráfica dos blocos monitorados	52

Figura 29: Dose mediana dos conjuntos de blocos monitorados.....	53
Figura 30: Boxplot das doses do conjunto de pedreiras monitoradas.....	54

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1: Clarkes do urânio nos principais tipos de rochas da crosta continental.	21
Tabela 2: Principais emissores gama da série do ^{238}U e suas energias	22
Tabela 3: Principais emissores gama da série do ^{232}Th e as energias	22
Tabela 4: Concentrações de ^{40}K em rochas, sob e na crosta terrestre	23
Tabela 5: Coordenadas geográficas das Pedreiras de granito de Pernambuco	24
Tabela 6: Medidas radiométricas dos blocos graníticos do entreposto	32
Tabela 7: Doses medidas na pedreira P01	34
Tabela 8: Parâmetros estatísticos da pedreira P01	35
Tabela 9: Doses medidas na pedreira P02	38
Tabela 10: Parâmetros estatísticos da pedreira P02	39
Tabela 11: Doses medidas na pedreira P03	42
Tabela 12: Parâmetros estatísticos da pedreira P03	43
Tabela 13: Doses medidas na pedreira P04	46
Tabela 14: Parâmetros estatísticos da P04	47
Tabela 15: Doses medidas na pedreira P05	50
Tabela 16: Parâmetros estatísticos da pedreira P05	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
cps	Contagem por segundo
P01, P02	Pedreira 01 e 02, respectivamente
$t_{1/2}$	Meia-vida ou tempo de meia-vida
(U, Th)O ₂	Uraninita
UO ₂ ²⁺	Íon urânio, uranila ou divalente do urânio
UO ₃	Uranita ou trióxido de urânio
(U, Th, Terras Raras) ₈ O ₈	Pebblelenda, mineral de urânio
α	Partícula alfa
	Partícula beta
	Radiação eletromagnética gama

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Radiação gama	17
2.2 Efeitos da Radiação gama nos seres vivos	18
2.3 Distribuição dos radionuclídeos naturais	18
2.3.1 Granitos	19
2.4 Minerais de Urânio	20
2.5 Considerações Gerais Sobre a Natureza Radiativa do Granito, seu Aspecto Visual e Nome Comercial.	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 Localização da área de estudo	24
3.2 Levantamento radiométrico no entreposto de rochas ornamentais.....	26
3.3 Levantamento radiométrico das pedreiras de granito	27
3.4 Extração de granito	28
3.5 Coleta das amostras para análise.....	29
3.6 Análise Modal.....	29
3.7 Dados da cintilometria e doses correspondentes	30
3.8 Análise estatística	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Monitoração do Entreposto Regional de Exportação de Granitos.....	32
4.2 O granito Vermelho Rosa.....	33
4.3 O “granito” Rosa Imperial.....	36
4.4 O “granito” Marrom Imperial P03	40

4.5 O Granito Relíquia	44
4.6 O Granito Quinágua da P05	48
4.7 A análise comparativa das médias de doses individuais de cada bloco	52
5 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
GLOSSÁRIO	62
APÊNDICE	65

1 INTRODUÇÃO

O homem sempre conviveu com a radioatividade. Ela existe desde a formação do Universo e pode ser detectada na atmosfera, na superfície da Terra, nas rochas, na água e nos vegetais, assim como em todos os organismos vivos. Nas rochas e solos são encontrados vários elementos radioativos como os das séries naturais do ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th e o ^{40}K , entre outros (ANJOS et al., 2005).

O controle da radioatividade ambiental é de extrema importância para obtenção de informações sobre a exposição de pessoas e animais às fontes potenciais em ocorrências radioativas naturais. Por isso, é fundamental o conhecimento dos elementos radioativos presentes no meio ambiente, particularmente, neste estudo, em rochas graníticas.

Segundo a UNSCEAR, 1988, 1993 (apud El-Shershaby, 2002) os materiais radioativos naturais são as fontes mais importantes da exposição de radiação aos seres humanos. Embora esses materiais contêm uma radioatividade de baixo nível (RBN), a dose acumulada pode ser elevada. Fato este que também justifica a motivação para o presente estudo.

Alguns pesquisadores no mundo têm apresentado estudos dos níveis de radiação associados a esse tipo de rocha ornamental. Entretanto, na literatura nacional, são raras as pesquisas para avaliar os níveis radioativos do granito. Na maioria, os estudos destacam o granito como material de construção utilizado como matéria-prima para o revestimento de pisos e paredes. É importante salientar que, tanto na literatura nacional como na internacional, não foram encontrados trabalhos de pesquisa semelhantes ao realizado nesta dissertação, onde se avaliou os níveis de radiação dos radionuclídeos emitidos pelos blocos graníticos ainda brutos, sem polimento, e nas frentes de lavras no momento da extração, com a preocupação voltada para a proteção radiológica dos trabalhadores envolvidos nessa atividade de exposição radioativa.

A radiação gama proveniente de alguns elementos radioativos naturais, caracterizados por possuírem uma meia-vida da ordem da idade da Terra, representa a principal fonte terrestre de exposição externa para o corpo humano. Os menores níveis de radiação estão geralmente associados às rochas sedimentares, e os mais elevados às rochas ígneas, principalmente granitos (ANJOS et al., 2005). As concentrações de urânio, tório e

potássio estão diretamente relacionados com a composição mineralógica e as características petrológicas das rochas graníticas. Desse modo, variações dessas características produzem alterações expressivas nos diagramas de concentrações, devidos às seqüências individuais de diferenciação para os vários tipos de granitos comerciais existentes. Isso pode ser evidenciado no trabalho feito com granitos no Egito, onde as concentrações ultrapassaram valores de $28.000 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (EL-SHERSHABY, 2002).

A atividade de extração do “granito” envolve muitos trabalhadores, que na maioria se encontra em atividade nas frentes de lavra por longo tempo, recebendo uma dose de radiação adicional em razão da composição mineralógica dos granitos, que apresentam na maioria radionuclídeos naturais, tais como as duas séries principais radioativas naturais (^{238}U e ^{232}Th) e ^{40}K , que são emissores de radiação gama.

O estudo da radioatividade ambiental nas rochas ornamentais brasileiras é necessário como um parâmetro para um maior controle da qualidade radiológica destas rochas, visto que o uso de rochas ornamentais utilizadas na construção civil é uma atividade econômica importante, tanto no mercado nacional como internacional, com exportação crescente e representando uma fonte importante de rendimento para o Brasil.

O estudo da radioatividade ambiental é de extrema importância, pois a sua utilização na construção civil tanto no mercado nacional como internacional é bastante significativa.

Dessa forma, fez-se necessário avaliar os níveis reais de exposição à radiação gama a que os trabalhadores das pedreiras de “granitos” estão expostos. Logo se entende que os resultados obtidos neste estudo são de grande interesse para a Radiobiologia, uma vez que há grande quantidade de trabalhadores envolvidos na extração dessa matéria-prima.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Radiação gama

Os raios γ são radiações eletromagnéticas monocromáticas que são emitidas dos núcleos de átomos excitados de acordo com a seguinte transformação radioativa: eles surgem quando núcleos excitados liberam energia de excitação. Como os físicos de saúde se preocupam com todas as radiações que vêm de substâncias radioativas e como os raios-X são indistinguíveis dos raios γ , o fato de que os raios-X surgem na estrutura extranuclear de muitos isótopos deve ser considerada por esses profissionais na caracterização das radiações perigosas. São de menor comprimento de onda e, portanto, mais energéticos. Devido à natureza ondulatória e ausência de carga elétrica, a radiação gama é muito mais penetrante do que as partículas alfa e beta (CEMBER, 1996).

Pode-se verificar pela Figura 1 que os três tipos de radiações nucleares têm capacidades de penetração diferentes.

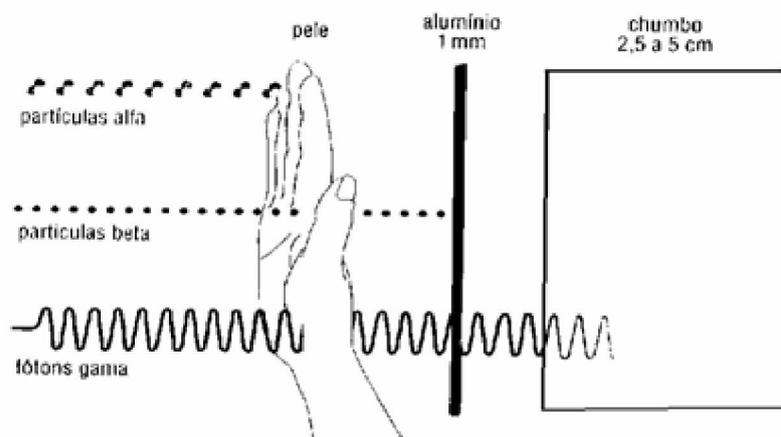


Figura 1 : Capacidade de penetração das partículas α , β e γ (FÍSICA .NET).

2.2- Efeitos da Radiação gama nos seres vivos

Devido ao poder de penetração, esse tipo de radiação pode provocar lesões no sistema nervoso central, na medula óssea e até a morte dos seres vivos, pois altera a estrutura celular. O grau de intensidade de alteração de uma célula após sua interação com a radiação dependerá da transferência de energia, bem como da natureza do meio absorvedor (CEMBER, 1996).

2.3- Distribuição dos radionuclídeos naturais

Apesar de a distribuição de radionuclídeos naturais na crosta terrestre ser aproximadamente uniforme, existem áreas onde os teores desses radionuclídeos são mais elevados. A concentração de radionuclídeos em uma pedreira ocorre devido à especificidade da composição mineralógica de suas rochas. Deve-se observar, entretanto, que o comportamento químico muda à medida que os átomos radioativos de um determinado elemento decaem produzindo átomos de outra espécie química. Essa transformação de uma espécie em outra afeta o comportamento dos radionuclídeos no meio ambiente.

O elevado teor de radioatividade em determinadas partes de uma pedreira é causada principalmente pela distribuição heterogênea dos minerais portadores de urânio, tório e/ou potássio-40 em rocha granítica. Esses elementos têm longas meias-vidas e fazem parte dos minerais e rochas formadas no interior da crosta terrestre e que estão situados próximos à superfície.

No Brasil, áreas que apresentam elevados níveis de radioatividade ambiental são, entre outras, a região das minas de urânio e tório no Planalto de Poços de Caldas em Minas Gerais, e as praias de areias monazíticas de Guarapari, no Espírito Santo, onde os níveis de radiação podem ser até dez vezes mais elevados que aqueles normalmente encontrados na natureza (ANJOS et al., 2005).

2.3.1- Granitos

No setor industrial de rochas ornamentais e de revestimento, o termo “granito” designa, incorretamente, um amplo conjunto de rochas silicáticas, abrangendo monzonitos, granodioritos, chamockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos (ABIROCHAS, 2004). A composição mineralógica dos “granitos” é definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e moscovita), anfíbios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se também diversos minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas (menores que 1%). Quartzo, feldspatos, micas e anfíbios são os minerais predominantes nas rochas graníticas e granitóides (ANDJOS et al.; 2005). Do ponto de vista petrográfico, o granito é definido como uma rocha plutônica constituída fundamentalmente de quartzo, feldspatos e micas. Entre os minerais máficos (escuros), os anfíbios e os piroxênios são encontrados com maior frequência no granito, especialmente os anfíbios.

No mercado de rochas para revestimento o termo granito tem significado muito menos rígido, mais abrangente, pois serve para denominar rochas cristalinas de composição e origem das mais diversas onde se incluem granitos “*stricto sensu*”, granitos gnáissicos, migmatitos, gabros, diabásicos, anortositos, piroxenitos, etc. Em consonância com os objetivos do estudo foi adotado neste trabalho o conceito comercial de granito, ressaltando-se a profunda discordância com os preceitos da classificação petrográfica.

Os verdadeiros granitos são exemplos importantes de rochas que apresentam em sua constituição teores elevados de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , quando comparados com outros tipos de rochas. Dessa forma, as concentrações destes elementos radioativos estão correlacionadas com suas respectivas composições minerais e características petrológicas gerais. Urânio e tório são normalmente encontrados em alguns minerais acessórios (concentrações menores que 1%) presentes nas rochas ígneas e metamórficas, tais como zircão e allanita (ANDJOS et al., 2005). Outros minerais altamente radioativos como a monazita, uraninita, torita e pirocloro são também frequentes na natureza, sendo a monazita um mineral de pegmatitos graníticos. A uraninita e a torita ocorrem tanto em pegmatitos graníticos como em diques de quartzo, e o pirocloro associado a sienitos

alcalinos (rocha granitóide). Tanto a concentração de tório quanto a de urânio tende a ser mais elevada em rochas félsicas claras e aumenta ainda mais com o aumento da “alcalinidade” ou “acidez” da rocha, sendo as maiores concentrações desses elementos observadas em pegmatitos. O potássio presente nas rochas também aumenta com a “acidez” e é normalmente encontrado em feldspato potássico, como microclina e ortoclásio, ou em micas, como moscovita e biotita. Rochas que não possuem esses minerais em sua composição possuem uma concentração de potássio muito baixa. Quanto à mobilidade, o urânio tende a ser altamente móvel perto da superfície da rocha, enquanto que o tório é um elemento de baixa mobilidade. Assim, o urânio pode ser facilmente oxidado por soluções aquosas e ser removido dos granitos e pegmatitos por lixiviação e re-depositado em sedimentos distantes da rocha de origem (ANJOS et al., 2005).

2.4- Minerais de Urânio

Devido principalmente ao seu baixo clark¹ global (2,7 mg/kg) (KRAUSKOPF, 1979), o urânio tende a concentrar-se na fase final da diferenciação magmática, principalmente em pegmatitos graníticos, onde ocorre em um grande número de minerais. A Tabela 1 mostra clarkes específicos em rochas magmáticas e sedimentares.

Conforme apresentado por Kimble e Sinclair (1950), os minerais de urânio são divididos em duas categorias minerais primários e secundários. Os minerais primários são aqueles que não sofreram mudanças desde a formação, enquanto os minerais secundários são formados a partir dos primários pelo intemperismo. Entre primários e secundários, existem mais de cem minerais que contêm urânio (WEDEPOHL, 1978).

¹ Clarke é o teor médio de um elemento químico na crosta continental.

Tabela 1: Concentrações do urânio nos principais tipos de rochas da crosta continental.

URÂNIO NATURAL				
ROCHAS MAGMÁTICAS (mg.kg ⁻¹)				
Ultrabásicas	Básicas	Intermédias	Ácidas	
0,003	0,5	1,8	3,5	(a)
0,03	0,6	4,0	6,0	(b)
ROCHAS SEDIMENTARES (mg.kg ⁻¹)				
Folhelhos	Calcários	Arenitos		
3,7	2,2	0,4		(c)
3,7	2,0	1,02		(b)
TÓRIO				
ROCHAS MAGMÁTICAS (mg.kg ⁻¹)				
Ultrabásicas	Básicas	Intermédias	Ácidas	
0,005	3,0	7,0	18,0	(a)
ROCHAS SEDIMENTARES (mg.kg ⁻¹)				
Folhelhos	Arenitos	Calcários		
11,1	5,4	1,9		(b)

Fontes: **(a)** Ginsburg, 1963; **(b)** Wedepohl, 1978; **(c)** Turekian; Wedepohl, 1961.

Os principais minerais que contêm urânio, economicamente mais interessantes, são: uraninita (U, Th)₂O₇, mineral de cor geralmente preta, cuja composição real é (U, Th, terras raras)₂O₇ com no máximo 88% de urânio; pechblenda (U, Th, terras raras)₃O₈, de cor verde profundo e às vezes negra como piche com 60 a 70% de U, formada por óxidos de U²⁺ e U⁶⁺ (2UO₃·UO₂); coffinita (U, Th, Ca, terras raras)SO₄ com aproximadamente 74% de U; brannerita (U, Th, Ca, terras raras)(Ti, Fe²⁺)₂O₆, com aproximadamente 35,8% de U; camotita (K, Ca)UO₂·VO₄·2,3H₂O com 44 a 52,8% de U; autunita Ca(UO₂PO₄)₂·10H₂O, aproximadamente 54,5% de U; torbernita Cu(UO₂PO₄)₂·10H₂O, com 52,8% de U; thucholita – humatos de urânio, em média 1,8% de U (PETRASCHECK, 1982). Além desses, existem muitos outros com teores elevados de urânio, que podem ter interesse econômico, como, por exemplo, a uranocircita - Ba(UO₂PO₄)₂·8H₂O; a uranofana (uranotib) Ca(UO₂)₂[OH]SO₃·5H₂O, além de outros. Em todos os minerais de urânio, este pode ser parcialmente substituído por tório e por “Terras Raras”.

O poder de penetração das radiações gama está associado à energia, podendo um mesmo radionuclídeo emitir radiações gama de diferentes energias, o que pode ser comprovado se observando os radionuclídeos descendentes da série do ^{238}U .

Os radionuclídeos de uma série radioativa podem ser identificados por meio da energia de emissão gama característica. Nas Tabelas 2 e 3, encontram-se os principais emissores gama das séries radioativas do ^{238}U e ^{232}Th e as respectivas energias. A Tabela 4 mostra os valores das concentrações de ^{40}K em rochas, solo e na crosta terrestre.

Tabela 2 : Principais emissores gama da série do ^{238}U e suas energias

ELEMENTO	ENERGIA (keV)			
^{234}Th	63	93		
^{234}Pa	131	569	883	946
^{226}Ra	186			
^{214}Pb	242	295	352	
^{214}Bi	609	1.120	1.764	
^{210}Tl	795			

Fonte: ERDTMANN ;SOYKA , 1979.

Tabela 3 : Principais emissores gama da série do ^{232}Th e as energias

ELEMENTO	ENERGIA (keV)		
^{228}Ac	339	911	969
^{212}Bi	727	1.621	
^{208}Tl	511	583	2.615
^{212}Pb	239		

Fonte: ERDTMANN ;SOYKA , 1979.

Tabela 4 : Concentrações de ^{40}K em rochas, solo e na crosta terrestre

K_{total} EM ROCHAS ÍGNEAS (mg kg^{-1})			
Ultrabásicas	Básicas	Intermédias	Ácidas
34	8.300	23.000	42.000
300	8.000		33.000
VALORES MÉDIOS			
167	8.150	23.000	37.500
MÉDIAS DE ^{40}K (mg kg^{-1})			
0,020	~ 0,001	0,003	4,5

Fonte: Turekian, 1977; Ginsburg, 1963; Turekian, 1977; Vinogradov, 1962.

2.5- Considerações Gerais Sobre a Natureza Radioativa do Granito, seu Aspecto Visual e Nome Comercial.

Estudos realizados por Anjps et al (2005), pesquisadores do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, foram utilizadas 110 amostras de diferentes tipos de granitos comerciais de dez estados brasileiros, entre elas apenas uma variedade (uma amostra) granítica de Pernambuco, o Marrom Imperial do município de Bom Jardim, os estudos revelaram doses de $0,6 \text{ mSv a}^{-1}$ para este tipo de granito de Pernambuco. Neste trabalho, as amostras foram obtidas diretamente dos produtores para evitar problemas na identificação dos granitos, o que frequentemente ocorre no comércio varejista, pois nesse setor é comum observar que diferentes granitos são comercializados com o mesmo nome. Também é possível observar casos em que o mesmo granito é comercializado com vários nomes diferentes. Esse problema de identificação também ocorre nas zonas de extração ou frentes de lavra. Por vezes, blocos mostrando pequenas heterogeneidades devido à distribuição dos grãos multicomponentes e que são extraídos da mesma área de mineração (em alguns casos do mesmo afloramento ou maciço) são classificados com diferentes nomes comerciais, embora a sua composição mineral básica não tenha sido alterada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Localização da área de estudo

Objetivando obter informações a respeito da localização das pedreiras ativas de granito do estado de Pernambuco, consultou-se a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), que forneceu o mapa geográfico das pedreiras de rochas graníticas ornamentais e a informação da existência de um entreposto de rochas ornamentais em Pernambuco.

O entreposto está localizado na Avenida da Recuperação, s/n no bairro de Dois Irmãos – Recife – PE, sendo usado para armazenamento temporário de blocos graníticos, recolhidos de várias localidades de Pernambuco e estados vizinhos, que serão posteriormente exportados para outros estados do Brasil e mesmo para o exterior.

Na Figura 2 consta o mapa da área delimitada para estudo, onde se encontram demarcados os locais monitorados. As pedreiras monitoradas estão localizadas no Agreste do estado, nos municípios de Bom Jardim, Garanhuns, Arcoverde, Pedra e Lagoa Inha.

Para melhor caracterizar os locais de coleta também foram obtidas as coordenadas geográficas das pedreiras ativas de granito do estado de Pernambuco por meio de um equipamento GPS, as quais estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 : Coordenadas geográficas das Pedreiras de granito de Pernambuco.

CÓDIGO DA PEDREIRA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	LAT (SUL)	LONG (WGr)
P01	S 8° 29' 215"	W 37° 01' .375"
P02	S 8° 49' 926"	W 36° 28' .688"
P03	S 7° 46' .503"	W 35° 35' .249"
P04	S 8° 26' .912"	W 36° 46' .029"
P05	S 8° 26' .882"	W 36° 43' .631"

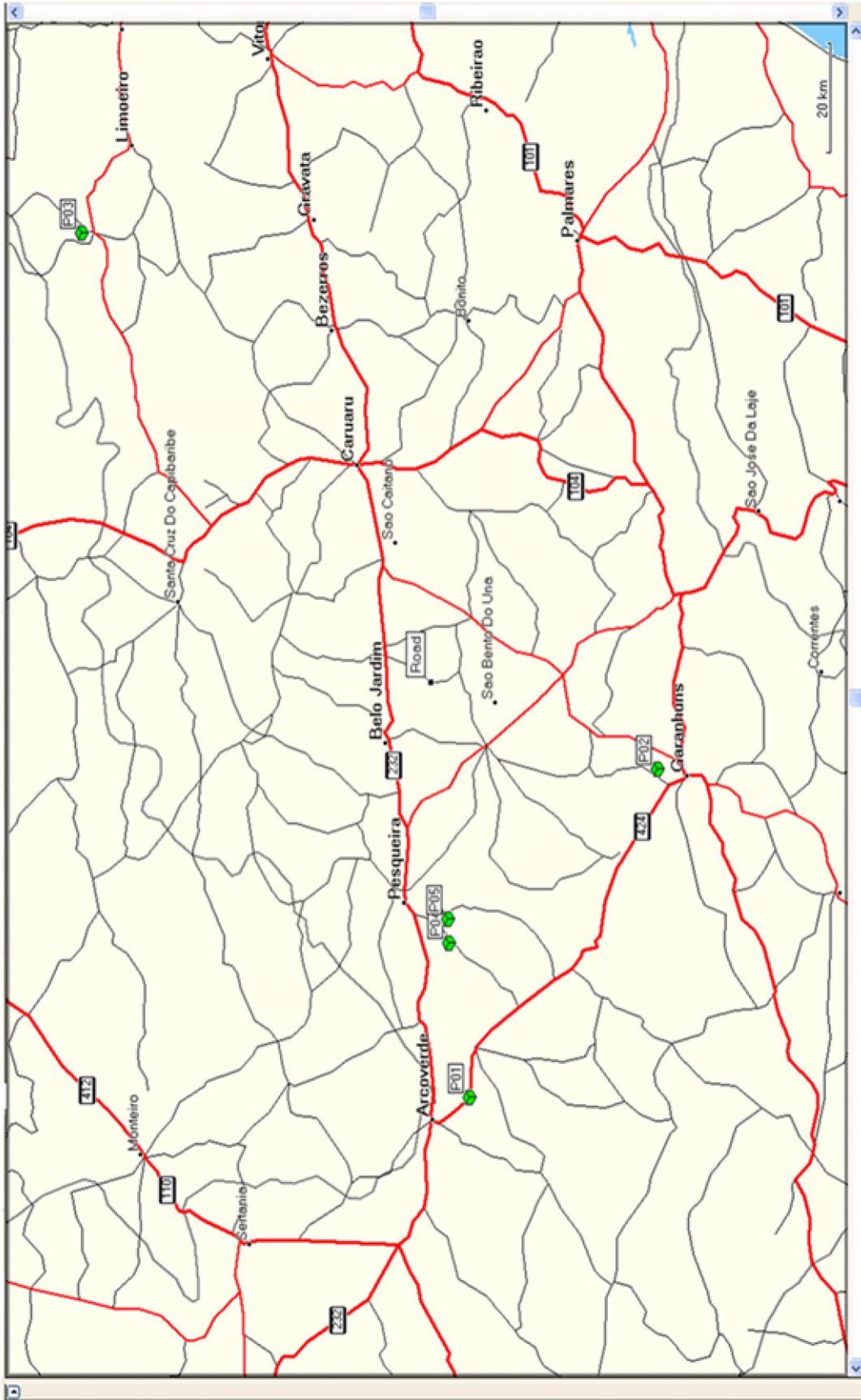


Figura 2: Localização das pedreiras de rochas ornamentais de Pernambuco. Mapping software: MapSource® - Garmin®
● Ponto de coleta; ● Cidades

3.2- Levantamento radiométrico no entreposto de rochas ornamentais

O Entrepósito Regional de Exportação de Granitos é uma Instituição Pública Estadual, situada na Avenida da Recuperação s/n no bairro de Dois Irmãos em Recife-PE. Fundado em abril de 1985, pelo então Governador do Estado de Pernambuco Roberto Magalhães, pertence à Secretaria de Indústria, Comércio e Minas, e é administrada pela Minérios de Pernambuco S/A. Destina-se ao depósito temporário de blocos graníticos oriundos dos estados produtores do Nordeste, onde ficam armazenados até a transferência de caminhão para o Porto do Recife ou de Suape, de onde seguem de navio para países da Europa como a Itália e da Ásia como Japão e China.

No entreposto foram feitas medições radiométricas no primeiro semestre do ano de 2006 em todos os blocos graníticos armazenados em seu pátio no momento da visita. A monitoração foi realizada com um cintilômetro portátil a uma distância aproximada de 5 cm dos quatro lados acessíveis dos blocos graníticos, que apresentavam forma de paralelepípedo. Dessas leituras foi obtida a média aritmética para cada bloco de granitos de Pernambuco e para todo o conjunto de blocos armazenados no entreposto, que incluiu blocos graníticos do estado da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Desse levantamento radiométrico foi possível se fazer uma avaliação prévia dos valores de dose de radiação gama desses blocos, que têm a forma de um paralelepípedo. Os paralelepípedos armazenados no entreposto mediam cada um 3,2m x 1,85m x 1,5m (Figura 3).



Figura 3: Levantamento radiométrico de blocos com cintilômetro.

Para obtenção das medidas radiométricas foi utilizado um cintilômetro portátil da marca francesa SAPHYMO SRAT, modelo: SPP-2-NF (Figura 4a), que mede a atividade da radiação gama total em cps (“cintilações por segundo”), que pode ser facilmente convertida em mR/h usando-se a curva de conversão do equipamento (Figura 4b). Esse instrumento não discrimina o tipo da fonte de radiação gama (U, Th ou K).

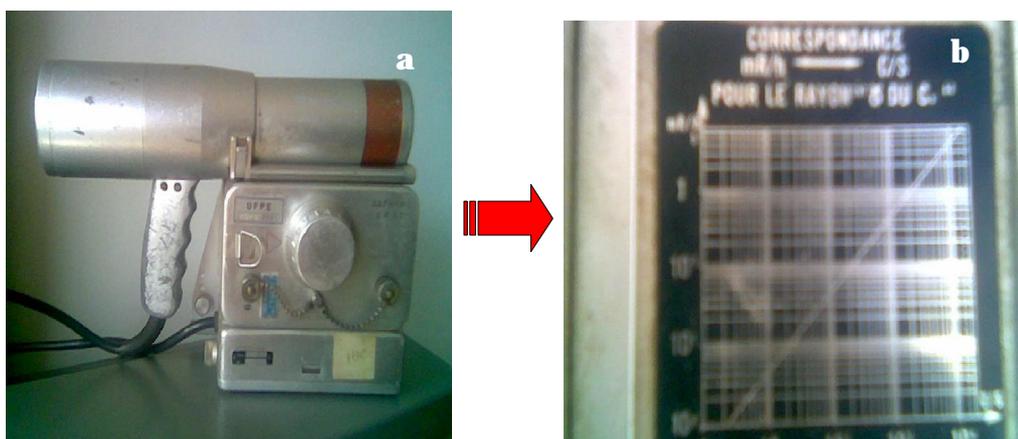


Figura 4 a. Cintilômetro portátil da marca SAPHYMO SRAT, modelo: SPP-2-NF;
b. Escala de conversão gravada no cintilômetro.

Os resultados da monitoração radiométrica inicial, realizada no entreposto regional de exportação de granito, apontaram para a necessidade de visitar todas as pedreiras de granito ativas do estado de Pernambuco, uma vez que o número de amostras até então avaliadas não eram suficientes para se ter o perfil radiométrico do granito do estado de Pernambuco e consequentemente a dose a que estavam expostos os trabalhadores no campo.

3.3- Levantamento radiométrico das pedreiras de granito

Para a obtenção da dose representativa de cada bloco granítico, foi realizado um levantamento radiométrico de quatro das seis faces de cada um dos blocos graníticos estocados no pátio de cada uma das pedreiras, visto que duas das faces estavam inacessíveis, uma voltada para o solo e a outra muito alta. O equipamento de leitura

(centímetro) foi posicionado a uma distância aproximada de 5cm de distância dos blocos, e dessas medidas foi obtida a média aritmética para cada bloco.

3.4- Extração de granito

O estado de Pernambuco é detentor de grandes reservas de rochas ornamentais, tanto em maciço rochoso como em matacões², onde estão inseridas as principais pedreiras para a extração e comercialização de blocos de granito (AB ROCHAS, 2004). Com o início das atividades extrativas nessas pedreiras, ocorreu, incrementação no desenvolvimento dos municípios em que estão inseridas, gerando emprego e renda para a comunidade local e circunvizinha.

Parte do setor extrativo é munida do que há de mais moderno em tecnologia de lavra, entretanto, em campo, constatou-se que 40% das pedreiras têm poucos recursos financeiros e nelas o corte primário é feito de forma artesanal, causando muitas perdas de material, baixa produtividade, aumentando consideravelmente a exposição dos trabalhadores à radiação ionizante emitida pelos radionuclídeos naturais presentes no granito uma vez que os trabalhadores são levados a uma exposição mais prolongada.

Após a confecção dos blocos eles são numerados e estocados no pátio, conforme a classificação que leva em conta o esquadramento, tamanho, homogeneidade e o grau de alteração do material rochoso.

Parte do granito extraído em Pernambuco é usada para atender mercado interno e o restante é vendido para outros estados do Brasil e países da Europa e da Ásia. Das pedreiras, alguns blocos são levados diretamente para as marmorarias, onde são cortados em placas, que são polidas para a manufatura de vários objetos. Outros são encaminhados para o Entrepósito Regional de Exportação de Granitos, no Recife, onde são estocados conjuntamente com blocos graníticos oriundos dos demais estados produtores de granito da Região, permanecendo nesse local até a exportação.

² Pedra solta, muito grande e arredondada.

3.5- Coleta das amostras para análise.

Foram coletadas amostras de rochas graníticas em cada uma das cinco pedreiras ativas e em diferentes pontos de cada uma delas, de forma aleatória, recolhendo-se pedaços de rochas encontrados ao longo do trajeto no interior da pedreira, com o objetivo de se preparar lâminas para estudar a composição mineral. As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Tecnologia Mineral da UFPE, para a confecção de lâminas e posteriores análises mineralógicas por meio de um microscópio polarizante equipado com contador de pontos e charriot em destaque (Figura 5).



Figura 5: Conjunto microscópio polarizante, charriot e contador de pontos.

3.6- Análise Modal

A análise modal é uma técnica de análise quantitativa que pode ser utilizada também para a determinação da composição mineralógica de rochas, atribuindo-se a cada mineral uma percentagem.

Na ausência de minerais complexos, a análise modal possibilita calcular a composição química aproximada das rochas, a partir da composição química de cada mineral, previamente conhecida. O sistema de análise é formado por um contador de pontos acoplado a um microscópio polarizante que são interligados por um cabo elétrico a um transportador elétrico conhecido como charriot.

O contador permite a contagem de pontos correspondentes a cada grão de mineral presente numa área limitada da lâmina fina de uma rocha. A área escolhida da lâmina é

percorrida de 1/3 de mm entre cada ponto contado (ROUBAULT, 1982). Ao término da contagem de uma linha, desloca-se a lâmina para a próxima linha, paralela à anterior, com intervalo entre linhas de 1/3 mm. Dessa forma é possível analisar toda a área escolhida da lâmina. Os registros de contagem total dos pontos correspondentes a cada mineral, armazenados no contador, fornecem imediatamente a composição centesimal em volume de cada mineral, estabelecendo a proporção entre o número de pontos correspondentes a esse mineral e o número total de pontos.

O número de lâminas utilizadas para cada análise é determinado pelo “índice de Chayes” (IC) (ROUBAULT, 1982). Esse índice é, por convenção, o número de grãos dos minerais essenciais contados ao longo de uma ou duas linhas, totalizando um comprimento de 40mm, e seu conhecimento permite a utilização de três gráficos padrões em função do erro analítico máximo tolerado para os constituintes essenciais (1,4%; 2,0% e 2,4%). Esses diagramas fornecem o número de lâminas a serem utilizadas em função do IC e da superfície varrida em mm². No presente estudo foram utilizadas cinco lâminas, uma para cada pedreira monitorada.

3.7- Dados da cintilometria e doses correspondentes

Para a determinação do nível de radiação a que estão expostos os trabalhadores envolvidos na extração de “granitos” ornamentais, foi utilizado um cintilômetro calibrado no Laboratório de Metrologia do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, onde foi determinada a curva de calibração que está apresentada na Figura 6.

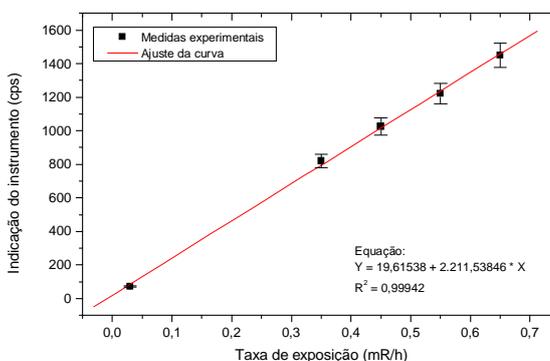


Figura 6 : Relação de conversão entre cps em R h⁻¹

3.8- Análise estatística

O cálculo de uma determinada medida de tendência central só se justifica em razão da variabilidade presente no meio ambiente. Entretanto, caso a variação seja grande, a utilização da média aritmética, como valor mais representativo, seria totalmente inadequada, devido à discrepância entre os valores. Em estudos radio lógicos não existem procedimentos estatísticos utilizados para reduzir os efeitos dos valores anômalos sobre a média aritmética. Sendo assim, para atenuar as flutuações estatísticas causadas pelos valores anômalos, os radioblogistas utilizam a média geométrica ou a mediana como valor mais representativo do conjunto de dados obtidos. (TOLEDO ;OVALLE , 1983).

No caso da média geométrica, utilizam-se os logaritmos dos valores obtidos da amostra, para se obter uma curva simétrica. Nesse caso, a média geométrica revela-se mais adequada que a aritmética. A mediana não é afetada pelos valores anômalos, sendo a medida de tendência central mais utilizada em análises estatísticas de dados discrepantes (TOLEDO ;OVALLE , 1983). Sabe-se também que a média aritmética é uma boa medida descritiva para dados com distribuição normal. No entanto, para a distribuição lognormal, deve-se utilizar a mediana como a melhor medida de tendência central para representar o rol de dados apresentados (SOUZA , 1992; OLIVEIRA et al., 1999b apud CARVALHO et al., 2002).

Tendo em vista que na distribuição normal a média aritmética é igual à moda e a mediana, para este estudo adotou-se a mediana como medida de tendência central, por ser mais representativa do conjunto de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Monitoração do Entreposto Regional de Exportação de Granitos

Como foi citado anteriormente, os trabalhos para avaliar a dose a que estavam expostos os trabalhadores ligados à extração de granitos ornamentais, foram iniciados no entreposto regional de exportação de granitos. As avaliações feitas no citado local podem ser observadas na Tabela 6. A presença de blocos graníticos no entreposto de vários estados da Região Nordeste, entre eles Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, nos permitiu estimar os valores de doses iniciais para o granito. Os granitos de Pernambuco tiveram doses que variaram de $0,60\text{mSv.a}^{-1}$ a $2,22\text{mSv.a}^{-1}$. Valores mais expressivos de doses foram observados no granito do estado do Rio Grande do Norte, com valores variando de $0,76\text{mSv.a}^{-1}$ a $3,86\text{mSv.a}^{-1}$, a média geral de todos os blocos monitorados no entreposto ficou em $1,51\text{mSv.a}^{-1}$, superior à dose recomendada internacionalmente de 1mSv.a^{-1} para pessoas do público.

Tabela 6 : Medidas radiométricas dos blocos graníticos do entreposto

Origem do granito	$\mu\text{R.h}^{-1}$	Desvio Padrão	$\mu\text{Sv.h}^{-1}$	mSv.a^{-1}
Pedra (PE)	81,80	6,54	0,82	1,64
Pedra (PE)	111,40	8,91	1,11	2,22
Pedra (PE)	63,40	5,07	0,63	1,26
Pedra (PE)	81,80	6,54	0,82	1,64
Garanhuns (PE)	30,20	2,42	0,30	0,60
Garanhuns (PE)	35,70	2,86	0,36	0,72
Santa Luzia (PB)	70,80	5,66	0,71	1,42
Picuí (PB)	52,30	4,18	0,52	1,04
Picuí (PB)	100,30	8,02	1,00	2,00
Currais Novos (RN)	54,20	4,34	0,54	1,08
Currais Novos (RN)	59,70	4,78	0,60	1,20
Currais Novos (RN)	118,70	9,50	1,19	2,38
Currais Novos (RN)	192,50	15,40	1,93	3,86
Currais Novos (RN)	37,50	3,00	0,38	0,76
Currais Novos (RN)	44,90	3,60	0,45	0,90

4.2- O granito Vermelho Rosa

A pedreira onde foram coletadas amostras dessa rocha, em destaque na Figura 7, doravante denominada de P01, está situada entre as cidades de Arcoverde e Pedra, entretanto encontra-se dentro do município de Arcoverde.



Figura 7 : Pedreira P01

A análise modal dessa rocha ornamental revelou que ela é um granito alcali-feldspático (granito alcalino) composto essencialmente por 72% de feldspato potássico, 21% de quartzo, 6,5% de plagioclásio e 0,7% de moscovita. O feldspato potássico tem cor rosa avermelhada, conferindo à rocha uma tonalidade de belo efeito visual (Figura 8).



Figura 8 : A aspecto visual do granito Vermelho Rosa

Na análise microscópica da amostra desse granito foram observados raros grãos de zircão, evidenciando um baixo teor de urânio e tório. Como esses grãos

apresentaram dimensões muito reduzidas ao microscópio, não foi feito o registro fotográfico da lâmina dessa rocha. A Tabela 7 mostra os valores das doses obtidas em cada um dos blocos monitorados na pedreira P01, os quais apresentavam as seguintes dimensões 3,2m x 1,80m x 1,5m. As doses obtidas nos paredões de cada uma das pedreiras correspondem ao maior valor de dose encontrado em cada uma delas, e constará doravante em cada uma das Tabelas de doses das pedreiras apresentadas. Nas pedreiras os blocos graníticos ficavam espalhados em grandes pátios, numa distância que não era possível a dose de um influenciar na dose do outro.

Tabela 7 : Doses medidas na pedreira P01

MEDIÇÕES	$\mu\text{R.h}^{-1}$	$\mu\text{Sv.h}^{-1}$	mSv.a^{-1}
1	22,8	0,23	0,46
2	29,6	0,30	0,60
3	29,6	0,30	0,60
4	31,8	0,32	0,64
5	31,8	0,32	0,64
6	34,1	0,34	0,68
7	36,4	0,36	0,72
8	36,4	0,36	0,72
9	36,4	0,36	0,72
10	38,6	0,39	0,78
11	40,9	0,41	0,82
12	40,9	0,41	0,82
13	40,9	0,41	0,82
14	40,9	0,41	0,82
15	45,4	0,45	0,90
16	45,4	0,45	0,90
17	47,7	0,48	0,96
18	49,9	0,50	1,00
19	52,2	0,52	1,04
20	54,4	0,54	1,08
21	54,4	0,54	1,08
22	54,4	0,54	1,08
23	59,0	0,59	1,18
24	63,5	0,64	1,28
25	77,0	0,77	1,54
26	77,0	0,77	1,54
27	81,6	0,82	1,64
28	86,1	0,86	1,72
29	90,6	0,91	1,82
30	95,1	0,95	1,90
31	104,2	1,04	2,08
32	113,2	1,13	2,26

Doravante, cada valor obtido corresponderá à média aritmética das diversas medições realizadas nas faces dos blocos que se encontravam armazenados no pátio das pedreiras. As discrepâncias observadas são em razão da distribuição não uniforme dos minerais radioativos presentes na rocha granítica.

Os parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 8 foram utilizados com o objetivo de se obter o perfil radiométrico da pedreira. Neste estudo, a mediana será adotada como a média de melhor representação desses perfis, em razão dessa medida (mediana) não sofrer a influência das eventuais discrepâncias nos valores mais elevados de doses obtidas, o que naturalmente ocorreria se fosse usada a média aritmética.

Tabela 8 : Parâmetros estatísticos da pedreira P01.

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	\dot{H} (mSv.a ⁻¹)
Moda	0,77
Mediana	0,90
Média aritmética	1,09
Faixa total de maior frequência	0,45 - 1,05 (59% dos valores)
Diferença percentual das doses extremas	80%

Obs : \dot{H} é a taxa de dose

As Figuras 9 e 10 mostram respectivamente o histograma de distribuição de dose e o teste para distribuição lognormal realizado para a P01.

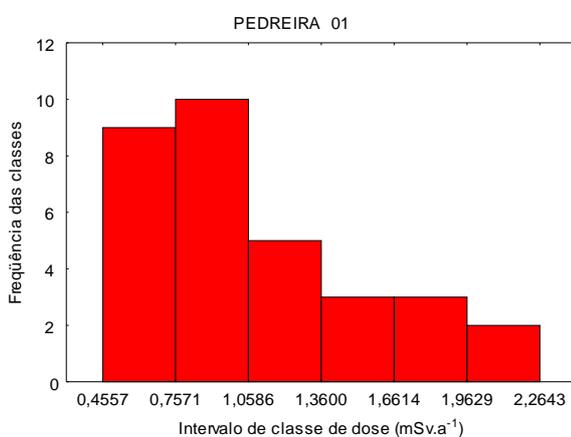


Figura 9 : Histograma de distribuição dos dados obtidos na pedreira P01.

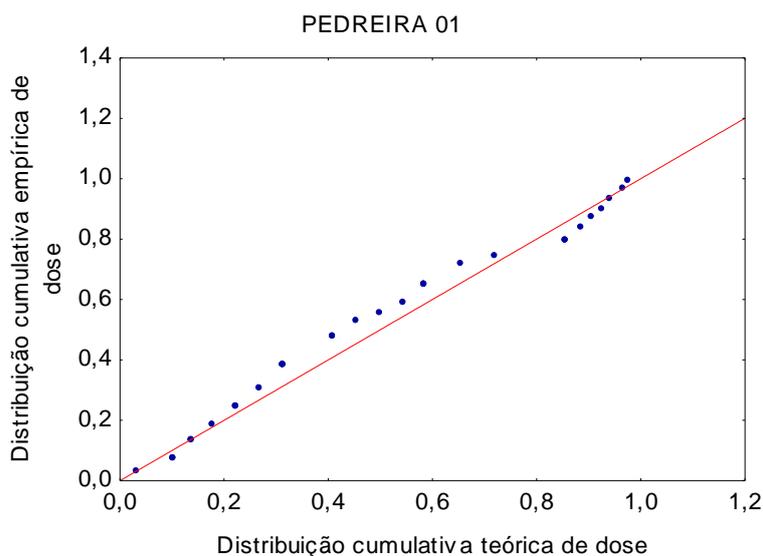


Figura 10 : Teste para distribuição lognormal.

As Figuras 9 e 10 confirmaram que, dificilmente, os valores de doses apresentadas na Tabela 7 tenderiam para a distribuição de probabilidade normal. Na Figura 10 tem-se o ajuste das doses experimentais para a distribuição lognormal. Ela foi construída com o intuito de se encontrar a medida de tendência central que melhor representasse o conjunto de doses registradas na pedreira. O resultado dessa averiguação leva a se considerar a mediana como melhor medida de tendência central para representar os valores de doses obtidos por razões já reveladas no método logia deste trabalho de pesquisa.

4.3 - O “granito” Rosa Imperial

Essa pedreira doravante denominada de P02 contém um “granito” heterogêneo (migmatito) de aspecto muito variado, de composição geral característica granítica, como pode ser vista na Figura 11. As amostras analisadas continham 23,2% de feldspato potássico, 39,5% de plagioclásio, 30,4% de quartzo, 6,2% de biotita, 0,5% de moscovita e 0,1% de opaco (magnetita) e tem por isso composição monzogranítica. Na análise mineralógica dessa rocha foram observados também grãos espaçados de minerais de zircão, associados a grãos minerais de biotita, produzindo nessa rocha halos de

isotropização (Figura 12). A Tabela 9 mostra, por ordem crescente, os valores médios de dose para cada bloco de granito monitorado na pedreira, que teve valor médio geral de dose para todo o conjunto de blocos analisados igual a $0,50\text{mSv a}^{-1}$, no obstante, este valor não foi utilizado para representar os níveis de doses dessas amostras e sim a mediana ($0,46\text{mSv a}^{-1}$), em razão de ser este valor, a medida de tendência central mais adequada para a situação em questão, como já foi explicado no método logia deste trabalho.

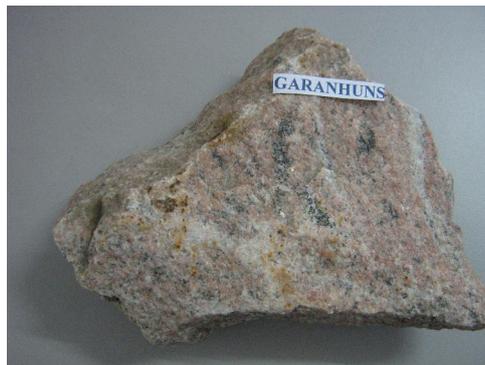


Figura 11: Amostra de granito de Garanhuns.

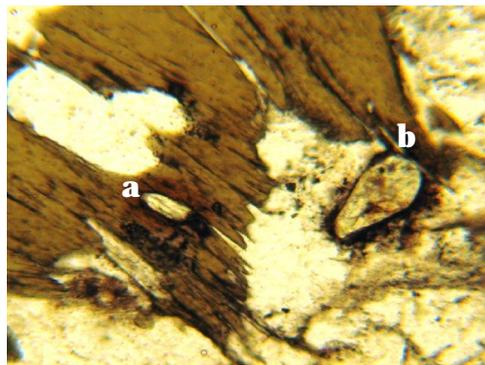


Figura 12: Zircão (a e b) produzindo halos de isotropização em biotita.

Nessa pedreira foram monitorados 40 blocos graníticos que se encontravam estocados no pátio. A escolha dos blocos para a monitoração foi feita de forma aleatória, como já foi explicado anteriormente, utilizou-se um cintilômetro portátil devidamente calibrado. Na Tabela 9 podem ser encontrados os valores médios individuais de doses de

cada bloco, bem como em destaque, os valores de doses mínimos e máximos encontrados no conjunto de blocos monitorados.

Tabela 9: Doses medidas na pedreira P02.

MEDIÇÕES	$\mu\text{R.h}^{-1}$	$\mu\text{Sv.h}^{-1}$	mSv.a^{-1}
1	13,7	0,14	0,28
2	13,7	0,14	0,28
3	16,0	0,16	0,32
4	16,0	0,16	0,32
5	16,0	0,16	0,32
6	16,0	0,16	0,32
7	18,3	0,18	0,36
8	18,3	0,18	0,36
9	18,3	0,18	0,36
10	18,3	0,18	0,36
11	18,3	0,18	0,36
12	18,3	0,18	0,36
13	18,3	0,18	0,36
14	18,3	0,18	0,36
15	18,3	0,18	0,36
16	20,5	0,20	0,40
17	22,8	0,23	0,46
18	22,8	0,23	0,46
19	22,8	0,23	0,46
20	22,8	0,23	0,46
21	22,8	0,23	0,46
22	22,8	0,23	0,46
23	22,8	0,23	0,46
24	22,8	0,23	0,46
25	25,0	0,25	0,50
26	25,0	0,25	0,50
27	25,0	0,25	0,50
28	27,3	0,27	0,54
29	27,3	0,27	0,54
30	27,3	0,27	0,54
31	27,3	0,27	0,54
32	27,3	0,27	0,54
33	27,3	0,27	0,54
34	31,8	0,32	0,64
35	31,8	0,32	0,64
36	36,4	0,36	0,72
37	40,8	0,41	0,82
38	40,8	0,41	0,82
39	59,0	0,59	1,18
40	72,5	0,72	1,44

Os valores de doses variaram de $0,28 \text{ mSv a}^{-1}$ a $1,44 \text{ mSv a}^{-1}$ com mediana igual a $0,4 \text{ mSv a}^{-1}$, sendo esta pedreira juntamente com a P05 que apresentaram menor mediana do conjunto de pedreiras monitoradas.

Os parâmetros estatísticos da Tabela 10 foram utilizados para se obter o perfil radiométrico da pedreira.

Tabela 10: Parâmetros estatísticos da pedreira P02.

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	\dot{H} (mSv.a ⁻¹)
Moda	$0,39 \text{ mSv a}^{-1}$
Mediana	$0,48 \text{ mSv a}^{-1}$
Média aritmética	$0,50 \text{ mSv a}^{-1}$
Faixas de maior frequência	$0,27 \text{ mSv a}^{-1} - 0,66 \text{ mSv a}^{-1}$ (87,3% dos valores)
Diferença percentual das doses extremas	80,55% .

O histograma de distribuição correspondente aos dados da Tabela 9 e o teste de normalidade podem ser vistos nas Figuras 13 e 14, respectivamente.

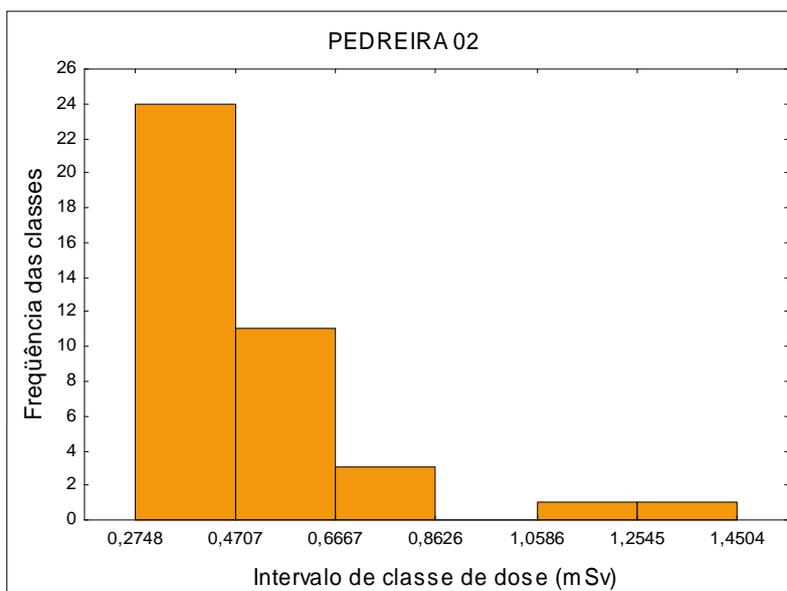


Figura 13: Histograma de distribuição dos dados obtidos na pedreira P02

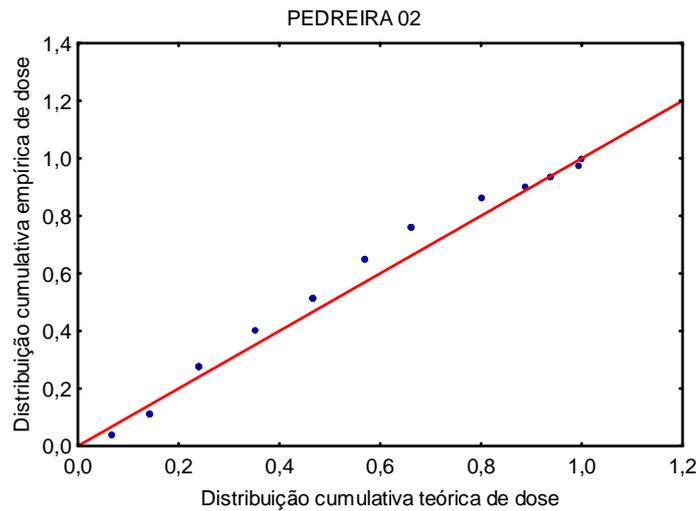


Figura 14: Teste para a distribuição lognormal P02.

As Figuras 13 e 14 confirmaram, realmente, o que já era praticamente esperado, isto é, que dificilmente os valores de doses apresentadas na Tabela 9 tenderiam para a distribuição de probabilidade normal. Na Figura 14 tem-se o ajuste das doses experimentais para a distribuição lognormal, uma avaliação matemática do comportamento dos dados obtidos.

4.4 O “granito” Marrom Imperial P03

O granito marrom imperial apresentado na Figura 15 ocorrendo na forma de matacões e maciços rochosos que se distribuem por uma vasta área. Trata-se petrograficamente de um sienito alcali-feldspático, formado essencialmente por feldspato potássio (74,5%) com lamelas de orbital (~8%), biotita (1,2%), apatita (0,4%) e zircão (0,2%), quartzo (2,4%), anfíblio (12,5%) e opaco (0,1%). A análise microscópica revelou pequenos grãos de zircão e de allanita dispersos pela rocha, sendo a allanita relativamente rara, mas um pouco mais radioativa que o zircão, evidenciado pela diferença dos halos de isotropização, que aumenta de tamanho com o aumento da radioatividade. A allanita está quase exclusivamente associada a anfíblio, enquanto o zircão, além de associado ao anfíblio e ao mineral opaco (magnetita), ocorre também freqüentemente em grão de microclina (Figura 16).



Figura 15: A specto visual dos blocos do granito Marrm Imperial.

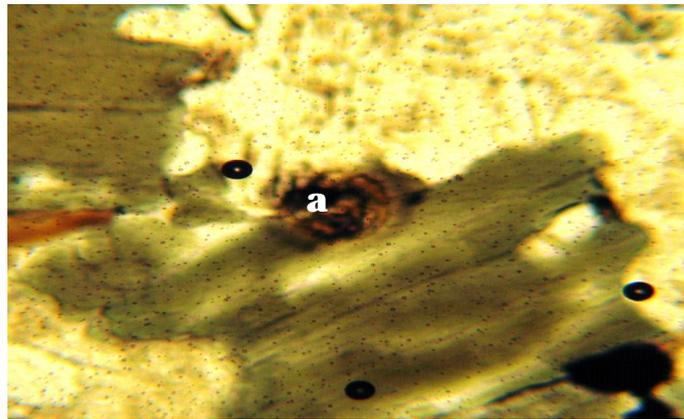


Figura 16 :Grão de allanita (a) auto-isotropizado, com halo de isotropização no anfibólio do “granito” “Marrm Imperial”.

São duas as áreas de lavra (extração), sendo a primeira desenvolvida por uma empresa de mineração que faz a extração em maciços rochosos, e a segunda é trabalhada pela União de Mármores e Granitos do Nordeste Ltda que extrai a matéria-prima de matacões. A produção nessas duas jazidas é da ordem de 100m^3 de blocos aparelhados por mês e, desse total, cerca de 60m^3 /mês destinam-se à exportação (UFRJ, 2006).

Nessa pedreira foram monitorados 30 blocos graníticos que também se encontravam estocados no pátio. A escolha dos blocos para a monitoração foi feita da mesma forma que na pedreira anterior, e utilizou-se o mesmo instrumento de monitoração ambiental.

Na Tabela 11 podem ser encontrados os valores médios individuais de doses de cada bloco, bem como em destaque, os valores de doses mínimos e máximos encontradas no conjunto de blocos monitorados.

Tabela 11: Doses medidas na pedreira P03.

MEDIÇÕES	$\mu\text{R.h}^{-1}$	$\mu\text{Sv.h}^{-1}$	mSv.a^{-1}
1	45,4	0,45	0,90
2	45,4	0,45	0,90
3	45,4	0,45	0,90
4	45,4	0,45	0,90
5	45,4	0,45	0,90
6	45,4	0,45	0,90
7	45,4	0,45	0,90
8	49,9	0,50	1,00
9	49,9	0,50	1,00
10	54,4	0,54	1,08
11	54,4	0,54	1,08
12	54,4	0,54	1,08
13	59,0	0,59	1,18
14	59,0	0,59	1,18
15	72,5	0,73	1,46
16	72,5	0,73	1,46
17	77,0	0,77	1,54
18	81,6	0,82	1,64
19	81,6	0,82	1,64
20	90,6	0,91	1,82
21	95,1	0,95	1,90
22	95,1	0,95	1,90
23	99,7	0,98	1,96
24	99,7	0,98	1,96
25	99,7	0,98	1,96
26	99,7	0,98	1,96
27	104,2	1,04	2,08
28	104,2	1,04	2,08
29	108,7	1,09	2,18
30	117,7	1,18	2,36

Os valores de doses variaram de $0,90\text{mSv.a}^{-1}$ a $2,36\text{mSv.a}^{-1}$ com mediana igual a $1,4\text{mSv.a}^{-1}$, sendo esta pedreira a que apresentou maior dose mediana do conjunto de pedreiras monitoradas.

Os parâmetros estatísticos da Tabela 11 foram utilizados para se obter o perfil radimétrico da pedreira (Tabela 12).

Tabela 12 : Parâmetros estatísticos da pedreira P03.

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	\dot{H} (mSv.a ⁻¹)
Moda	0,39mSv.a ⁻¹
Mediana	1,46mSv.a ⁻¹
Média aritmética	1,46mSv.a ⁻¹
Faixas de maior frequência	0,90mSv.a ⁻¹ - 2,11mSv.a ⁻¹ (66,66% dos valores)
Diferença percentual das doses extremas	62%

Nota : 0,9 – 1,15 (40% das medidas); 1,87 – 2,11 (27% das medições)

De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov os dados apresentados na Figura 17 em relação aos valores de dose verificou-se uma distribuição de probabilidade beta.

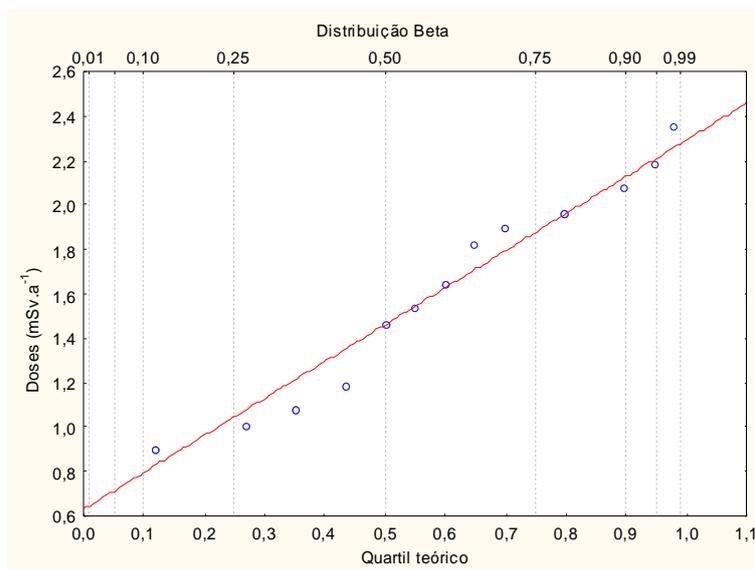


Figura 17: Teste para a verificação da distribuição beta

4.5- O Granito Relíquia

Uma das rochas ornamentais exploradas no município de Algoínia (P04), perto de Pesqueira, recebeu o nome comercial de “granito relíquia”. Desconhecemos o real motivo dessa denominação. Sabemos apenas que a rocha, um monzogranito, apresenta, macroscopicamente, estrias de biotita e anfíbolo de tamanhos variados e irregularmente distribuídos pela rocha (Figura 18). A amostra estudada tem a seguinte composição aproximada: feldspato potássico: 36% , plagioclásio: 25% , quartzo: 36% , biotita: 2,8% , anfíbolo: 0,8% , apatita: 0,1% , e moscovita: 0,1% . Podem ser observados no microscópio pequenos grãos de zircão dispersos na rocha, associados principalmente à biotita, onde produzem halos de isotropização, mas inclusos também em grãos de feldspato e de quartzo (Figura 19). Na Tabela 9 estão apresentados os dados coletados na amostragem de blocos e paredes da pedreira. (Figuras 20 e 21).

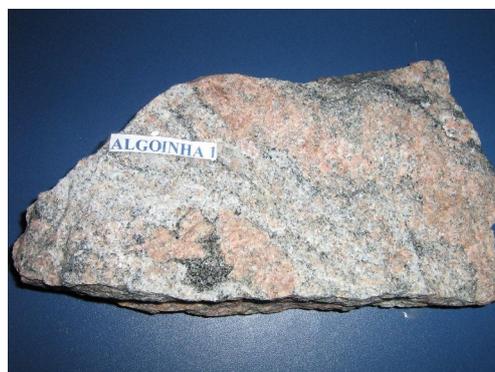


Figura 18: Amostra de rocha granítica da P04.



Figura 19: Grão de zircão (a) produzindo forte halo de isotropização em biotita.



Figura 20: Frente de lavra da Pedreira P04.

Nesta figura observam-se diversos trabalhadores em atividade na extração do granito numa frente de lavra, utilizando para perfurar os blocos graníticos martelotes pneumáticos.



Figura 21: Recorte de blocos com martete pneumático em assa expansiva.

Nesta figura observa-se a técnica de recorte dos blocos graníticos, onde inicialmente são riscados de forma a se ter um melhor aproveitamento da matéria-prima, reduzindo-se assim a perda de material granítico.

Nessa pedreira foram monitorados 29 blocos graníticos que também se encontravam estocados no pátio. Os blocos também foram monitorados de forma aleatória, e se utilizou o mesmo instrumento de monitoração ambiental. Na Tabela 13 podem ser encontrados os valores médios individuais de doses de cada bloco, bem como em destaque, os valores de doses mínimos e máximos encontradas no conjunto de blocos monitorados.

Tabela 13: Doses medidas na pedreira P04

MEDIÇÕES	$\mu\text{R.h}^{-1}$	$\mu\text{Sv.h}^{-1}$	mSv.a^{-1}
1	22,8	0,23	0,46
2	22,8	0,23	0,46
3	27,3	0,27	0,54
4	27,3	0,27	0,54
5	27,3	0,27	0,54
6	29,6	0,30	0,60
7	29,6	0,30	0,60
8	31,8	0,32	0,64
9	31,8	0,32	0,64
10	31,8	0,32	0,64
11	31,8	0,32	0,64
12	31,8	0,32	0,64
13	31,8	0,32	0,64
14	34,1	0,34	0,68
15	34,1	0,34	0,68
16	34,1	0,34	0,68
17	36,4	0,36	0,72
18	36,4	0,36	0,72
19	36,4	0,36	0,72
20	36,4	0,36	0,72
21	36,4	0,36	0,72
22	36,4	0,36	0,72
23	36,4	0,36	0,72
24	40,8	0,41	0,82
25	40,8	0,42	0,82
26	40,8	0,41	0,82
27	45,4	0,45	0,90
28	45,4	0,45	0,90
29	49,9	0,50	1,00

Os dados da Tabela 14 foram usados para obtenção do perfil radiométrico da pedreira enquanto que as Figuras 22 e 23 mostram, respectivamente, o histograma de frequência e o teste de normalidade.

Tabela 14 : Parâmetros estatísticos da P04

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	\dot{H} (mSv.a ⁻¹)
Moda	0,67mSv.a ⁻¹
Mediana	0,68mSv.a ⁻¹
Média aritmética	0,69mSv.a ⁻¹
Faixa total de maior frequência	0,64mSv.a ⁻¹ - 0,73mSv.a ⁻¹
Diferença percentual das doses extremas	48% .

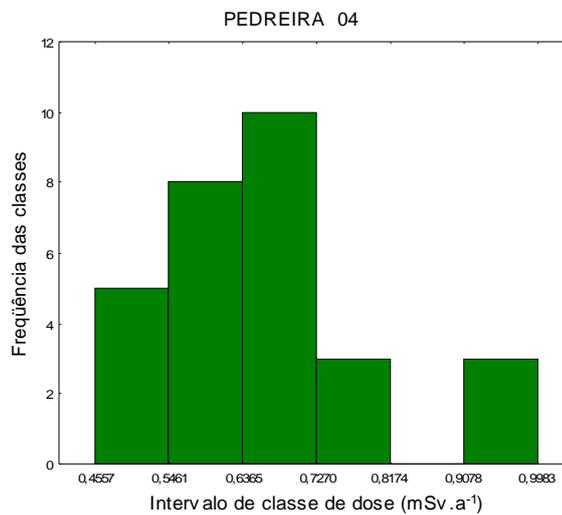


Figura 22: Histograma das frequências dos intervalos de classes P04.

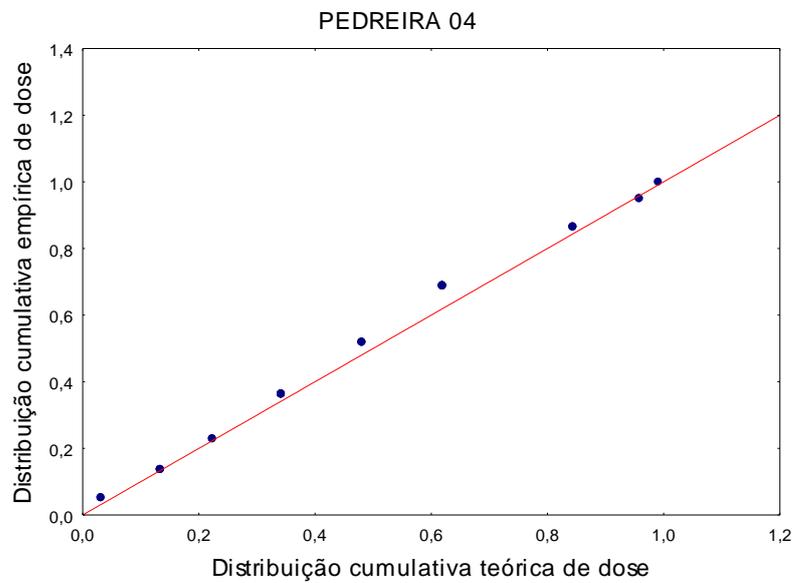


Figura 23: Teste para a distribuição normal P04.

Essas Figuras confirmaram que, dificilmente, os valores de doses apresentadas na Tabela 13 tenderiam para a distribuição de probabilidade lognormal. Na Figura 24 tem-se o ajuste das doses experimentais para a distribuição lognormal. Pode-se a partir da confirmação da distribuição se determinar com exatidão a medida de tendência central que melhor representa o conjunto de dados obtidos. Para o caso em questão poderá ser tomada qualquer uma das medidas de tendência central visto que na distribuição de frequência normal a média aritmética é igual à moda e à mediana.

Essa última mostra que, apesar da lacuna no intervalo de $0,82\text{mSv.a}^{-1}$ a $0,90\text{mSv.a}^{-1}$, a distribuição é normal, o que é corroborado pela prática coincidência da moda, mediana e média aritmética. Logo essas figuras confirmaram que, dificilmente, os valores de doses apresentadas na Tabela 13 tenderiam para a distribuição de probabilidade lognormal. Na Figura 24 tem-se o ajuste das doses experimentais para a distribuição normal. Pode-se a partir da confirmação da distribuição se determinar com exatidão a medida de tendência central que melhor representa o conjunto de dados obtidos, no caso em questão poderá ser usada qualquer uma das medidas de tendência central, como medida de tendência central mais representativa, como já foi explicitado anteriormente.

4.6- O Granito Quinágua da P05

Trata-se de uma rocha heterogênea (gnáptica), de composição geral monzogranítica, formada por leitos largos (em geral $\pm 2\text{m}$) de minerais félsicos (claros) e leitos estreitos (geralmente $\pm 2\text{m}$) de minerais máficos (escuras), aproximadamente paralelos (Figura 24). A composição mineralógica da amostra estudada é: 23% de feldspato potássico, 33% de plagioclásio, 37% de quartzo, 6% de biotita, 0,3% de anfíblio, 0,3% de epidoto, 0,2% de opaco, e 0,2% de moscovita. A rocha contém ainda pequenos grãos de allanita e zircão associados à biotita e anfíblio, onde produzem halos de isotropização (Figura 25).



Figura 24: A specto v isual da rocha gran ítica



Figura 25 : Cristal de allanita (a) parcialmente removido durante a laminação.

Nesta pedreira foram monitorados 30 blocos graníticos que também se encontravam estocados no pátio. Os blocos foram monitorados como citado anteriormente utilizando o mesmo instrumento de monitoração ambiental. Na Tabela 15 podem ser encontrados os valores médios individuais de doses de cada bloco, bem como em destaque os valores de doses mínimos e máximos encontrados no conjunto de blocos monitorados.

Tabela 15 : Doses medidas na pedreira P05.

MEDIÇÕES	$\mu\text{R.h}^{-1}$	$\mu\text{Sv.h}^{-1}$	mSv.a^{-1}
1	18,3	0,18	0,36
2	18,3	0,18	0,36
3	18,3	0,18	0,36
4	18,3	0,18	0,36
5	18,3	0,18	0,36
6	20,5	0,21	0,42
7	20,5	0,21	0,42
8	20,5	0,21	0,42
9	20,5	0,21	0,42
10	20,5	0,21	0,42
11	20,5	0,21	0,42
12	20,5	0,21	0,42
13	20,5	0,21	0,42
14	20,5	0,21	0,42
15	20,5	0,21	0,42
16	20,5	0,21	0,42
17	22,8	0,23	0,46
18	22,8	0,23	0,46
19	22,8	0,23	0,46
20	22,8	0,23	0,46
21	22,8	0,23	0,46
22	22,8	0,23	0,46
23	22,8	0,23	0,46
24	22,8	0,23	0,46
25	25,0	0,25	0,50
26	25,0	0,25	0,50
27	25,0	0,25	0,50
28	25,0	0,25	0,50
29	27,3	0,27	0,54
30	27,3	0,27	0,54

Os parâmetros estatísticos da Tabela 15 foram utilizados para se obter o perfil radiométrico da pedreira (Tabela. 16).

Tabela 16 : Parâmetros estatísticos da pedreira P05.

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	\dot{H} (mSv.a^{-1})
Moda	0,40 mSv.a^{-1}
Mediana	0,42 mSv.a^{-1}
Média aritmética	0,42 mSv.a^{-1}
Faixa total de maior frequência	0,39 mSv.a^{-1} - 0,42 mSv.a^{-1}
Diferença percentual das doses extremas	33%

O histograma de distribuição dos dados e o teste de normalidade podem ser vistos nas Figuras 27 e 28, respectivamente. Essas Figuras confirmaram que, dificilmente, os valores de doses apresentadas na Tabela 15 tenderiam para a distribuição de probabilidade lognormal. Na Figura 26 tem-se o ajuste das doses experimentais para a distribuição lognormal pode-se a partir da confirmação da distribuição se determinar com exatidão a medida de tendência central que melhor representa o conjunto de dados obtidos, para o caso em questão poderá ser tomada qualquer uma das medidas de tendência central visto que na distribuição de frequência normal a média aritmética é igual à moda e à mediana.

Nas Figuras 26 e 27 estão apresentados, respectivamente, o histograma de frequência e o teste de lognormalidade realizado para a P05.

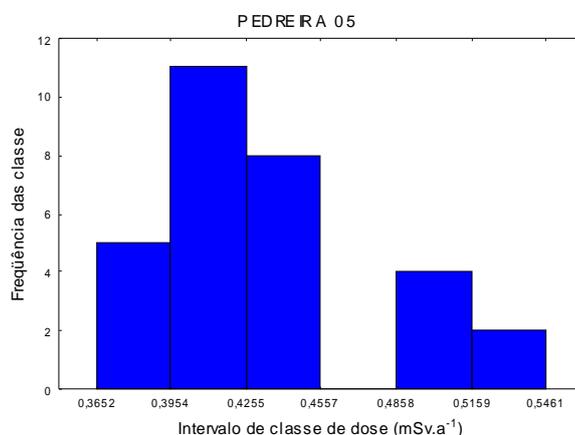


Figura 26 :Histograma das frequências dos intervalos de classes P05.

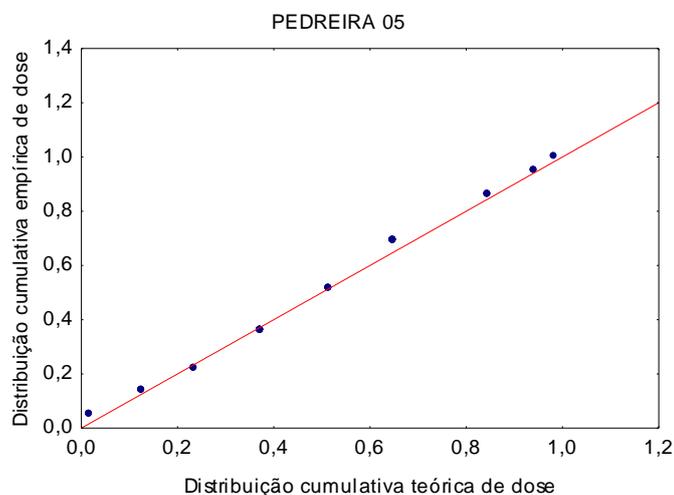


Figura 27: Teste para a distribuição lognormal P05

A Figura 27 mostra que a distribuição estatística das medições tende a uma distribuição lognormal.

4.7- Análise comparativa das médias de doses individuais de cada bloco

Os resultados do estudo comparativo das doses em itidas individualmente pelos blocos monitorados em cada uma das pedreiras estudadas, estão representados na Figura 28.

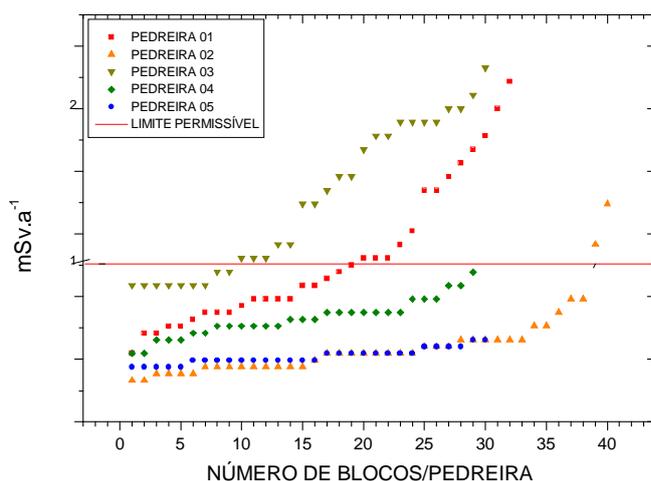


Figura 28 : Representação gráfica dos blocos monitorados por pedreira e os respectivos valores de doses.

Há uma grande diversidade de valores obtidos nas leituras em cada pedreira, que é justificada por variações nas concentrações e distribuição de minerais radioativos nos diversos blocos extraídos. As pedreiras P01 e P02 e P03 foram as que apresentaram os valores mais discrepantes. As diferenças percentuais chegaram a 80% , 81% e 62% , respectivamente. As respectivas medianas foram de 0,9mSv.a⁻¹ ; 0,44mSv.a⁻¹ e 1,4mSv.a⁻¹ , respectivamente. Na Figura 29 são apresentadas as doses medianas obtidas em cada pedreira.

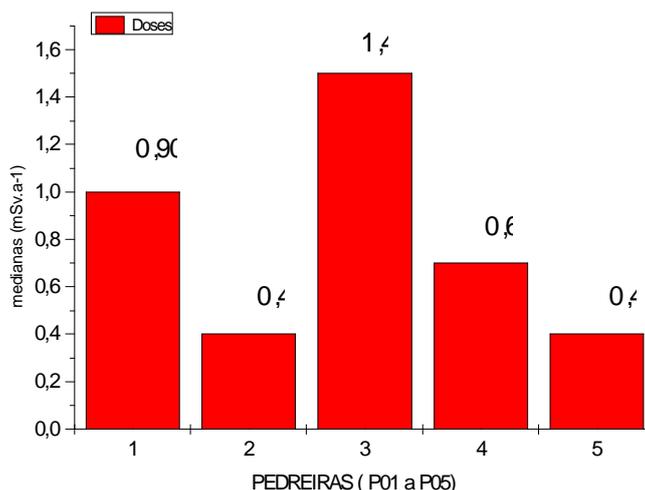


Figura 29 : Dose mediana dos conjuntos de blocos monitorados nas diferentes pedreiras estudadas.

As doses médias mais baixas foram detectadas nas pedreiras P05 com valor igual a $0,42\text{mSv a}^{-1}$ e P02 com dose igual a $0,46\text{mSv a}^{-1}$. Apesar de se estar comparando rochas graníticas, observa-se que houve variação significativa entre os valores das doses obtidas entre as pedreiras, apresentando variação máxima de $1,04\text{mSv a}^{-1}$ e mínima de $0,04\text{mSv a}^{-1}$. As variações das doses ocorrem em função das variações das concentrações de minerais radioativos, que apresentam na constituição uma variada composição de radionuclídeos da série do ^{238}U e do ^{232}Th , acompanhados de ^{40}K .

Os dados estatísticos (moda, mediana e média aritmética), bem como os gráficos apresentados, mostram com detalhe a distribuição dos dados de cada pedreira. Em particular, o conjunto (moda – mediana – média aritmética) é muito útil para avaliação da simetria ou assimetria de um conjunto de dados. Dessa forma podemos afirmar que os dados das pedreiras P01 e P02 tendem a uma distribuição lognormalidade, e os da pedreira P04 e P05 têm uma distribuição simétrica. O conjunto de dados encontrados na pedreira P03 tem uma distribuição polimodal, o que caracteriza uma distribuição de radionuclídeo menos dispersa nos blocos graníticos monitorados, apresentando valores concentrados em três pontos distintos. Contudo, o conjunto moda – mediana – média aritmética mostra que a distribuição é assimétrica à direita, existindo uma tendência geral a lognormalidade, o que é comprovado pelo teste de distribuição lognormal.

Esse caso requer provavelmente um número de dados maior do que o observado a fim de desfazer a polimodalidade encontrada. A representação gráfica das medidas das

doses das cinco pedreiras está exibida na Figura 30, por meio de “*Boxplot*”. Observa-se que as doses da P05 estão muito próximas, enquanto na P03 estão muito dispersas em relação à mediana, comprovando mais uma vez o comportamento aleatório na distribuição natural dos radionuclídeos.

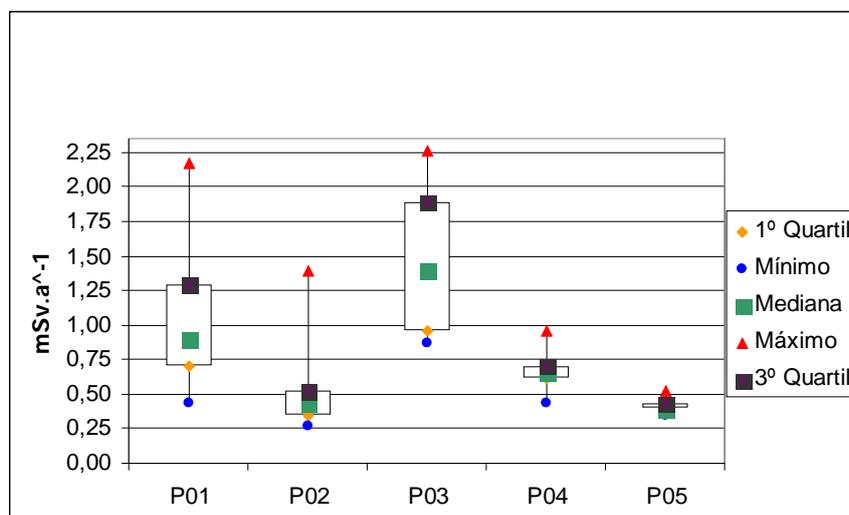


Figura 30 : Boxplot das doses do conjunto de pedreiras monitoradas

À exceção da pedreira P03, os valores radiométricos médios verificados nas pedreiras P01 a P05 ficaram abaixo do valor permitível para pessoas do público, que é de 1 mSv a^{-1} . Esses valores nos asseguram que os trabalhadores ora expostos nessas frentes de lavra não estão recebendo doses de radiação gama que possa oferecer riscos à saúde. Os valores um pouco elevados das doses encontradas no “granito” da pedreira P03 são justificados por uma maior concentração de minerais radioativos nesse material rochoso.

Os resultados obtidos nas monitorações radiométricas das pedreiras de granito do estado de Pernambuco revelaram doses compatíveis com diversos estudos realizados no Brasil e em outras partes do mundo. As pesquisas realizadas na UFRJ com o granito Marron Imperial do Município de Bom Jardim revelaram doses de $0,60 \text{ mSv a}^{-1}$, enquanto no presente estudo 59% das doses ficaram entre $0,45 \text{ mSv a}^{-1}$ e $1,05 \text{ mSv a}^{-1}$.

Em outro estudo, realizado por Salas et al (2004), com granitos comerciais brasileiros, os autores encontraram doses variando de $0,11 \text{ mSv a}^{-1}$ a $0,34 \text{ mSv a}^{-1}$, valores

próximos aos encontrados nas pedreiras P02 de $0,46\text{mSv a}^{-1}$, e a P05 que apresentou mediana de $0,42\text{mSv a}^{-1}$.

Em um outro estudo recente Salas et al (2004), após analisar 100 amostras de granitos comercializados no Brasil na cidade de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais, utilizando diversas técnicas de análises, encontraram doses de $0,11\text{mSv a}^{-1}$ a $0,34\text{mSv a}^{-1}$ para o conjunto de amostras investigadas. Estudos mais recentes realizados na Grécia por Pavlidou (2006), utilizando dezesseis amostras de diferentes tipos de granitos utilizados como material de construção, importados do Brasil e Espanha, revelaram níveis de doses acima do limite recomendado internacionalmente de $1,0\text{mSv a}^{-1}$ para a exposição de pessoa do público. Foram encontradas concentrações de ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K da ordem de 64Bq.kg^{-1} , 81Bq.kg^{-1} e 1104Bq.kg^{-1} , respectivamente.

Em outro estudo, realizado por Tzortzis (2003), utilizando amostras de uma variedade de piso granítico pulverizado da Ilha de Chipre, nas proximidades da Turquia, constatou, por meio de espectrometria gama de alta resolução, que as concentrações de radionuclídeos são ainda mais elevadas, pois as concentrações de ^{232}Th variaram de 1 a 906Bq.kg^{-1} , as de ^{238}U de 1 a 588Bq.kg^{-1} , enquanto as de ^{40}K foram de 50Bq.kg^{-1} a 1606Bq.kg^{-1} . A taxa de dose efetiva total no interior da construção, em que foi utilizado o referido piso de granito, apresentou 50% das amostras com doses entre $0,02\text{mSv a}^{-1}$ e $2,97\text{mSv a}^{-1}$, e com 25 (44,64%) delas apresentando doses nesse intervalo iguais a $0,3\text{mSv a}^{-1}$; duas outras atingiram o limite de dose e apenas uma das amostras apresentou dose superior a 1mSv a^{-1} . Uma das maiores concentrações de ^{232}Th e ^{226}Ra em granitos ornamentais, utilizados como material de construção, foram encontradas em estudos realizados por Soratin (1979), na Áustria. O estudo revelou uma concentração média de ^{232}Th de $24,6\text{Bq.kg}^{-1}$, com valores variando de 16Bq.kg^{-1} a $185,9\text{Bq.kg}^{-1}$ e uma concentração média de $55,4\text{Bq.kg}^{-1}$ de ^{226}Ra , com valores variando entre $9,7\text{Bq.kg}^{-1}$ e $117,2\text{Bq.kg}^{-1}$.

Estudos realizados por El-Shershaby (2002) no nordeste do deserto do Egito, analisando 50 amostras do granito de Gable Gattar II por meio de espectrometria gama, utilizando um detector de germânio hiperpuro, revelaram que as concentrações de ^{238}U e ^{232}Th variaram de $165\text{Bq.kg}^{-1} \pm 5$ a $27851\text{Bq.kg}^{-1} \pm 836$ e $71\text{Bq.kg}^{-1} \pm 2$ a $274\text{Bq.kg}^{-1} \pm$

8, respectivamente. Observou também que as doses de ^{40}K mudam somente ligeiramente ($1048 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 31$ a $1230 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 37$)

Outra pesquisa também utilizando espectrometria gama, foi realizada por Ajayi e Kuforiji (2000) nos estados de Ondo e Ekiti na Nigéria. A natureza radioativa do granito foi mais uma vez mensurada, dessa vez por meio de um detector de iodeto de sódio (NaI). A análise espectrométrica revelou concentrações de ^{40}K em torno de $4,75 \text{ Bq.kg}^{-1}$ enquanto para o ^{238}U foi encontrado o valor de $13,38 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 0,02$ e para o ^{232}Th eles encontraram $3,31 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 0,02$.

Hizem et al (2005) estudaram materiais de construção utilizados na Tunísia, entre eles granitos importados da Itália. O estudo revelou que as concentrações de rádio e de tório não excederam 40 Bq.kg^{-1} , mas a concentração de potássio variou de 50 Bq.kg^{-1} até 1215 Bq.kg^{-1} . Nesse último caso, os valores mais elevados foram encontrados no cimento (33 Bq.kg^{-1}), na cal (31 Bq.kg^{-1}), no cascalho (33 Bq.kg^{-1}), no tijolo (39 Bq.kg^{-1}), enquanto o granito apresentou valor de 27 Bq.kg^{-1} , compatível com sua natureza radiológica. Demonstrando que em alguns casos outros materiais utilizados nas construções podem apresentar valores de radionuclídeos naturais superiores à encontrados em alguns granitos ornamentais. Por outro lado, em pesquisas realizadas no Egito por El-Arabi (2006), utilizando espectrometria gama, os vários radionuclídeos das amostras de granito foram identificados com base nos seus picos espectrais característicos. O ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K foram obtidos em função dos parâmetros radiológicos, após a análise de 49 amostras de granito, e indicaram concentrações diferentes para os mesmos radionuclídeos, que dependeram da idade do granito. Para os granitos velhos as concentrações de ^{226}Ra ficaram entre $2,9 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 1$ e $31,8 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 6$, a de ^{232}Th ficou entre $1,4 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 1$ e $14,9 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 4$ e a de ^{40}K entre $132 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 11$ e $2080 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 46$, os granitos novos apresentaram valores superiores aos dos granitos velhos, as concentrações variaram de $8,9 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 3$ a $9087 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 95$, $98,8 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 3$ e $3834 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 62$, e entre $471 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 22$ e $10230 \text{ Bq.kg}^{-1} \pm 101$, respectivamente. A dose externa anual das áreas de estudo do Egito ficou entre $0,04 \text{ mSv a}^{-1}$ e $30,37 \text{ mSv a}^{-1}$, indicando tratar-se de uma área de elevada radioatividade natural.

Em estudo recente, Osmanoglu (2006) após analisar 40 amostras de granitos da Turquia, por meio de espectrometria gama utilizando um detector de germânio hiperpuro,

obteve valores médios das concentrações de ^{238}U igual a $15,9\text{Bq.kg}^{-1}$, de ^{232}Th igual a $33,8\text{Bq.kg}^{-1}$ e de ^{40}K equivalentes a 359Bq.kg^{-1} . A taxa de dose devido à atividade mais elevada não excedeu a dose de $0,4\text{mSv.a}^{-1}$, bem abaixo do limite de dose admissível para pessoas do público, segundo recomendações internacionais.

Tzortzis (2003), analisando o granito da Ilha de Chipre, obteve 50% das doses de amostra com valor de dose entre $0,02\text{mSv.a}^{-1}$ e $2,97\text{mSv.a}^{-1}$ e 44,64% delas com valor de $0,3\text{mSv.a}^{-1}$. Resultados semelhantes também foram obtidos no presente trabalho, onde foram observados blocos graníticos com valores de dose variando de $0,28\text{mSv.a}^{-1}$ a $2,36\text{mSv.a}^{-1}$. Entretanto, El-Arabi (2006), analisando 49 amostras graníticas do Egito, classificadas por ele como granitos novos e velhos, obteve valores de doses para área externa ao local de estudo variando de $0,04\text{mSv.a}^{-1}$ a $30,37\text{mSv.a}^{-1}$. Como no presente estudo as doses variaram de $0,28\text{mSv.a}^{-1}$ a $2,36\text{mSv.a}^{-1}$, observou-se que o limite superior está uma ordem de grandeza acima daquela encontrada neste estudo.

Na literatura encontrou-se uma pequena diferença nos valores de doses para os “granitos”, este fato pode ser justificado pela diversidade de “granitos” encontrados em diversas partes do mundo, que apresentam na sua maioria distribuição não homogênea de minerais radioativos. No tocante às diferenças entre este estudo e os valores encontrados na literatura, são justificados também pela diversificação de granitos estudados e pela diferença de método de análise utilizada, uma vez que no presente estudo se utilizou um cintilômetro e nos demais estudos aqui mencionados foram utilizados espectrometria gama de alta resolução.

5. CONCLUSÕES

A metodologia usada neste trabalho permitiu avaliar o nível de radiação ambiental a que estão expostos os trabalhadores das pedreiras ativas de rochas ornamentais de Pernambuco. Dessa forma chegou-se às seguintes conclusões:

- 1) Apesar de todas as pedreiras monitoradas serem de rochas graníticas, os níveis de dose apresentaram uma faixa de $0,28\text{mSv a}^{-1}$ a $2,36\text{mSv a}^{-1}$.
- 2) A pedreira P03 apresentou o maior nível de radioatividade entre as pedreiras estudadas, devido ao maior teor de minerais radioativos. Enquanto as pedreiras P02 e P05 apresentaram os menores níveis de radioatividade. Nesse último caso, observou-se que os níveis de feldspato potássico eram mais baixos que nos outros casos estudados.
- 3) Embora os “granitos” sejam portadores de radionuclídeos das séries naturais do ^{238}U e do ^{232}Th , concluiu-se que os níveis de radioatividade encontrados nessas rochas, estudados foram influenciados diretamente pelos teores de ^{40}K presentes nessas rochas.
- 4) A pedreira P03 apresentou doses muito dispersas em relação à mediana, demonstrando uma distribuição menos uniforme dos minerais radioativos, enquanto a pedreira P05 apresentou a menor dispersão em relação à mediana dentro do conjunto de pedreiras estudadas, demonstrando uma distribuição mais uniforme dos seus minerais radioativos.
- 5) À exceção da P03, o nível de radioatividade, das pedreiras P01, P02, P04 e P05, com base na mediana, estão abaixo do limite permitível para pessoa do público adotado pela CNEN, que é de 1mSv a^{-1} .
- 6) Na pedreira P03, a dose mediana foi superior à dose limite para indivíduos do público, que é de 1mSv a^{-1} , conforme estabelecido pela Norma da CNEN.

7) Tendo em vista que este tipo de atividade não atingiu o limite de exposição para os trabalhadores da área radiológica estabelecido pela CNEN, conclui-se que a extração do granito nas frentes de lavras das cinco pedreiras ativas de Pernambuco é, até a presente data, uma atividade que não oferece riscos à saúde no que diz respeito à proteção radiológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAYI, IR.; KUFORIJ, O. Q. Natural radioactivity measurements in rock samples of Ondo and Ekiti states in Nigeria. **Radiation Measurements** . v. 33, p. 13-16, 2001.

ANDRÓS, R. M.; VEIGA, R.; SOARES, T.; SANTOS, A. N. A.; AGUIAR, J. G.; FRASCA, M. H. B. O.; BRAGE, J. A. P.; UZÊDA, D.; MANGIAL, L.; FACURE, A.; MOSQUERA, B.; CARVALHO, C.; GOMES, P. R. S. Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. **Radiation Measurements** . v. 39, p. 245-253, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **ABIROCHAS, 2004**: catálogo de rochas ornamentais do Brasil. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>> . Acesso em : 24 Set. 2006.

CEMBER, H. **Introduction to Health Physics** : New York: McGraw Hill, 1996. 733 p.

COWART, JB.; BURNETT, W. C. The distribution of uranium and thorium decay-series radionuclides in the environment – a review. **Journal of Environmental Quality** , v. 23, p. 651-662, 1994.

EISENBUD, M.; GESELL, T. **Environmental Radioactivity**: From natural, industrial, and military sources. New York: Academic Press, 1997. 656 p.

EL-ARABI, A. M. ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications. **Radiation Measurements** . v. 42, p. 94-100, 2007.

EL-SHERSHABY, A. Study of radioactivity levels in granite of Gable Gattar II in the north eastern desert of Egypt. **Applied Radiation and Isotopes** . v. 57, p. 131-135, 2002.

ERDTMANN, G.; SOYKAW. **The Gamma Rays of the Radionuclides Tables for Applied Gamma Ray Spectrometry** : Topical Presentations in Nuclear chemistry. Kernchemie in Einzeldarstellungen. New York: Verlag Chemie Weinheim, 1979. 862 p.

FÍSICA.NET. O Canal da Física na Internet.

Disponível em <<http://www.fisica.net/vestibular/resumos/fisicamoderna.php>> Acesso em : jul. 2007.

GONSALVES, A. D. Elementos químicos componentes dos minerais radioativos e das terras raras. In: **Átomo e força atômica, recursos do Brasil, energia nuclear, minerais**

radioativos e compostos das terras raras . Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1959. p. 141-301.

KIMBLE, G. H. T.; SINCLAIR, M. H. The occurrence of uranium **Nucleonics** . p. 48-51, Apr. 1950.

KRAUSKOPF, B. K. **Introduction to Geochemistry** . Tokyo: Sydney: McGraw-Hill, 1979. 617 p.

OSMANLIOGLU, A. E. Natural radioactivity and evaluation of effective dose equivalent of granites in turkey **Radiation Protection Dosimetry** . v. 121, p. 325-329, 2006.

PAVLIDOU, S.; KORONEOS, A.; PAPASTEFANOU, C.; CHRISTOFIDES, G.; STOULOS, S.; VAVELIDESM. Natural radioactivity of granites used as building materials **Journal of Environmental Radioactivity** . v. 89, p. 48-60, 2006.

PETRASCHECK, W. E.; POHL, W. **Lagerstättenlehre** . 3 ed. Stuttgart-Deutschland: E. Schweizerbart'sche, 1982. 341 p.

ROUBAULT, M. Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. 3 ed. Paris: Lamarre – Poinat, 1982. 382p.

SALAS, H. T.; NALINI JR, H. A.; MENDES, J. C. **Radioactivity dosage of ornamental granitic rocks based on chemical, mineralogical and lithological data.**

Disponível em : < <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?url=/839471-p1r5Y/hative/> >
Acesso em : 11 Jul 2007.

SORATIN, H.; STEGER, F. Natural radioactivity of building materials in Austria. **Radiation Protection Dosimetry** . v. 7, p. 59-60, 1979.

TZORTZIS, M.; TSERTOS, H.; CHRISTOFIDES, S.; CHRISTODOULIDES, G. Gamma-ray measurements and dose rates in commercially-used tiling rocks (granites) **Environmental Radioactivity** . v. 70, p. 223-235, 2003.

TOLEDO, G. L.; OVALLE, I. I. **Estatística Básica** . 2 ed. São Paulo: Atlas, 1983. 459 p.
WEDEPOHL, K. H. **Handbook of Geochemistry** . v. 11/5. Berlin: New York: Springer, 1978. p. irreg.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO : **Granito Marrom Imperial** . 2006.
Disponível em : < <http://acd.ufrj.br/multim/mro/granitos/marromimperial.htm> > . Acesso em : 20 Ago. 2006.

GLOSSÁRIO

ALLANITA

Mineral de fórmula geral $(Ca, Ce, La, Th, U)_2 (Al, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg) Al_2 (OH)_3 O_{11}$. Está presente em diáritos, sienitos, granitos, gnaiesses, pegmatitos, zona cateternal de diques hidrotermais, rochas do metassomatismo de contato e em micaxistos.

ANFIBÓLIO

Inossilicato (rede cristalina formada por cadeias) com planos de clivagem (separação) formando ângulos de aproximadamente $55,5^\circ$ e de fórmula geral $(Ca, Na)_{2-3} (Al, Fe, Mg)_5 [(Si, Al)_4 O_{11}]_2 (OH, F)_2$. O mais comum é a hornblenda.

DIFERENCIAÇÃO MAGMÁTICA

É a formação de rochas à medida que o magma vai se movendo e se resfriando.

GRANODIORITO

Rocha magmática formada essencialmente por quartzo, plagioclásio (feldspato cálcico-sódico), feldspato potássico (quantidades menores que plagioclásio), e pequenas quantidades de hornblenda e biotita.

Nota – Feldspatos são alossilicatos de Ca, Na, ou K não hidrolisados.

ISOTROPIZAÇÃO

É feito da radiação de minerais radioativos – destruição, por radiação, da rede cristalina de um mineral anisotrópico, no qual a luz se propaga com velocidades diferentes em diferentes direções, tornando-a isotrópica (a luz propaga-se com a mesma velocidade em qualquer direção).

MIGMATITO

Rochametamórficamuito heterogênea, resultante da fusão parcial de uma rocha pré-existente.

MINERAL

Composto inorgânico natural com propriedades físicas, químicas e cristalinas definidas.

ROCHA

Qualquer agregado ou massa de matéria mineral formada naturalmente, coerente ou não, constituindo uma parte essencial e mensurável da crosta terrestre.

ROCHAS FÉLSICAS

Rocha com predominância de minerais félsicos, claro, como o quartzo, ortoclásio e plagioclásio (palavra de origem de feldspato + silício). Quando a cor geral é clara, a rocha é também designada leucocrática, palavra que significa de cor clara.

ROCHA METAMÓRFICA

Rocha que se forma por recristalização parcial ou total de uma rocha pré-existente, formando-se novos minerais e novas texturas, podendo ou não ocorrer fusão da rocha original, em resposta a mudanças pronunciadas de temperatura, pressão e/ou ambientes químicos em profundidade.

ZIRCÃO

Mineral de fórmula geral $(Zr, Hf, Th, U, Ce, Y)SiO_4$. É, portanto um silicato de zircônio com Hf, Th, U e terras raras.

APÊNDICE

A. Desvio Padrão

O desvio padrão (S) constitui uma medida da precisão de um determinado conjunto de resultados, sendo calculado pelas equações 1a e 1b.

Para o número de dados amostrais n, menor que 30, usa-se a Equação 2.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1a)$$

Quando n for igual ou maior que 30 dados amostrais, o cálculo obedece a Equação 1b.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1b)$$

B. Moda (Método de Czuber)

A moda \hat{X} é uma medida de tendência central. Sua determinação pelo método de Czuber leva em consideração a frequência da classe modal e as frequências das classes adjacentes. É calculada pela Equação 2.

$$\hat{X} = L_i + C \times \frac{1}{2 + 1} \quad (2)$$

Onde L_i é o limite inferior da classe modal, C é a amplitude do intervalo de classe, Δ_1 é a diferença entre a frequência da classe modal e a frequência da classe anterior, Δ_2 é a diferença entre a frequência da classe modal e a frequência da classe posterior.

C. Amplitude do Intervalo de Classe

A amplitude do intervalo de classe, C é definida pela relação entre a amplitude total A_t e o número de classes, k (Equação 4), definido pela regra de Strauch (Equação 3).

$$C = \frac{A_t}{k} \quad (3)$$

D. Número de Classes (Regra de Strauch)

O número de intervalos de classes segundo a regra de Strauch, para o cálculo de uma moda, é apresentado pela Equação 4, com base no número da população n .

$$k = \frac{\log n}{\log 2} + 1 \quad (4)$$

E. Equação da Distribuição Beta

$$B(x) = \frac{1}{(b-a)} \left[\frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \right] \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{p-1} \left(1 - \frac{x-a}{b-a} \right)^{q-1} \quad (5)$$

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)