DIEGO DIEGUES FRANCISCA

**NOVO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO
OCUPACIONAL AO GÁS RADÔNIO EM AMBIENTES DE
MINERAÇÃO**

São Paulo

2018

DIEGO DIEGUES FRANCISCA

**NOVO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO
OCUPACIONAL AO GÁS RADÔNIO EM AMBIENTES DE
MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

São Paulo

2018

DIEGO DIEGUES FRANCISCA

**NOVO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO
OCUPACIONAL AO GÁS RADÔNIO EM AMBIENTES DE
MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Mineral

Orientador: Profº Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Francisca, Diego D.

Novo Método de Avaliação da Exposição Ocupacional ao Gás Radônio em Ambientes de Mineração / D. D. Francisca -- versão corr. -- São Paulo, 2019. 143 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Radônio 2.Exposição Ocupacional 3.Agentes Físicos 4.Radiação Ionizante 5.Radonmapper I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

Dedico este trabalho à minha esposa
Vânia Milhomem Tommasini por
estar ao meu lado e ser meu porto
seguro durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor e mentor, Dr. Sérgio Médici de Eston pela confiança e por ter me apresentado tantas oportunidades (de forma direta e indireta) ao longo destes anos acadêmicos.

Aos grandes colegas de profissão, Dr. Michiel Wichers Scharage, Eng. Felipe Baffi de Carvalho e Eng. Thiago Luis Alves Jatobá pelos auxílios prestados durante a execução deste projeto.

À toda a equipe do LACASEMIN – Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração pelo auxílio em minha jornada profissional, em especial à Profa. Dra. Maria Renata Machado Stellan pelo carinho, confiança e companheirismo em todos estes anos de trabalho.

Aos operadores e colaboradores, técnicos de segurança, responsáveis técnicos e gerentes das empresas que colaboraram fornecendo os dados e auxiliando durante as medições.

Aos amigos e amigas que sempre fazem com que os momentos difíceis fluam e passem com naturalidade, *WA forever*.

Ao grande mestre e Arquiteto da Universidade de São Paulo Ademar Yoshitake Tahira que, em vida, sempre proferiu palavras de incentivo e motivação, me levando a trilhar este caminho.

Aos meus pais, pela dedicação de uma vida em ensinar as principais virtudes que carrego e tento, de forma humilde, transmitir de volta às pessoas ao meu redor, sem eles, eu não conseguiria chegar onde cheguei.

Muito obrigado a todos!

*“When you're feeling too close to the bottom
You know who it is you can count on
Someone will pick you up again
We can conquer anything together
All of us are bonded forever
If You die, I die that's the way it is”*

Byron McMackin / Fletcher Dragge / Jason

M. Thirsk / Jim Lindberg

RESUMO

Os agentes físicos e químicos presentes nos ambientes de trabalho podem colocar a saúde dos colaboradores em risco. A radiação ionizante é um dos agentes físicos aos quais os trabalhadores podem estar expostos. Esta radiação possui energia superior à energia de ligação dos elétrons e, desta forma, pode causar a ionização de moléculas, ou seja, causar o rompimento das ligações moleculares. A exposição de tecidos vivos a este agente pode provocar mutações genéticas nas células e a doença mais comum que pode ocorrer é o câncer. Grande parte da exposição à radiação ionizante ocorre devido à presença de radônio nos ambientes de trabalho. Ambientes de mineração são mais suscetíveis a conter este gás pois ele é emanado a partir do solo ou das rochas, principalmente quando há cominuição destes materiais. Para identificar a condição perigosa e propor medidas de controle desta exposição, é necessário que seja aplicada uma metodologia para fazer um levantamento qualitativo e quantitativo. Este trabalho tem como objetivo avaliar uma proposta de medição, além de avaliar o risco de exposição a este gás. O estudo foi realizado em ambientes de mineração, mais especificamente nos postos de trabalho onde foi identificado que a exposição ao agente pode ser maior. As amostragens foram realizadas utilizando o equipamento RadonMapper e os resultados foram analisados e correlacionados. Foi observado que há correlação estatística no método utilizado, também pôde ser observado que as gerências dos locais em que as amostragens foram realizadas desconheciam a possibilidade de exposição ao este gás. Também foi possível indicar que em ambientes abertos, o risco da exposição a este gás é baixo. Desta forma, conclui-se que os objetivos desta dissertação foram atingidos.

Palavras-chave: Radônio. Exposição ocupacional. Agentes físicos. Radiação ionizante. Radonmapper.

ABSTRACT

Physical and chemical agents in work environments can be a risk for the health of employees. The ionizing radiation is one of the physical agents to which the workers can be exposed. This radiation have more energy than the binding of electrons and, in this way, can cause the ionization of molecules, which is to cause the molecular connections to break. The exposure of living tissue to this agent can cause genetic mutations in them and the most common disease that can occur is cancer. Much of the exposure to ionizing radiation occurs because of the presence of radon in the workplace. Mining environments are more susceptible to contain this gas because it is emanated from soil or rocks. To identify the risk and propose measures to control this exposure, it is necessary to apply a methodology to make a qualitative and quantitative analysis, this is the objective of this study, in addition to assessing the risk of exposure to this gas. The study was conducted in mining environments, more specifically in the workplace where it was identified that exposure to the agent may be higher. Samplings were performed using the RadonMapper equipment and the results were analyzed and correlated. The results indicated that there is statistical correlation in the method used, it could also be observed that the management of the locations where the samples were taken did not know the possibility of exposure to this gas. It was also possible to indicate that in open environments, the risk of exposure to this gas is low. In this way, it is concluded that the objectives of this study have been achieved.

Key words: Radon. Occupational exposure. Physical agents. Ionizing radiation. Radonmapper.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Trecho do gráfico de radionuclídeos	31
Figura 2 - Limites anuais de dose (CNEN)	35
Figura 3 – Séries radioativas naturais	37
Figura 4 – Difusão de radônio em função da permeabilidade.....	41
Figura 5 - Relação entre granulometria e exalação de radônio em uma pedreira	42
Figura 6 - Relação entre R_{eq} e exalação específica de Rn em rochas ornamentais brasileiras.	44
Figura 7 - Resumo da metodologia	54
Figura 8 - RadonMapper	55
Figura 9 - Medidor de vazão	55
Figura 10 – Haste de metal utilizada nas medições	58
Figura 11 - Posto de trabalho avaliado na pedreira A.....	60
Figura 12 - RadonMappers ativo e passivo posicionados na pedreira A	61
Figura 13 - Medição em pilha na pedreira A.....	62
Figura 14 - Posto de trabalho avaliado na pedreira B.....	63
Figura 15 - Medição em pilha na pedreira B.....	64
Figura 16 - Posto de trabalho avaliado na pedreira C	65
Figura 17 - Medição em pilha na pedreira C	66
Figura 18 - Posto de trabalho avaliado na pedreira D	68

Figura 19 - Medição em pilha na pedreira D	69
Figura 20 - Posto de trabalho avaliado na pedreira E.....	70
Figura 21 - Medição em pilha na pedreira E.....	71
Figura 22 - Fluxograma de preparação de amostras.....	72
Figura 23 - Esquema do cilindro de acomodação de amostras	73
Figura 24. Tubo para acondicionamento da amostra.	73
Figura 25 - Desenho do arranjo de medição	74
Figura 26 - Exemplo de saída de dados do RadonMapper	76
Figura 27 - Arranjo utilizado nos testes de bancada.....	76
Figura 28 - Tubo para acomodação das amostras	77
Figura 29 - Resultado da pedreira A, posto de trabalho, unidade ativa	82
Figura 30 - Resultado da pedreira A, posto de trabalho, unidade passiva.....	83
Figura 31 - Resultado da pedreira A, pilha de pó de brita, unidade ativa	84
Figura 32 - Resultado da pedreira B, teste de bancada, unidade pré-material	85
Figura 33 - Resultado da pedreira A, teste de bancada, unidade pós-material	86
Figura 34 - Resultado da pedreira B, posto de trabalho, unidade ativa	87
Figura 35 - Resultado da pedreira B, posto de trabalho, unidade passiva.....	88
Figura 36 - Resultado da pedreira B, pilha de pó de brita, unidade ativa	89
Figura 37 - Resultado da pedreira B, teste de bancada, unidade pós-material	90
Figura 38 - Resultado da pedreira C, posto de trabalho, unidade ativa	91
Figura 39 - Resultado da pedreira C, posto de trabalho, unidade passiva	92

Figura 40 - Resultado da pedreira C, pilha de pó de brita, unidade ativa	93
Figura 41 - Resultado da pedreira C, teste de bancada, unidade pós-material	94
Figura 42 - Resultado da pedreira D, posto de trabalho, unidade ativa	95
Figura 43 - Resultado da pedreira D, pilha de pó de brita, unidade ativa	96
Figura 44 - Resultado da pedreira D, teste de bancada, unidade pós-material	97
Figura 45 - Resultado da pedreira E, posto de trabalho, unidade passiva.....	98
Figura 46 - Resultado da pedreira E, pilha de pó de brita, unidade ativa	99
Figura 47 - Resultado da pedreira E, teste de bancada, unidade pós-material	100
Figura 48 - Média das medições, representação gráfica	102
Figura 49 - Comparativo entre os histogramas das análises	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de ponderação segundo o tipo de radiação	29
Tabela 2 – Propriedades físico-químicas do radônio.....	36
Tabela 3 – Concentrações médias de urânio em alguns tipos de rochas	40
Tabela 4 - Concentração média de Rn-222 e dose efetiva anual estimada.....	43
Tabela 5 – Fontes de radiação por pessoa no Reino Unido	45
Tabela 6 – Risco de morte por câncer de pulmão por exposição de 200 Bq/m ³ de radônio durante uma vida inteira	46
Tabela 7 – Níveis de ação e limites de exposição ao radônio em diversos países	46
Tabela 8 - Níveis de ação e limites de exposição, em destaque o padrão dos EUA	80
Tabela 9 - Compilação das médias das análises	101
Tabela 10 - Compilação dos desvios-padrões das análises	103
Tabela 11 - Compilação dos coeficientes de variação das análises	103
Tabela 12 – Análise de correlação de <i>Pearson</i> e <i>Spearman</i>	108
Tabela 13 - Cálculo de dose efetiva anual à partir da exposição média ao radônio	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i>
LACASEMIN	Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração
LNHB	<i>Laboratoire National Henri Becquerel</i>
NR	Norma Regulamentadora
NRPB	<i>National Radiological Protection Board</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
USP	Universidade de São Paulo
WHO	<i>World Health Organization</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

eV	Elétron-volt
α	Radiação Alfa
β	Radiação Beta
γ	Radiação Gama
Ra	Rádio
He	Hélio
Rn	Radônio
U	Urânio
Th	Tório
I	Iodo
Xe	Xenônio
K	Potássio
Ag	Prata
Po	Polônio
e ⁻¹	Elétron
Co	Cobalto
Ni	Níquel
A	Atividade
t	tempo

λ	Constante de decaimento
Bq	Becquerel
Ci	Curie
D	Dose absorvida
H	Dose equivalente
E	Dose efetiva
W_R	Fator de ponderação para o tipo de radiação
W_T	Fator de ponderação para tecido ou órgão
R_{eq}	Atividade equivalente ao rádio
Sy	Sievert
Gy	Gray
J	Joules
Kg	Quilograma
g	Grama
K	Kelvin
W	Wats
m	Metro
C	Concentração
F	Fator de equilíbrio
ppm	Partes por milhão
mm	Milimetro

°C	Graus Célsius
C.V.	Coeficiente de variação
ρ	Desvio padrão
μ	Média aritmética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	OBJETIVO	23
1.2	JUSTIFICATIVA	24
2	REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1	GRANDEZAS E UNIDADES – RADIAÇÕES IONIZANTES.....	27
2.1.1	Atividade (A).....	27
2.1.2	Dose absorvida (D)	28
2.1.3	Dose equivalente (H).....	28
2.1.4	Dose efetiva (E)	29
2.1.5	Atividade equivalente ao rádio (R_{eq}).....	30
2.2	ESPECTROMETRIA DE RAIOS GAMA	30
2.3	DOSÍMETRIA RADIOLÓGICA	32
2.3.1	Monitores por emulsões fotográficas	33
2.3.2	Limitação legal de dose individual de radiação.....	34
2.4	O RADÔNIO	35
2.4.1	Concentração de radônio	38
2.4.2	Estimativa de dose efetiva para radônio	39
2.4.3	Ocorrência Natural do radônio	39
2.4.4	O radônio e a mineração	41
2.4.5	Valores de referência para exposição ao radônio	44
2.4.6	Métodos de medição da concentração de radônio	47
2.4.6.1	<i>Nuclear track detectors</i>	48

2.4.6.2	Detectores de célula de cintilação.....	48
2.4.6.3	Detectores de barreira de superfície	49
2.4.6.4	Detectores <i>electret</i>	50
2.4.6.5	Detectores de carvão ativado.....	50
2.4.6.6	Detectores de câmara de ionização	50
2.5	EFEITOS BIOLÓGICOS DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	54
3.2	ATIVIDADES DE CAMPO	56
3.2.1	Reconhecimento dos locais de exposição	56
3.2.2	Posicionamento dos medidores de radônio	56
3.2.3	Coleta de amostras para análise e medição em pilha	57
3.2.4	Recolhimento dos equipamentos e descontaminação	58
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA DE DADOS	59
3.3.1	Pedreira A.....	59
3.3.1.1	Posicionamento dos equipamentos na pedreira A	59
3.3.2	Pedreira B.....	62
3.3.2.1	Posicionamento dos equipamentos na pedreira B	63
3.3.3	Pedreira C.....	64
3.3.3.1	Posicionamento dos equipamentos na pedreira C	65
3.3.4	Pedreira D.....	66
3.3.4.1	Posicionamento dos equipamentos na pedreira D	67
3.3.5	Pedreira E.....	69
3.3.5.1	Posicionamento dos equipamentos na pedreira E	70
3.4	ATIVIDADES DE LABORATÓRIO.....	71

3.4.1	Preparação das amostras	71
3.4.2	Medição de exalação de radônio nas amostras.....	72
3.5	AVALIAÇÃO DOS DADOS.....	77
3.5.1	Correlação entre os dados obtidos	78
3.5.2	Comparação dos dados obtidos com os valores de referência ..	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1	RESULTADOS APRESENTADOS POR LOCALIDADE	81
4.1.1	Pedreira A.....	81
4.1.1.1	Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira A	81
4.1.1.2	Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira A	83
4.1.1.3	Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira A	84
4.1.2	Pedreira B.....	86
4.1.2.1	Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira B	86
4.1.2.2	Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira B	88
4.1.2.3	Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira B	89
4.1.3	Pedreira C.....	90
4.1.3.1	Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira C	90
4.1.3.2	Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira C	92
4.1.3.3	Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira C	93
4.1.4	Pedreira D.....	94
4.1.4.1	Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira D	94
4.1.4.2	Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira D	95
4.1.4.3	Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira D	96
4.1.5	Pedreira E	97
4.1.5.1	Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira E	97

4.1.5.2	Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira E	98
4.1.5.3	Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira E	99
4.2	COMPILAÇÃO DOS DADOS – ANÁLISE DESCRITIVA	100
4.3	COMPILAÇÃO DOS DADOS – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	106
4.4	COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE REFERÊNCIA	108
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A METODOLOGIA.....	110
5	CONCLUSÃO	112
	REFERÊNCIAS	113
	APÊNDICE A.....	117
	APÊNDICE B.....	134
	APÊNDICE C.....	141

1 INTRODUÇÃO

Os trabalhadores que realizam suas atividades em ambientes industriais podem estar expostos à diversos agentes danosos à saúde, por exemplo, os agentes físicos, como o ruído, as vibrações mecânicas, o calor, o frio e as radiações, ou os agentes químicos, como as poeiras, as névoas, os fumos e os gases (USP, 2016).

No Brasil, é de responsabilidade do empregadores, através da engenharia de segurança e da higiene ocupacional, avaliar, controlar e monitorar as exposições a estes agentes, de maneira que os trabalhos em ambientes agressivos possam ser realizados sem que a saúde dos colaboradores envolvidos seja prejudicada (USP, 2016).

As radiações são classificadas em ionizantes e não-ionizantes, ou seja, que possuem ou não a energia necessária para romper as ligações entre os elétrons em uma molécula. As radiações são oriundas do processo de estabilização de núcleos atômicos muito energéticos, os chamados, elementos radioativos (USP, 2016). As radiações ionizantes também são classificadas de acordo com as características da emissão (quantidade de energia e massa, por exemplo) e podem ser do tipo alfa, beta ou gama (USP, 2016).

Existem três famílias ou séries de elementos radioativos naturais, e elas variam de acordo com a sua sequência de decaimento (processo de estabilização). São elas: série do urânio, série do actínio e a série do tório. Estas três famílias possuem em seu processo sequencial de estabilização uma etapa em que a matéria é transformada em um elemento chamado radônio. Para cada uma destas séries, um isótopo (mesmo elemento, porém, com massa atômica diferente) do radônio é formado (USP, 2016; ZEEB, 2007).

O radônio é um elemento radioativo com características específicas, pois é o único que, em condições normais de temperatura e pressão, se apresenta na forma de um gás nobre. O processo de decaimento do radônio gera radiação

alfa, que possui baixo poder de penetração, porém, alta carga energética quando comparada com a radiação beta e gama. A radiação alfa, quando em contato direto com células dos tecidos e mucosas, pode gerar ionização de moléculas constituintes do DNA, e a consequência deste fato é que doenças podem ser ocasionadas. A mais comum dentre elas é o câncer (ZEEB, 2007).

Os elementos radioativos, como urânio e o tório (precursores do radônio nas séries de decaimento) podem ser encontrados na natureza, nos solos e nas rochas. Da mesma forma, o radônio também pode ser encontrado nestes materiais e por esta razão, em ambientes de mineração, onde o contato com material rochoso ou com o solo é maior do que em outras áreas da indústria, a exposição ao radônio, potencial causador de câncer de pulmão, pode ser maior (GAVIOLI, 2009).

Uma visão dos efeitos do radônio pode ser encontrada nos dados divulgados pelo *World Health Organization* (WHO), órgão da Organização das Nações Unidas (ONU). O documento final do seu *International Radon Project* afirma que o radônio é a segunda maior causa de câncer de pulmão no mundo, atrás apenas do cigarro (ZEEB, 2007).

1.1 OBJETIVO

Esta dissertação tem dois objetivos. O primeiro consiste em propor e avaliar uma nova metodologia de medição da exposição ocupacional ao radônio em ambientes de mineração realizando medições em ambientes de mineração. O segundo terá como ponto central comparar os valores medidos com normas internacionais, a fim de confirmar se a exposição dos trabalhadores a este gás é significativa.

1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância do estudo se dá pelo fato de que no Brasil, as normas que regulamentam e apresentam os limites das exposições dos trabalhadores aos agentes físicos e químicos, como, por exemplo, as Normas Regulamentadoras (NR's), contemplam a exposição ao radônio juntamente com as demais fontes de radiação ionizante, porém, este elemento radioativo possui características próprias e específicas, o que torna a avaliação da exposição e a aplicação de medidas de controle para reduzir as mesmas, diferentes.

É importante verificar a aplicabilidade das metodologias de medição para que as mesmas sejam aprimoradas e estudadas a fim de que os valores medidos sejam os mais próximos possíveis da real exposição dos colaboradores. Desta forma, permitindo, que, caso a legislação avance frente ao controle deste agente, seja possível realizar sua medição em ambientes ocupacionais.

Desta forma, pode-se alertar os empregadores frente a um potencial risco, e assim, estes poderão aplicar medidas de controle específicas, otimizando os investimentos em segurança e protegendo de forma correta a saúde de seus colaboradores.

A presente dissertação é uma continuação dos estudos realizados pelo autor em sua monografia apresentada como trabalho de graduação, onde foram realizados levantamentos a fim de correlacionar a granulometria dos minérios lavrados com a exalação de radônio pelos mesmos. O autor espera contribuir com artigos referentes ao tema, dentro de sua área de pesquisa, enriquecendo a literatura a este respeito e possibilitando, posteriormente, que as discussões sobre a adoção de políticas públicas para controle da exposição a este gás sejam realizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O fenômeno chamado de decaimento radioativo ocorre na natureza devido à existência de elementos químicos que possuem em sua estrutura atômica, uma quantidade excessiva de energia armazenada em seus núcleos. No processo natural de estabilização destes elementos, ocorre a emissão de partículas e ondas eletromagnéticas (CARDOSO, 2004).

Estas emissões possuem carga energética suficientemente grande, maior ou igual a 10 eV, para causar ionização ao entrar em contato com os átomos e moléculas da matéria orgânica, por esta razão esta é chamada de radiação ionizante. (USP, 2016).

Segundo Okuno (1998), a ionização causada por este tipo de emissão radioativa ocorre de forma que elétrons são arrancados dos orbitais dos átomos expostos. Estes átomos se tornam íons positivamente carregados, e os elétrons que foram arrancados, se deslocam pelo interior da matéria e podem interagir com outros átomos e moléculas, podendo causar novas ionizações, este processo ocorre até que sua energia seja dissipada.

Segundo Souza (2016), as partículas emitidas são compostas por elementos que possuem massa e uma energia associada, estas são denominadas alfa (α) ou beta (β), de acordo com a sua estrutura. Já as ondas eletromagnéticas, chamadas de radiação gama ou raio gama (γ) são da mesma natureza que a luz visível ou das ondas de transmissão de rádio e televisão.

Átomos com excesso de matéria em seus núcleos emitem partículas do tipo alfa, estas são compostas por 2 prótons e 2 nêutrons, mesma configuração do núcleo do elemento hélio. Como o número de prótons e nêutrons do átomo que sofre decaimento é alterado, há transformação de um elemento em outro, conforme exemplo da equação (1). A quantidade de energia armazenada nesta emissão é maior do que nas demais, porém, esta possui alcance inferior podendo ser bloqueada por uma folha de papel. (SOUZA, 2016; USP, 2016).

Átomos com excesso de nêutrons em seus núcleos emitem partículas do tipo Beta, estas podem ocorrer de duas formas. Quando, no processo de estabilização, ocorre a conversão de um nêutron em um próton, é emitido um elétron, esta é chamada de emissão Beta negativa. Se no processo, ocorrer a conversão de um próton em um nêutron, será emitido um pósitron, esta é chamada de emissão Beta positiva. Como o número de prótons e nêutrons do átomo que sofre decaimento é alterado, há transformação de um elemento em outro, conforme exemplo da equação (2). A quantidade de energia armazenada neste tipo de emissão é, em torno de 10 vezes menor do que na do tipo alfa, porém, o alcance desta é aproximadamente 10 vezes maior, podendo ser bloqueada por uma folha de alumínio (OKUMO, 1998; USP, 2016).

A radiação gama é uma onda eletromagnética que se propaga a uma velocidade de $3,0 \times 10^8$ m/s, independentemente de sua carga energética, como a luz. Por ser uma onda, esta não possui massa e sua ocorrência se dá quando, mesmo após uma emissão de partícula alfa ou beta, o núcleo resultante ainda apresentar um excesso de energia residual, conforme exemplo das equações (3) e (4). A transformação de um elemento em outro irá ocorrer no momento da emissão alfa ou beta, porém, no momento da emissão de radiação gama, não há alteração do número de prótons e nêutrons do átomo que sofre decaimento, logo, não há transformação, apenas uma mudança de nível energético. Em comparação com as emissões alfa e beta, a radiação gama possui um poder de penetração muitas ordens de grandeza maior, podendo atravessar até 15 cm de aço, estas podem ser bloqueadas por grossas chapas de chumbo ou por paredes de concreto. (OKUMO, 1998; USP, 2016).

2.1 GRANDEZAS E UNIDADES – RADIAÇÕES IONIZANTES

Usualmente, as grandezas físicas que caracterizam a radiação ionizante estão relacionadas às características da fonte radioativa, ou à quantidade de energia absorvida pelo meio ou pelos organismos, em decorrência do processo de decaimento (USP, 2016).

2.1.1 Atividade (A)

Não é possível prever exatamente quando irá ocorrer o decaimento de um átomo instável especificamente, porém, a probabilidade desta ocorrência é a mesma para os demais átomos de mesma espécie. Conhecendo o material, é possível prever com precisão quantos átomos irão decair dado um determinado intervalo de tempo. A taxa de desintegração de um mesmo isótopo é chamada de atividade (A) e é dada pela seguinte equação (CARDOSO, 2004):

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Onde:

- $A(t)$ é a atividade num dado instante t ;
- A_0 é a atividade inicial da amostra;
- λ é a constante de decaimento;
- t é o instante considerado.

Segundo USP (2016), no sistema internacional, a unidade de atividade é o Becquerel (Bq) que é correspondente a 1 decaimento por segundo. Outra unidade utilizada é a referência 1 grama de rádio (atividade equivalente à de uma grama de rádio) que é denominada Curie (Ci).

A relação entre as unidades é de:

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \quad (6)$$

2.1.2 Dose absorvida (D)

A quantidade de energia absorvida por unidade de massa de um determinado material (por exemplo, uma parte do corpo humano) é chamada de dose absorvida (D) e sua unidade é J/kg ou Gray (Gy) no sistema internacional (SANTOS, 2008).

2.1.3 Dose equivalente (H)

Para os organismos vivos, se faz necessário padronizar o efeito da mesma quantidade de dose absorvida proveniente dos vários tipos de radiação ionizante, já que a mesma dose absorvida causa diferentes efeitos dependendo de sua origem. Esta padronização se dá pela equação (USP, 2016):

$$H = D \cdot W_R \quad (7)$$

Onde:

- H é a dose equivalente;
- D é a dose absorvida;
- W_R é o fator de ponderação segundo tipo de radiação conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Fator de ponderação segundo o tipo de radiação

Tipo e faixa de energia		Fator WR
Fótons, todas as energias		1
Elétrons e muons, todas as energias		1
Nêutrons, energia:	<10 KeV	5
	10KeV a 100 KeV	10
	> 100 KeV a 2 MeV	20
	>2 MeV a 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Prótons, exceto os de recuo, energia > 2 MeV		5
Partículas α, fragmentos de fissão, núcleos pesados		20

Fonte: BRASIL (2014)

A unidade utilizada no sistema internacional é o Sievert (Sv), que corresponde a radiação de 1 joule por quilograma (USP, 2016).

2.1.4 Dose efetiva (E)

A somatória de toda dose equivalente recebida pelo corpo humano em seus diversos órgãos e tecidos é chamada de dose efetiva (E) e é dada pela equação (USP, 2016):

$$E = \sum_{i=1}^n (W_{Ti} \cdot H_i) \quad (8)$$

Onde:

- E é a dose efetiva recebida;
- H é a dose equivalente em um determinado órgão ou tecido;
- WT é o fator de ponderação de cada órgão ou tecido.

A unidade utilizada no sistema internacional também é o Sievert (Sv) que corresponde a radiação de 1 joule por quilograma (USP, 2016).

2.1.5 Atividade equivalente ao rádio (Ra_{eq})

A atividade equivalente ao rádio é um parâmetro que caracteriza amostras minerais para determinar o índice de perigo radiológico, considerando que a concentração de elementos radioativos não é uniforme naturalmente (BARROS, 2013; EI HAJJ, 2017).

Este parâmetro é calculado a partir da equação proposta por Beretka e Mathew (1985):

$$Ra_{eq} = C_u + 1,43 \cdot C_{th} + 0,077 \cdot C_k \quad (9)$$

Onde:

- C_u , C_{th} e C_k são as concentrações de atividade proveniente do ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , em Bq/kg, respectivamente.

A equação é uma média ponderada das concentrações de atividade dos isótopos urânio 238, tório 232 e potássio 40 e a unidade utilizada é o Becquerel por quilograma (Bq/kg).

A referência para a equação é a de que 370 Bq/kg de ^{238}U , 259 Bq/kg de ^{232}Th e 4810 Bq/kg de ^{40}K resulta em 1 mSv de dose efetiva anual (BARROS, 2013).

2.2 ESPECTROMETRIA DE RAIOS GAMA

A espectrometria gama é um procedimento de análise não destrutivo capaz de identificar e quantificar radionuclídeos, fornecendo informações relacionadas à atividade proveniente dos diferentes elementos que compõem a sequência de decaimento radioativo (GILMORE; HEMINGWAY, 1995).

Este fato se dá devido às características que distinguem as emissões do tipo gama da maioria dos radionuclídeos, porém, existem alguns poucos elementos

puramente emissores de partícula beta que não podem ser identificados por este método, como por exemplo o ^3H , ^{14}C e o ^{90}Sr (GILMORE; HEMINGWAY, 1995).

A energia dos raios gama indica quais elementos estão presentes na amostra, porém, esta não diferencia os isótopos. Para realizar esta identificação é necessário, por exemplo, o conhecimento do modo de decaimento, a classe do radionuclídeo e os dados de informação do núcleo. Estes dados podem ser apresentados em um gráfico para facilitar a sua identificação, como por exemplo na Figura 1 (GILMORE; HEMINGWAY, 1995).

Figura 1 - Trecho do gráfico de radionuclídeos

Fonte: Gilmore e Hemingway, 1995 *apud* El Hajj, 2017.

A emissão gama proveniente de um radionuclídeo pode interagir com a matéria e ser atenuado de duas formas, através de espalhamento elástico ou por processos inelásticos. Quando há um processo inelástico, a transferência de energia para a matéria ocorre por meio de colisões com elétrons ou pósitrons. A

energia cinética dessas partículas é dissipada pela criação de um par de íons secundários e este processo fornece informação para o detector de sinal (GILMORE; HEMINGWAY, 1995).

Quanto maior a blindagem do detector, neste processo, maior será a probabilidade da absorção completa da radiação gama. A atenuação dos feixes de radiação gama segue uma relação exponencial em relação ao coeficiente μ , quando a fonte emissora está direcionada, para o caso de outras geometrias, é necessário acrescentar um fator de correção à equação (GILMORE; HEMINGWAY, 1995).

$$I = I_0 e^{-\mu e} \quad (10)$$

Onde:

- I é a intensidade dos raios gama após atravessarem a blindagem;
- I_0 é a intensidade dos raios gama antes de atravessarem a blindagem;
- μ é o fator de atenuação;
- e é a espessura do material absorvedor.

Normalmente, a blindagem radiológica utilizada em espectrometria gama é de 10mm de chumbo, 3mm de cádmio e 0.7mm de cobre (GILMORE; HEMINGWAY, 1995).

2.3 DOSÍMETRIA RADIOLÓGICA

A dosimetria radiológica consiste em monitorar a dose absorvida ou a dose efetiva proveniente da exposição de pessoas a fontes radioativas (TAUHATA *et al.*, 2013).

Para operar de forma eficiente, um dosímetro ou monitor radiológico deve ter as seguintes características (TAUHATA *et al.*, 2013):

- Resultados devem ser apresentados em dose absorvida ou dose efetiva (ou taxa);
Ser construído com material tecido-equivalente, ou seja, com blindagem similar à do tecido biológico;
- Possuir fator de calibração bem estabelecido;
- Suas leituras e calibrações devem ser rastreadas a um laboratório nacional e à rede do BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), órgão internacional que atua na promoção da compatibilidade entre medidas;
- Incertezas bem estabelecidas e adequadas para sua aplicação;
- Modelo adequado a aplicação em questão;
- Modelo adequado para cada tipo e intensidade de feixe.

2.3.1 Monitores por emulsões fotográficas

Monitores que são constituídos normalmente por cristais (grãos) de brometo de prata dispersos em uma matriz gelatinosa, cada grão é composto por aproximadamente 10^{10} átomos do íon Ag^+ (TAUHATA *et al.*, 2013).

Uma emissão radioativa, quando interage com a emulsão, produz um efeito semelhante à interação da luz visível em chapas fotográficas comuns, a passagem da radiação faz com que uma parcela dos íons Ag^+ sejam sensibilizados, sendo transformados em Ag metálica (TAUHATA *et al.*, 2013).

Após o período de monitoramento, o *badge* (como é conhecido o dosímetro) passa por um processo químico de revelação, onde é adicionada uma solução reveladora que tem a propriedade de converter o brometo de prata em prata metálica, porém, este processo é muito mais rápido nos cristais que foram previamente sensibilizados, o processo de revelação é interrompido, adicionando uma solução de ácido acético diluído, quando todos os grãos que continham Ag metálica previamente foram revelados. Em seguida, os grãos de

brometo de prata são removidos do material adicionando tiosulfato de sódio na solução, e por último o material remanescente passa por um processo de lavagem com água e posterior secagem. A quantidade de prata metálica remanescente indica a dose de radiação à qual o medidor foi exposto (TAUHATA *et al.*, 2013).

2.3.2 Limitação legal de dose individual de radiação

O limite de dose individual ao qual pessoas expostas de forma ocupacional ou para indivíduos do público em geral não pode exceder os valores definidos pelo CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) em sua norma CNEN-NN-3.01 de 2011, revisada em 2014, denominada “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica” (BRASIL, 2014).

Estes limites são impostos pelo CNEN e possuem duas finalidades. A primeira é a de manter as doses às quais os indivíduos venham a ser expostos abaixo dos valores em que os efeitos agudos de exposição à radiação venham a ocorrer (efeitos determinísticos, por exemplo, morte celular localizada por irradiação total ou parcial), a segunda finalidade é limitar a probabilidade de ocorrência dos efeitos crônicos da exposição (efeitos estocásticos, por exemplo, o desenvolvimento de doenças como o câncer).

Os valores máximos de dose efetiva e equivalente anuais às quais as pessoas podem ser expostas estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Limites anuais de dose (CNEN)

Limites de Dose Anuais ^[a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv ^[b]	1 mSv ^[c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	20 mSv ^[b] (Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)	15 mSv
	Pele ^[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

[a] Para fins de *controle administrativo* efetuado pela CNEN, o termo *dose* anual deve ser considerado como *dose* no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.
(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de *dose efetiva* de até 5 mSv em um ano, desde que a *dose efetiva* média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

Os valores de *dose efetiva* se aplicam à soma das *doses efetivas*, causadas por *exposições* externas, com as *doses efetivas comprometidas* (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.

Fonte: Brasil (2014)

2.4 O RADÔNIO

De acordo com Fonseca (2016), existem três séries radioativas encontradas na natureza, a série do ²³⁸U, a série do ²³⁵U e a série do ²³²Th. Estes elementos aparecem no topo, ou início das séries de decaimento pois possuem meia vida superior a 100 milhões de anos. Há 4,8 bilhões de anos, quando o planeta Terra foi formado, existiam os radionuclídeos primordiais que deram origem a estas famílias de decaimento.

A meia-vida de um elemento radioativo é o tempo necessário para que, devido ao processo de estabilização atômica, a quantidade de átomos de sua matéria seja reduzida pela metade (LNHB, 2016).

Conforme mostra a Figura 3, o radônio é um elemento químico que está presente nas 3 séries de decaimento, em cada uma delas, um isótopo é formado. (CARDOSO, 2004). As propriedades físicas do isótopo ^{222}Rn , que é o mais abundante na natureza, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físico-químicas do radônio

Propriedade	Dado
Estado da matéria	Gás
Ponto de fusão	202 K
Ponto de ebulição	211,35 K
Entalpia de fusão	3,247 kJ/mol
Entalpia de vaporização	18,10 kJ/mol
Pressão de vapor	1 Pa a 110 K
Calor específico	84 J/(kg.K)
Condutividade térmica	0,00364 W/(m.K)
1º potencial de ionização	1037 kJ/mol

Fonte: Hayness (2011)

Os três isótopos deste gás que são encontrados de forma natural são (GAVIOLI, 2009):

- ^{222}Rn , ou radônio 222, que possui meia vida de 3,8 dias e é chamado de gás radônio.
- ^{220}Rn , ou radônio 220, que possui meia vida de 54,5 segundos e é chamado de gás torônio.
- ^{219}Rn , ou radônio 219, que possui meia vida de 3,9 segundos e é chamado de gás actínion, este em quantidades desprezíveis na natureza.

Figura 3 – Séries radioativas naturais

Fonte: Adaptado de Cardoso (2004)

Segundo Fianco (2011) e Fonseca (2016), o radônio é responsável pela maior parte da exposição das pessoas à radiação ionizante natural e isto se deve ao fato de que o mesmo, em condições normais de temperatura e pressão se encontra na forma gasosa, fato que deve ser levado em consideração quando este é comparado aos demais elementos radioativos.

A emissão gerada no decaimento radioativo do radônio é do tipo alfa. Esta, por possuir baixo poder de penetração, é bloqueada nas camadas mais superficiais da pele dos seres vivos. Em contrapartida, devido ao fato deste elemento se apresentar na forma gasosa, sua inalação, pode representar um perigo à saúde. Ao ser inalado, parte do gás irá sofrer decaimento dentro do pulmão, expondo as células das mucosas internas deste órgão à radiação ionizante. Estas células são muito mais sensíveis à radiação do que as células que compõem a pele. Como a radiação alfa possui maior energia armazenada em comparação com as outras emissões, a densidade de ionização nesta emissão é alta, aumentando a probabilidade de desenvolvimento de câncer no indivíduo exposto, principalmente, o de pulmão, que é o órgão diretamente sensibilizado (GAVIOLI, 2009; ZEEB, 2007; EL HAJJ, 2016).

Outro fator a se considerar neste tipo de exposição, é o fato de que os elementos sucessores na sequência de decaimento, abaixo do radônio, são metais pesados, sólidos em condições normais de temperatura e pressão. Estes, por sua vez, se acumulam no organismo e continuam sofrendo decaimento emitindo radiação ionizante dentro do corpo até se transmutarem no elemento chumbo em forma estável (EL HAJJ, 2016).

2.4.1 Concentração de radônio

A concentração de gases na atmosfera é expressa, normalmente, em partes por milhão (ppm) ou em massa por volume (mg/m^3).

Para o caso do radônio, esta concentração é caracterizada de forma diferente e a atividade de sua amostra dispersa no ar em equilíbrio é utilizada para determinar sua concentração em um determinado volume, a unidade usual é o Bq/m^3 (ZEEB, 2007).

2.4.2 Estimativa de dose efetiva para radônio

A partir dos dados de concentração média de radônio em um ambiente, é possível estimar a dose efetiva anual média para o radônio e seus descendentes através da equação (UNSCEAR, 2000):

$$E = C \cdot t \cdot F \cdot 9 \cdot 10^{-6} \quad (11)$$

Onde:

- E é a dose efetiva anual média em mSv/a;
- C é a concentração de radônio em Bq/m³ no ar do ambiente;
- t é o tempo de exposição em horas por ano que é considerado 2000 h/ano (ICRP, 1993);
- F é o fator de equilíbrio que depende da taxa de ventilação e de outros fatores como a velocidade do vento, utiliza-se 0,8 para ambientes externos e 0,4 para áreas internas (SANTOS, 2008);
- 9 é o fator de conversão da concentração de radônio para dose efetiva dado em (nSv . m³)/(Bq . h) (UNSCEAR, 2000).

2.4.3 Ocorrência Natural do radônio

Por se tratar de um elemento gerado a partir do decaimento radioativo, rochas e solos que possuam urânio ou outros elementos mais abaixo na sequência de decaimento são fontes naturais do radônio. A concentração de urânio nas rochas que compõem a crosta terrestre varia de acordo com as características geológicas de seus minerais formadores, Fianco (2011) apresenta em seu estudo a concentração média de urânio por tipo de rocha conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Concentrações médias de urânio em alguns tipos de rochas

Rocha	U (ppm)	Rocha	U (ppm)
Ígneas	Graníticas	Arenitos	1,48
	Gabróides	Grauvacas	2,1
	Ultramáficas	Arcóseos	1,5
	Instrusivas Alcalinas	Folhelhos	3,25
	Extrusivas Silicáticas	Bauxita	11,4
	Basálticas	Bentonita	5,0
Metamórficas	Affibolito	Calcários	2,19
	Gnaïsse	Dolomitos	0,03 – 2,0
	Rochas Máficas	Fosfáticas	50 – 300
	Granulito	Evaporitos	<0,1
	Ortognaïsse	Areias	3,0
	Mármore	Lamas	2,3
	Filito	Lamas Argilosas	2,7
	Xisto	Argilas Pelágicas	2,0

Fonte: Fianco (2011)

Em relação às rochas sedimentares e aos diversos tipos de solos existentes, a concentração e exalação de radônio está relacionada às suas características físicas e geoquímicas. (FIANCO, 2011; EL HAJJ *et al.*, 2015).

De acordo com Fianco (2011), o potencial de formação e por consequência, a concentração de radônio, está relacionada às características geoquímicas dos minerais formadores, por exemplo, a concentração de urânio.

Ainda segundo a autora, as características físicas determinam o potencial de liberação ou de exalação do radônio. A porosidade, a permeabilidade e a presença de água são os parâmetros que mais impactam no potencial de liberação, como exemplo são citados os solos argiloso que inibem a migração e difusão do gás em sua estrutura, podendo atuar como barreiras que impedem que o mesmo chegue até a atmosfera, em contrapartida, em solos e rochas arenosos, a probabilidade de difusão e exalação do gás é maior conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Difusão de radônio em função da permeabilidade

Fonte: Arquivo pessoal

2.4.4 O radônio e a mineração

O radônio tem ocorrência natural em rochas e solos (FIANCO, 2011), logo, dependendo das características dos materiais lavrados, os ambientes de mineração podem ter uma concentração maior deste gás, quando comparado com outros ambientes de trabalho dos demais campos da indústria, já que há a cominuição destes materiais neste ramo da indústria.

Além disso, segundo Francisca (2014), a exalação do radônio nos minerais aumenta de forma exponencial com a diminuição da granulometria (Figura 5), este fato indica uma maior exposição ao elemento em ambientes onde são aplicados métodos de cominuição de materiais rochosos.

Grande parte das atividades desenvolvidas pelos trabalhadores da indústria da mineração são realizadas em contato direto com os ambientes onde há constante remoção ou movimentação de solos e rochas. Outra parte significativa destes trabalhadores atua nas usinas de beneficiamento, locais onde o material

extraído poderá passar por várias etapas de cominuição, diminuindo a sua granulometria para facilitar a liberação e a separação dos minérios de interesse dos minerais de ganga.

Figura 5 - Relação entre granulometria e exalação de radônio em uma pedreira

Fonte: Adaptado de Francisca (2014)

Os indivíduos que permanecem nestes locais durante a sua jornada de trabalho estão mais propensos a inalar o radônio adquirindo um grau de exposição maior, desta forma, a probabilidade de ocorrência das doenças relacionadas a este elemento poderá ser mais elevada, outro fato a se observar é que estas pessoas, em decorrência desta inalação, irão acumular uma quantidade maior dos elementos radioativos subsequentes da família de decaimento deste gás.

Ayres da Silva (2016), na Tabela 4, apresenta uma compilação de dados com a concentração média de radônio em minerações brasileiras e a estimativa de dose efetiva recebida pelos trabalhadores devido a esta exposição.

OBS: As estimativas de doses anuais foram calculadas utilizando a equação 11.

Tabela 4 - Concentração média de Rn-222 e dose efetiva anual estimada

Mina	Minério	Concentração média (Bq/m³)	Dose Efetiva Anual Média (mSv/a)
A	Fluorita	2194,0	15,8
B	Fluorita	3090,0	22,25
C	Fluorita	2047,0	14,74
D	Carvão	101,0	0,73
E	Carvão	99,0	0,71
F	Carvão	21,0	0,15
G	Carvão	2800,0	10,7
H	Agalmatolito	679,0	21,0
I	Esmeralda	122,0	1,00
J	Carvão	985,0	5,00
L	Scheelita	779,0	4,00
M	Turmalina	4153,0	21,00
N	Fluorita	316,0	3,00

Fonte: Adaptado de Ayres da Silva (2016)

El Hajj (2017) apresenta os resultados de exalação específica de gás radônio (exalação por área em Bq/hm²) em rochas ornamentais, sendo que dentre as amostras estudadas, 16 tiveram resultado superior a 150 Bq/hm², valor máximo recomendado proposto em seu estudo, estes dados estão demonstrados na Figura 6.

OBS: Os valores de Rn-total são os dados de exalação específica. Para as amostras em que este dado não é apresentado na imagem (indicadas pelos retângulos vermelhos), o valor medido foi superior ao recomendado de 150 Bq/hm². Os dados de exalação específica são relacionados com o Ra_{eq}, um dos índices de perigo radiológico utilizados pela autora.

Figura 6 - Relação entre Raeq e exalação específica de Rn em rochas ornamentais brasileiras.

Fonte: El Hajj (2017)

2.4.5 Valores de referência para exposição ao radônio

De acordo com o documento *National Radiological Protection Board* (NRPB, 1989), a dose equivalente total de radiação ionizante recebida por um cidadão britânico durante o ano de 1989, foi de 2,8 millisievert em média, o mesmo documento estima que 87% deste valor teve origem em fontes naturais, por exemplo, raios cósmicos, raios gama e radionuclídeos ingeridos. O radônio se enquadra como fonte natural e representa 47% deste total de dose recebida naquele ano, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Fontes de radiação por pessoa no Reino Unido

Fonte	Dose Anual (%)
Fontes Naturais	87,0
Gás radônio (^{222}Rn) do solo.	47,0
Tório (^{220}Rn) do solo.	4,0
Raios gama do solo e de materiais de construção.	14,0
Comida e bebida	12,0
Raios cósmicos	10,0
Fontes Artificiais	13,0
Médicas	12,0
Descargas nucleares	0,1
Trabalho	0,2
Outras	0,8

Fonte: NRPB (1989)

Fianco (2011) compilou uma série de estudos que apontaram o aumento da incidência de câncer de pulmão nos trabalhadores da área de mineração, quando comparados com a incidência em indivíduos que desenvolviam suas atividades laborais em outras áreas. Estes estudos foram realizados em minas de diversos minerais como urânio, ferro, estanho e fluorita e que se localizavam em diversos locais principalmente Austrália, Canadá, China, Estados Unidos e Europa. Estes trabalhadores foram acompanhados por mais de 30 anos e é importante ressaltar que a metodologia de análise aplicada em cada estudo não foi a mesma.

A Tabela 6 apresenta a probabilidade de morte por câncer de pulmão associado à uma exposição ao radônio constante de 200 Bq/m³ durante uma vida inteira, um parâmetro que pode ser utilizado como referência no estudo para a estimativa de risco decorrente da exposição ocupacional ao radônio (NRPB, 1989).

Tabela 6 – Risco de morte por câncer de pulmão por exposição de 200 Bq/m³ de radônio durante uma vida inteira

	Risco (%)
População geral	3-5
Fumantes	10-15
Não-Fumantes	1-3
Fonte: NRPB, 2000	

Fonte: NRPB (1989)

Os dados referentes aos níveis de ação e limites de exposição aplicados em diversos países até o ano de 2007 estão apresentados na Tabela 7 (ZEEB, 2007). Estes dados são para aplicação em construções residenciais e comerciais. O nível de ação representa o valor que, ao ser ultrapassado, as medidas de controle são recomendadas e o limite de exposição é a concentração à partir da qual, potenciais prejuízos à saúde dos expostos podem ocorrer, portanto, pessoas não devem ser expostas a ambientes aos quais este limite foi ultrapassado.

Tabela 7 – Níveis de ação e limites de exposição ao radônio em diversos países

País	Nível de ação	Limite de exposição
Argentina	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
Áustria	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
República Checa	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
China	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³ (residências) – 1000 Bq/m ³ (locais de trabalho)
Alemanha	100 Bq/m ³	100 Bq/m ³
Reino Unido	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³
Estados Unidos	148 Bq/m ³	148 Bq/m ³

Fonte: Zeeb (2007)

2.4.6 Métodos de medição da concentração de radônio

Devido ao fato de o radônio ser um gás nobre, não existem filtros químicos capazes de detectar sua concentração diretamente no ar. A maioria dos métodos de detecção são baseados na atividade radioativa (L'ANNUNZIATA, 2013).

Alguns modelos de detectores são sensíveis às emissões de partículas alfa provenientes do ^{222}Rn e de seus produtos de decaimento, outros métodos detectam os raios gamas provenientes dos elementos ^{214}Pb ou ^{214}Bi (L'ANNUNZIATA, 2013).

Os processos de detecção variam de um modelo para outro, sendo que existem detectores capazes de diferenciar os isótopos ^{222}Rn (gás radônio) e ^{220}Rn (gás torônio), há também os que se diferem pela maneira como coletam o ar, os ativos em que a passagem de ar é forçada, por uma bomba, através da câmara de medição, ou os passivos que dependem da circulação natural do ar ambiente para que a coleta seja realizada (ISHIMORI *et al.*, 2013).

Outra classificação utilizada para os métodos de detecção divide os detectores em 3 categorias de acordo com o intervalo de amostragem (ISHIMORI *et al.*, 2013).

- Método instantâneo faz a amostragem em um pequeno intervalo de tempo e pode ser utilizado para fazer uma avaliação prévia do ambiente estudado, este procedimento é conhecido como modo *sniffer*.
- Detectores semi-integrativos que possuem intervalo de medição que varia entre alguns minutos a algumas horas, estes, por sua vez, possuem uma sensibilidade maior, quando comparados com o método instantâneo e podem ser utilizados para medir a variação da concentração de gás radônio durante um dia inteiro, detectando as oscilações que ocorrem na concentração.
- Método completamente integrativo que apresenta a concentração média de radônio para períodos relativamente longos, variando de semanas ou até meses, estes detectores são passivos e facilitam a avaliação de

grandes áreas pois permitem um grande número de medições simultâneas, já que o custo destes equipamentos é relativamente pequeno, quando comparado com os demais.

2.4.6.1 *Nuclear track detectors*

Equipamentos relativamente baratos, com custo aproximado de U\$ 10,00 por detector, são passivos e integrativos e consistem na utilização de um filme de um material específico, como nitrato de celulose, que ao ser exposto à radiação, tem a sua superfície marcada pelas partículas alfa. Após a amostragem, este filme é mergulhado em uma solução alcalina para que as marcas (*tracks*) fiquem maiores, a densidade de marcas indica a concentração média de radônio à qual o detector ficou exposto (ISHIMORI *et al.*, 2013; L'ANNUNZIATA, 2013).

Além do custo, as outras vantagens deste detector estão relacionadas ao fato destes serem pequenos e de simples utilização, basta serem posicionados nos locais de medição (ISHIMORI *et al.*, 2013; L'ANNUNZIATA, 2013).

2.4.6.2 Detectores de célula de cintilação

Equipamentos semi-integrativos que operam em modo passivo ou ativo. Consiste em um cilindro metálico revestido internamente com um material cintilador, geralmente sulfeto de zinco ativado por prata em pó. Quando uma emissão alfa interage com o material cintilador, ocorre a produção de fótons que são detectados e amplificados por um fotomultiplicador. Este fotomultiplicador fica posterior à uma janela transparente, um sensor eletrônico realiza a contagem destes fótons determinando a concentração de radônio (ISHIMORI *et al.*, 2013).

Para garantir uma medição confiável, é necessário que o ar que entra dentro da câmara atravesse um filtro de sólidos, removendo a poeira e outros produtos de

decaimento do radônio que podem ser alfa emissores. Além de ser relativamente barato, o método é capaz de diferenciar os isótopos ^{222}Rn e ^{220}Rn se utilizadas duas câmaras com um espaçamento grande o suficiente para que o ^{220}Rn sofra decaimento ao longo do circuito de montagem, além disso, é possível realizar um controle eficaz das incertezas do método, alcançando uma grande acurácia nas medições. Como desvantagem, há o fato de que a câmara pode ser contaminada pelo resíduo de fundo depositado em seu interior, principalmente, pelo acúmulo de ^{210}Pb e seus produtos de decaimento alfa emissores (ISHIMORI *et al.*, 2013).

2.4.6.3 Detectores de barreira de superfície

Detectores ativos que possuem método de integração variável podendo operar em modo instantâneo ou semi-integrativo. O ar é bombeado através de um cilindro com um filtro de sólidos primário que tem a finalidade de reter possíveis produtos de decaimento dispersos no ar, o radônio e torônio presentes na amostra irão sofrer decaimento dentro da câmara cilíndrica e os elementos radioativos formados ficarão retidos em um filtro secundário que fica voltado para o detector de barreira de superfície. Outra possibilidade de arranjo é a coleta dos produtos de decaimento do radônio e torônio em uma superfície metálica, especificamente o ^{218}Po , que é contabilizado utilizando o detector de barreira de superfície. Sabendo o tempo de medição e a distância entre os filtros, o detector é capaz de fornecer a concentração de radônio na amostra coletada (IAEA, 2010).

A vantagem deste tipo de detector é o fato deste possuir um limite de detecção bastante baixo e pode diferenciar os isótopos radônio e torônio, porém, o custo é relativamente alto.

2.4.6.4 Detectores *electret*

Detectores integrativos, passivos, leves e relativamente baratos, consiste na utilização de um disco de teflon eletricamente carregado que atua como fonte de campo eletrostático e sensor. A ionização do ar contido dentro da câmara de medição, devido ao decaimento do radônio, reduz a carga do disco de teflon e esta queda de voltagem é utilizada para quantificar a concentração. A desvantagem deste método é que a radiação gama e a condensação de água no interior da câmara influencia nas descargas elétricas (ISHIMORI *et al.*, 2013).

2.4.6.5 Detectores de carvão ativado

Detectores integrativos, passivos e com custo relativamente baixo, carvão ativado é utilizado como método para adsorção de radônio. O carvão é pesado em uma vasilha e permanece lacrado até o momento de medição, o tempo de amostragem, pode variar de horas até vários dias, dependendo da concentração e do limite de detecção requerido, após a amostragem, o carvão é novamente selado e posteriormente, a atividade do radônio é determinada por espectrometria gama ou por cintilação líquida. A desvantagem do método é que a umidade diminui drasticamente a capacidade de adsorção do carvão ativado por tanto, este procedimento não pode ser realizado em locais úmidos (ISHIMORI *et al.*, 2013).

2.4.6.6 Detectores de câmara de ionização

Detectores que podem atuar de forma ativa ou passiva, são semi-integrativos e o limite de detecção pode ser relativamente baixo, da ordem de até 4 Bq/m³. Consistem em uma câmara cilíndrica com um ânodo coletor no centro, este

coletor recebe a energia dissipada no decaimento radioativo do radônio e produz uma corrente de íons, esta corrente é medida por meio de um eletrômetro e a concentração de radônio pode ser calculada. A desvantagem do método é o tempo de resposta baixo e a variação da sensibilidade em decorrência da variação da temperatura, pressão e umidade (ISHIMORI *et al.*, 2013).

2.5 EFEITOS BIOLÓGICOS DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO

Após a ocorrência da exposição de uma célula à radiação ionizante, o efeito imediato será a ionização de seus átomos e moléculas, como consequência deste fato, a liberação de íons e radicais livres que são altamente reativos e difusíveis irá ocorrer. Por sua vez, estes radicais podem reagir quimicamente com as moléculas vizinhas e entre si. Estas associações podem resultar no desenvolvimento de macromoléculas tais como proteínas e cadeias metabólicas importantes, porém, com funções biológicas alteradas (PEREIRA, 2013).

Segundo Pereira (2013), quando o corpo inteiro é exposto a altas doses de radiação, um quadro de afecções denominado de síndrome aguda das radiações é desenvolvido ocasionando perda de pelos, alteração sanguínea, distúrbios gastrointestinais, danos no sistema nervoso e eventualmente a morte.

Ainda segundo o autor, em casos de exposição contínua a baixas doses de radiação ionizante, que é o cenário mais relacionado à exposição ao radônio, os efeitos crônicos são mais preocupantes. Quando radioisótopos são inalados, os mesmos sofrem decaimento dentro do organismo e como consequência, outros elementos químicos radioativos são gerados. Estes elementos, por possuírem similaridade química com metabólitos naturais do corpo, podem ficar alocados nos tecidos e órgãos irradiando continuamente as células próximas aos locais de deposição. Estes efeitos são mais comumente detectados.

Dentre os efeitos crônicos possíveis, se destacam o desenvolvimento de catarata e câncer, sendo que os mais comuns são o de pulmão, de tireoide, os que afetam os ossos e o sistema hematopoiético (PEREIRA, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos consistiram em realizar visitas à empreendimentos de mineração com a finalidade de realizar medidas da concentração de radônio nos ambientes de trabalho (locais com alto acúmulo de poeira mineral) e em pilhas de pó de brita (granulometria abaixo de 4,8 mm), com a finalidade de medir a exalação neste material.

Em paralelo a este processo, uma amostra de material foi coletada em cada local visitado para que a mesma fosse analisada em laboratório.

As amostras foram preparadas para a realização de análises de exalação de radônio em bancada, através de procedimento padronizado.

Os dados de concentração de radônio nos ambientes de trabalho foram comparados, com os dados de exalação em bancada e com os dados de exalação em pilha, para verificar se há correlação estatística.

Por último os valores obtidos também foram comparados com os valores de referência legais, limites de tolerância e níveis de ação.

A Figura 7 apresenta a metodologia, de forma resumida.

Figura 7 - Resumo da metodologia

Fonte: Arquivo pessoal

3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para avaliação da concentração de radônio nos ambientes de trabalho, nas pilhas de pó de brita e nos testes de bancada, foram utilizados os medidores RadonMapper (Figura 8), fabricado pela empresa TECNAVIA, que é um equipamento que opera com uma célula de cintilação, cada medição foi realizada por aproximadamente 1 hora.

Nos postos de trabalho, as medições foram feitas por dois equipamentos operando simultaneamente, um equipamento ativo, utilizando uma bomba de sucção com vazão calibrada de 0,250 litros por minuto e o segundo de forma passiva, sem bomba.

Os testes de bancada foram realizados no LACASEMIN – Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Figura 8 - RadonMapper

Fonte: Arquivo pessoal

O Medidor de vazão utilizado acoplado ao circuito de medição foi o equipamento da marca Vögtlin modelo *red-y compact* (Figura 9) e em todas as medições o mesmo foi calibrado para operar a 250 litros por minuto.

Figura 9 - Medidor de vazão

Fonte: Arquivo pessoal

3.2 ATIVIDADES DE CAMPO

As atividades de campo foram divididas em quatro etapas.

3.2.1 Reconhecimento dos locais de exposição

Na primeira etapa das atividades, foram identificados, de forma qualitativa, postos de trabalho onde a probabilidade de exposição ao radônio poderia ser maior. Esta identificação foi realizada através de observação do processo produtivo de modo a identificar colaboradores que permanecem, durante a sua jornada de trabalho, por períodos elevados em locais onde o material lavrado passa pelos estágios de cominuição ou em locais onde ocorre o descarregamento e transporte do material, principalmente, nas usinas de beneficiamento.

Esta identificação foi basicamente pautada em identificar os potenciais locais onde haviam uma maior concentração de poeira mineral próximo aos trabalhadores.

Em paralelo a este processo, os responsáveis pela produção ou os técnicos de segurança que acompanharam as medições foram questionados sobre o conhecimento quanto aos riscos em relação ao gás radônio nos empreendimentos em que desenvolviam suas funções.

3.2.2 Posicionamento dos medidores de radônio

Após a identificação dos locais de trabalho na primeira fase, a segunda etapa das atividades de campo consistiu em fixar os equipamentos de medição da concentração de gás radônio, de forma que estes ficassem o mais próximo

possível da posição dos colaboradores. Nos casos onde o posto de trabalho não é fixo, os medidores foram posicionados nos locais onde o trabalhador passava a maior parte de seu tempo laboral.

O tubo de coleta do medidor de radônio foi posicionado a uma altura de 1,7 m do solo simulando a zona respiratória do trabalhador (mecanismo de entrada do radônio no corpo), já o medidor passivo foi posicionado em local próximo ao nível do piso do local de trabalho, distando cerca de 5 centímetros para coletar o radônio mais próximo ao piso, já que o mesmo possui densidade maior do que a do ar.

3.2.3 Coleta de amostras para análise e medição em pilha

Uma amostra de 1 kg do material lavrado foi coletada em cada local visitado para posterior análise. As amostras foram coletadas em pilhas de armazenamento de pó de brita (granulometria inferior a 4,8 mm). Preferência pelas pilhas de produção mais recente.

Para as medições de exalação em pilha, o RadonMapper, em sua configuração ativa, também calibrado para vazão de 0,250 litros por minuto, foi utilizado acoplado a uma haste de metal oca para medição da exalação interna (Figura 10 e 13), a coleta foi realizada sempre a uma profundidade de 45 cm.

A haste possui em sua extremidade superior um adaptador para facilitar a perfuração das pilhas, permitindo que a mesma seja martelada como um prego, com a utilização de um martelo, sem que o sistema de acoplamento do tubo de medição do RadonMapper seja danificado, indicado pelas setas amarelas na Figura 10.

Na extremidade inferior, a haste possui um dispositivo que se abre ao ser levemente tensionado, permitindo a coleta de ar dentro da pilha, indicado pela seta azul na mesma figura.

Figura 10 – Haste de metal utilizada nas medições

Fonte: Arquivo pessoal

3.2.4 Recolhimento dos equipamentos e descontaminação

Após o período de coleta, os equipamentos foram recolhidos e as câmaras dos medidores foi descontaminada mantendo-se, em circuito aberto, a passagem de ar com baixa concentração de radônio.

Para este procedimento, foi utilizada a própria bomba de coleta ajustada em sua vazão máxima. Desta forma, o ar dentro das câmaras foi renovado por várias vezes evitando contaminação para as próximas medições.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada em empreendimentos de mineração situados em regiões metropolitanas do estado de São Paulo, incluindo também, o litoral paulista. Cinco pedreiras foram visitadas para coleta de dados nesta avaliação.

3.3.1 Pedreira A

Pedreira localizada em uma região metropolitana do interior do estado de São Paulo, produz pedra britada, areia de brita, pó de brita e outros produtos para utilização principal na construção civil, por exemplo, pré-moldados e materiais de aplicação asfáltica. As rochas lavradas são de origem granítica e o método de lavra é céu aberto, por detonação de bancadas.

O tratamento dos minérios é feito basicamente por processos de cominuição e peneiramento.

Possui aproximadamente 30 funcionários e a produção diária à época das visitas era de aproximadamente 2500 toneladas de agregado para construção civil, que é destinado diretamente ao consumidor final e para empreiteiras.

As visitas para coleta de dados foram realizadas nos dias 27/03 e 26/04 do ano de 2018. As atividades de campo foram supervisionadas pelo técnico de segurança.

3.3.1.1 Posicionamento dos equipamentos na pedreira A

A primeira etapa durante a visita, foi realizada através de observação e com o auxílio do técnico de segurança. O local de trabalho identificado como possível

local de maior exposição a poeira mineral foi abaixo do britador cônico, conforme indicado pela seta amarela na Figura 11. Este equipamento atua como britador secundário na linha de cominuição. A limpeza do local é feita a cada dois dias devido ao acúmulo de poeira.

Figura 11 - Posto de trabalho avaliado na pedreira A

Fonte: Arquivo pessoal

Para avaliar a concentração de radônio no local, foram instalados os medidores ativo e passivo conforme a metodologia proposta. O medidor ativo com fluxímetro e zona de coleta posicionada a uma altura de 1,7 m do nível do posto de trabalho e o medidor passivo próximo ao nível mais baixo (Figura 12).

Figura 12 - RadonMappers ativo e passivo posicionados na pedreira A

Fonte: Arquivo pessoal

A terceira etapa de medições de exalação em pó de brita foram realizadas em uma pilha de pó de brita, distando aproximadamente 150 metros do posto de trabalho avaliado na etapa anterior, o equipamento ativo foi posicionado conforme a proposta (Figura 13).

Por último, na quarta etapa, os equipamentos foram recolhidos.

Figura 13 - Medição em pilha na pedreira A

Fonte: Arquivo pessoal

3.3.2 Pedreira B

Pedreira localizada no litoral do estado de São Paulo, produz pedra britada, areia de brita e pó de brita. As rochas lavradas são de origem granítica e o método de lavra é céu aberto, por detonação de bancadas.

Novamente, por se tratar de uma pedreira, o método de tratamento de minério utilizado consiste basicamente em cominuir e peneirar os materiais.

Possui aproximadamente 40 funcionários e a produção diária à época das visitas era de aproximadamente 2250 toneladas de agregado para construção civil, que é destinado diretamente ao consumidor final.

A visita para coleta de dados foi realizada no dia 02/10/2018, e as atividades de campo foram supervisionadas pelo engenheiro responsável técnico de produção.

3.3.2.1 Posicionamento dos equipamentos na pedreira B

Neste local, a determinação do posto de trabalho a ser avaliado foi determinado por observação. Durante a visita, por várias vezes, um técnico se dirigia ao britador primário (de mandíbula) para operar o rompedor devido ao grande número de vezes que alguma rocha bloqueava o equipamento.

Este fato poderia ter sido desencadeado por um desmonte mal realizado, porém, ao ser questionado, o técnico confirmou que o procedimento era comum e acontecia diariamente, frente a esta constatação, este local foi definido para coleta e está identificado pela seta amarela na Figura 14.

Figura 14 - Posto de trabalho avaliado na pedreira B

Fonte: Arquivo pessoal

A medição em pilha, também foi realizada em uma pilha de pó de brita que estava em produção conforme indicado pela Figura 15.

Figura 15 - Medição em pilha na pedreira B

Fonte: Arquivo pessoal

3.3.3 Pedreira C

Pedreira localizada na região metropolitana da cidade de São Paulo, produz pedra britada, areia de brita e pó de brita derivados de rocha granítica. Assim como a mineração A esta pedreira também produz outros materiais para utilização na indústria da construção civil. Novamente, o método de lavra é céu aberto, por detonação de bancadas.

Comparada com as demais pedreiras, esta possui área consideravelmente menor, tanto a cava quanto a usina de beneficiamento possuem pouco espaço para operação e as atividades são realizadas umas próximas as outras.

O tratamento dos minérios é o mesmo, feito basicamente por processos de cominuição e peneiramento.

Possui aproximadamente 40 funcionários e a produção diária à época das visitas era de aproximadamente 2750 toneladas de agregado para construção civil, que é destinado diretamente ao consumidor final e também para a indústria.

A visita para coleta de dados foi realizada no dia 17/10/2018. As atividades de campo foram supervisionadas pelo técnico de segurança.

3.3.3.1 Posicionamento dos equipamentos na pedreira C

Assim como na pedreira A, o técnico de segurança prontamente apontou a parte lateral do britador cônico (secundário) como o local onde havia maior reclamação por parte dos colaboradores devido ao grande acúmulo de poeira mineral, desta forma este ponto foi definido como local de medição indicado pela seta amarela na Figura 16. O fato foi constatado na figura, chegando a ficar visível a concentração de poeira.

Figura 16 - Posto de trabalho avaliado na pedreira C

Fonte: Arquivo pessoal

Nesta pedreira, as medições foram realizadas em uma pilha de pó de brita que se localizava ao final de uma correia transportadora que seguia diretamente do circuito em que se localiza o britador secundário próximo ao posto de trabalho avaliado. O equipamento posicionado pode ser verificado na Figura 17.

Figura 17 - Medição em pilha na pedreira C

Fonte: Arquivo pessoal

3.3.4 Pedreira D

Pedreira localizada no interior do estado de São Paulo, produz pedra britada, areia de brita e pó de brita derivados de rocha granítica. Assim como as pedreiras A e C, esta pedreira também produz outros materiais para utilização na indústria da construção civil. Novamente, o método de lavra é céu aberto, por detonação de bancadas.

De todos os empreendimentos avaliados, este foi o maior em tamanho físico e em produção.

O método de tratamento de minérios é o mesmo das demais.

Possui aproximadamente 95 funcionários e a produção diária à época das visitas era de aproximadamente 6500 toneladas de agregado para construção civil, que é destinado diretamente ao consumidor final e também para a indústria.

A visita para coleta de dados foi realizada no dia 29/10/2018. As atividades de campo foram supervisionadas pelo engenheiro responsável técnico da produção.

3.3.4.1 Posicionamento dos equipamentos na pedreira D

O posto de trabalho escolhido para ser avaliado na pedreira D foi próximo ao rompedor do britador primário (Figura 18, indicado pela seta amarela), o equipamento não possui cabine para operação e o técnico precisa se deslocar até a frente do britador, se expondo a grandes quantidades de poeira mineral para operar o rompedor, este fato ocorre várias vezes durante a jornada de trabalho, entre 10 e 20 vezes, e cada evento pode durar de 10 a 40 minutos.

Figura 18 - Posto de trabalho avaliado na pedreira D

Fonte: Arquivo pessoal

Devido a indisponibilidade de equipamentos, neste dia, apenas o equipamento ativo foi utilizado para a avaliação.

A pilha de pó de brita avaliada nesta pedreira se localizava a aproximadamente 500 m de distância do britador primário. Neste dia, devido a um problema operacional, a mesma não estava sendo alimentada (Figura 19). O material depositado e armazenado na pilha havia sido extraído há aproximadamente duas semanas.

Figura 19 - Medição em pilha na pedreira D

Fonte: Arquivo pessoal

3.3.5 Pedreira E

Localizada na região metropolitana da grande São Paulo. O último empreendimento segue o mesmo padrão dos demais, produz pedra britada, areia de brita e pó de brita destinada ao uso na construção civil e indústria, o método de lavra é céu aberto com detonação de bancadas e o processo de tratamento se dá apenas por cominuição e peneiramento.

Possui aproximadamente 45 funcionários e a produção diária à época das visitas era de aproximadamente 3000 toneladas de agregado para construção civil, que é destinado diretamente ao consumidor final e também para a indústria.

A visita ocorreu no dia 01/11/2018 e foi acompanhada pelo engenheiro e gerente da mina.

3.3.5.1 Posicionamento dos equipamentos na pedreira E

A definição do posto de trabalho avaliado (Figura 20, indicado pela seta amarela) foi similar à pedreira D, lateralmente ao britador primário, pelos mesmos motivos, o colaborador precisa se deslocar até o rompedor para operar o mesmo, durante esta medição, apenas o equipamento passivo estava disponível.

Figura 20 - Posto de trabalho avaliado na pedreira E

Fonte: Arquivo pessoal

A pilha de pó de brita se encontrava a aproximadamente 400 m de distância e estava em operação, haviam caminhões realizando o carregamento com auxílio de pá carregadeira no momento da medição, desta forma, o equipamento precisou ser posicionado ao fundo da pilha (Figura 21).

Figura 21 - Medição em pilha na pedreira E

Fonte: Arquivo pessoal

3.4 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As atividades de laboratório foram divididas em duas etapas.

3.4.1 Preparação das amostras

A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Tratamentos de Minérios da USP (LTM) e foi executada de forma a atender os requisitos da análise de bancada quanto às condições de umidade e granulometria dos materiais.

O processo de preparação de amostras foi iniciado com o peneiramento à seco. Toda a amostra de 1 kg de material foi peneirada em malha 4,8 mm, todo o

material passante foi destinado para posterior análise e a porção de material retido foi armazenado.

Em seguida, o material passante foi secado em uma estufa a 100 °C para retirada da umidade.

Por último, foi feita a homogeneização do material através do método de pilha alongada para que toda a fração granulométrica abaixo de 4,8 mm fosse utilizada na próxima etapa. Uma alíquota de 500 g foi retirada para execução da análise de bancada e o restante do material com massa inferior a 500 g foi armazenado.

A Figura 22 apresenta o fluxograma de preparação de amostra.

Figura 22 - Fluxograma de preparação de amostras

Fonte: Arquivo pessoal

3.4.2 Medição de exalação de radônio nas amostras

Em posse das alíquotas de 500 g devidamente preparadas, os processos de medição de exalação de radônio foram realizados com o equipamento RadonMapper operando em modo ativo (com o auxílio de bombeamento mecânico de ar), utilizando a bomba que já vem acoplada ao equipamento (a

bomba possui duas posições de operação, *high* e *low*, para a análise a bomba foi configurada em modo *high* e o regulador de fluxo foi utilizado para manter a vazão padrão).

As amostras foram colocadas em um recipiente próprio para acomodação que consiste em um cilindro de acrílico com duas pontas de PVC rosqueáveis para inserção e retirada do material. No centro de cada ponta, há um canal metálico por onde o ar pode passar. O recipiente é hermeticamente fechado, permitindo a passagem de ar apenas pelos orifícios nas extremidades (Figura 23 e Figura 24).

Figura 23 - Esquema do cilindro de acomodação de amostras

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 24. Tubo para acondicionamento da amostra.

Fonte: Arquivo pessoal

O arranjo de medição foi montado utilizando duas unidades de medição. Na entrada de ar do sistema, foi posicionado um filtro de partículas sólidas para impedir a entrada de poeira e de outros produtos do decaimento do radônio presentes no ar externo. Após a passagem pelo filtro, o ar percorreu a primeira unidade de medição para que o radônio presente no ar externo fosse contabilizado e posteriormente subtraído dos valores medidos na amostra.

A saída da primeira unidade foi conectada ao orifício de entrada do cilindro de acomodação de amostras. A saída do cilindro foi conectada a outro filtro de partículas sólidas, para evitar que o material penetre na câmara da segunda unidade de medição. A saída do segundo filtro foi conectada a uma segunda unidade de medição que irá registrar a concentração total de radônio contida na amostra e também no ar que adentrou o sistema. A bomba de ar foi conectada na saída da segunda unidade.

Um desenho esquemático do arranjo de medição está apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Desenho do arranjo de medição

Fonte: Arquivo pessoal

Ao final do arranjo, um medidor de fluxo foi acoplado para padronizar o fluxo de ar nos ensaios, o medidor utilizado foi mesmo das demais, fabricante Vögtlin modelo *red-y compact*. A vantagem deste medidor no estudo é que o mesmo é capaz de se conectar ao RadonMapper via conexão USB e o fluxo instantâneo é armazenado pelo equipamento juntamente com os dados medidos para posterior verificação.

O fluxo padronizado para o processo foi de 0,250 L/min com a bomba do equipamento RadonMapper posicionada em modo *High*.

O RadonMapper forneceu como saída de dados um gráfico, conforme exemplo apresentado na Figura 26. No eixo y, são apresentadas medições de concentração de radônio no interior da célula, no eixo x, o tempo de medição com pontos registrados em períodos espaçados de 1 em 1 minuto (ele forneceu especificamente a média minuto a minuto), os dados também foram baixados em formato de planilha eletrônica, as faixas em vermelho no gráfico indicam quando o equipamento não registrou dados por estar desligado, nestes momentos, o equipamento mantém o último valor medido como constante para minimizar a influência deste período na média.

Os ensaios foram realizados por períodos superiores a 1 hora, sendo que os 5 minutos iniciais e finais não foram considerados nos dados para evitar os momentos onde a amostra foi acondicionada e estabilizada ou quando o equipamento foi manipulado. A Figura 27 apresenta uma foto do arranjo utilizado no teste de bancada e a Figura 28, o tubo onde as amostras foram acomodadas para a realização do ensaio. O período efetivo de medição foi de 1 hora e o valor que caracterizou cada amostra foi a média registrada na unidade 2 menos a média registrada na unidade 1.

Figura 26 - Exemplo de saída de dados do RadonMapper

Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 27 - Arranjo utilizado nos testes de bancada

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 28 - Tubo para acomodação das amostras

Fonte: Arquivo pessoal

3.5 AVALIAÇÃO DOS DADOS

De posse de todos os parâmetros medidos, foi realizada a avaliação e comparação dos dados. Primeiramente, os resultados foram apresentados organizados por local de medição, em seguida, os dados foram agrupados por tipo:

- Concentração no ambiente de trabalho;
- Exalação na pilha de pó de brita;
- Exalação no pó de brita em bancada.

Posteriormente, os dados foram correlacionados e comparados entre si.

3.5.1 Correlação entre os dados obtidos

A primeira etapa consistiu na análise descritiva. Todos os parâmetros obtidos foram comparados em pares, onde os dados foram agrupados por localidade. Para facilitar a visualização, os resultados foram apresentados em formato de gráficos.

O segundo passo, foi verificar a hipótese de que os resultados poderiam apresentar *overlap*, ou seja, resultados de análises diferentes apresentem valores estatisticamente equivalentes. Para esta verificação, foi realizado o teste ANOVA (*Analysis of Variance*) *oneway* que basicamente analisa, através da comparação entre as variâncias, se os dados obtidos em grupos distintos (neste caso, as médias) são estatisticamente equivalentes ou não. De forma complementar, o teste não paramétrico *Post-Hoc Games-Howell* foi utilizado para comparar posto a posto, os dados obtidos, ou seja, enquanto o teste ANOVA verifica as condições de igualdade como um todo, levando em consideração todos os resultados obtidos na metodologia, o teste de *Games-Howell* compara pares de dados, para verificar equivalência entre resultados obtidos em cada teste (HAIR Jr. *et al.*, 2009; RUXTON e BEAUCHAMP, 2008).

O teste ANOVA é definido pela seguinte equação:

$$F = \frac{SQE/(m-1)}{SQD/(N-m)} \quad (12)$$

Onde:

- F é o resultado do teste;
- SQE é a soma dos quadrados entre grupos;
- SQD é a soma de quadrados dentro de cada grupo;
- m é o número de grupos;
- N é o tamanho amostral total.

Posteriormente, foi realizada a correlação estatística entre os dados levando em consideração o comportamento dos dados agrupados por tipo, todas as correlações estatísticas foram calculadas utilizando o coeficiente de *Spearman* (ρ) (equação 14), que se trata de um coeficiente de correlação indicado para casos em que os dados não formam uma nuvem bem determinada com pontos com distâncias variáveis entre si, ou em casos onde os dados possam possuir uma correlação crescente ou decrescente, em formato de curva. Outra particularidade deste parâmetro é que o mesmo pode ser utilizado quando a escala de medida entre os dados não é a mesma (DAVORE, 1995 *apud*. EL HAJJ, 2017).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_i^n d_i^2}{(n^3 - n)} \quad (13)$$

Onde:

- ρ é o resultado do teste;
- n é o número de pares (x_i, y_i);
- d_i é a diferença entre cada posto de valor correspondente de x_i e y_i .

Os respectivos coeficientes de correlação de *Spearman* foram agrupadas em quadros para facilitar a visualização e comparação para verificar quais dados possuem uma maior correlação entre si.

Para complementar os testes de correlação, foi utilizado também o teste de *Pearson* que difere do coeficiente de *Spearman* pois analisa uma possível correlação linear entre os dados, positiva ou negativa e é calculado através da fórmula (HAIR Jr. *et al.*, 2009):

$$\rho = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (14)$$

Onde:

- ρ é o resultado do teste;

- x_i e y_i são os dados obtidos nas diferentes análises;
- $\bar{x}$ e $\bar{y}$ são as médias aritméticas de cada análise.

Tanto para o coeficiente de *Pearson*, como para o de *Spearman*, quanto mais próximo de 1, o resultado do coeficiente, mais forte é a correlação, sendo 1, correlação total, entre 0,9 e 1, uma correlação muito forte, entre 0,7 e 0,8, correlação forte e entre 0,5 e 0,7, correlação moderada.

Todas as análises foram feitas com o auxílio de *software* Excel para análise estatística.

3.5.2 Comparação dos dados obtidos com os valores de referência

Os dados de concentração de radônio obtidos nos ambientes de trabalho foram comparados com os valores internacionais de referência apresentados na Tabela 8, especificamente com o limite norte americano proposto que é de 148 Bq/m³ e também é o mais utilizado no mundo.

Tabela 8 - Níveis de ação e limites de exposição, em destaque o padrão dos EUA

País	Nível de ação	Limite de exposição
Argentina	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
Áustria	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
República Checa	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³
China	200 Bq/m ³	400 Bq/m ³ (residências) – 1000 Bq/m ³ (locais de trabalho)
Alemanha	100 Bq/m ³	100 Bq/m ³
Reino Unido	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³
Estados Unidos	148 Bq/m³	148 Bq/m³

Fonte: Adaptado de Zeeb (2007)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados seguirá compilando os dados por unidade, para que possa ser feita a discussão dos dados de forma individual, sem levar em consideração o comportamento ou relação entre as localidades analisadas. O apêndice A apresenta as planilhas com os dados das medições.

4.1 RESULTADOS APRESENTADOS POR LOCALIDADE

4.1.1 Pedreira A

4.1.1.1 Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira A

Os dados para o ambiente de trabalho analisado na pedreira A, registrados pela unidade ativa (com bomba de amostragem), localizada abaixo do britador secundário (do tipo cônico) resultaram em um pico de 237 Bq/m³, média aritmética de 47 Bq/m³ e desvio padrão de 49 Bq/m³.

Durante o tempo de medição de uma hora, os valores ultrapassaram o nível de ação de referência de 148 Bq/m³ por três vezes.

O gráfico com os dados de saída do RadonMapper está apresentado na Figura 29, a linha vermelha horizontal representa a média registrada durante o período de medição e a linha azul horizontal, o limite de tolerância/nível proposto para comparação.

Figura 29 - Resultado da pedra A, posto de trabalho, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

Ainda dentro da avaliação do ambiente de trabalho analisado na pedra A, agora registrados pela unidade passiva (sem bomba de amostragem), localizada abaixo do britador secundário (do tipo cônico), os resultados atingiram um pico de 172 Bq/m^3 , média aritmética de 38 Bq/m^3 e desvio padrão de 41 Bq/m^3 .

Durante o tempo de medição de uma hora, o nível de ação de referência de 148 Bq/m^3 foi ultrapassado uma única vez, exatamente no registro do valor de pico.

O gráfico com os dados de saída do RadonMapper da referida medição está apresentado na Figura 30, novamente, a linha vermelha representa a média registrada durante o período de medição.

Figura 30 - Resultado da pedreira A, posto de trabalho, unidade passiva

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.1.2 Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira A

O equipamento ativo registrou uma média aritmética de 29450 Bq/m^3 , um valor de pico de 33443 Bq/m^3 e desvio padrão de 1367 Bq/m^3 durante a avaliação na pilha de pó de brita na Pedreira A.

Os valores registrados foram, na média, quase 200 vezes maior que o valor de referência adotado.

A Figura 31 apresenta o gráfico com os dados, seguindo o padrão anterior, a linha vermelha representa a média aritmética, neste caso específico, o valor de

referência não foi apresentado no gráfico pois ficaria muito próximo do eixo x devido a escala gráfica.

Figura 31 - Resultado da pedreira A, pilha de pó de brita, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.1.3 Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira A

Os dados registrados pelo equipamento posicionado antes do material, registrando a concentração de gás radônio presente no ar do laboratório, estão apresentados na Figura 32. A média aritmética que será utilizada em seguida para abater da média registrada pelo medidor posicionado posterior ao material foi de 22 Bq/m³. Esta medição foi comparada com um ensaio prévio realizado no laboratório, na mesma sala onde a avaliação de bancada foi realizada e a mesma

média foi constatada. Este ensaio teve duração de 3 meses e foi realizado com a mesma vazão de ar, desta forma, a média de 22 Bq/m³ foi considerada como padrão e será descontada de todos as medições realizadas em bancada.

Figura 32 - Resultado da pedreira B, teste de bancada, unidade pré-material

Fonte: Arquivo pessoal

O equipamento posicionado após a amostra, dentro do circuito de medição registrou média aritmética de 7759 Bq/m³ (identificada pela linha horizontal vermelha da Figura 33), valor máximo de 9560 Bq/m³ e desvio padrão de 756 Bq/m³.

A média superou o valor de referência em aproximadamente 52,5 vezes.

Figura 33 - Resultado da pedreira A, teste de bancada, unidade pós-material

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2 Pedreira B

4.1.2.1 Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira B

Os dados para o ambiente de trabalho analisado na pedreira B, registrados pela unidade ativa, localizada abaixo do britador primário (do tipo mandíbula) resultaram em um pico de 208 Bq/m³, média aritmética de 26 Bq/m³ e desvio padrão de 42 Bq/m³.

Durante o tempo de medição de uma hora, os valores ultrapassaram o nível de ação de referência de 148 Bq/m^3 por duas vezes.

O gráfico com os dados de saída do RadonMapper está apresentado na Figura 34, seguindo o mesmo padrão de representação utilizado anteriormente para as linhas vermelha (média aritmética) e azul (valor de referência).

Figura 34 - Resultado da pedreira B, posto de trabalho, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

Os resultados da avaliação do ambiente de trabalho analisado na pedreira B, agora registrados pela unidade passiva, localizada abaixo do britador primário (do tipo mandíbula) contabilizaram um pico de 84 Bq/m^3 , média aritmética de 9 Bq/m^3 e desvio padrão de 24 Bq/m^3 .

Durante o tempo de medição de uma hora, o nível de ação de não foi ultrapassado em nenhum momento.

O gráfico com os dados de saída do RadonMapper da referida medição está apresentado na Figura 35.

Figura 35 - Resultado da pedreira B, posto de trabalho, unidade passiva

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2.2 Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira B

Durante a medição na pilha de pó de brita da pedreira B, o equipamento ativo registrou uma média aritmética de 2151 Bq/m³, um valor de pico de 3281 Bq/m³ e desvio padrão de 374 Bq/m³.

Os valores registrados ultrapassaram o valor de referência em todo o tempo de medição.

O gráfico com os dados, seguindo o padrão anterior está apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Resultado da pedreira B, pilha de pó de brita, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2.3 Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira B

Os dados registrados pelo equipamento posicionado posterior ao material, contabilizando a concentração de radônio emanado pela amostra mais a concentração de radônio no ar estão apresentados na Figura 37. O equipamento registrou um pico máximo de 1031 Bq/m³, média aritmética de 642 Bq/m³ e desvio padrão de 151 Bq/m³.

O valor de referência foi ultrapassado durante toda a medição e na média esteve aproximadamente 4,3 vezes maior.

Figura 37 - Resultado da pedreira B, teste de bancada, unidade pós-material

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.3 Pedreira C

4.1.3.1 Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira C

Os resultados registrados pelo equipamento configurado no modo ativo, posicionado no posto de trabalho da pedreira C (abaixo do britador secundário

do tipo cônico) estão apresentados na Figura 38. Foi registrado um valor de pico de 178 Bq/m^3 , média aritmética de 19 Bq/m^3 e desvio padrão de 38 Bq/m^3 .

O valor de referência foi ultrapassado apenas uma vez durante a medição, quando o valor de pico foi registrado.

Figura 38 - Resultado da pedra C, posto de trabalho, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

A unidade passiva, registrou no mesmo posto de trabalho, valor de pico de 231 Bq/m^3 , média aritmética de 19 Bq/m^3 e desvio padrão de 60 Bq/m^3 . O gráfico com os dados compilados estão apresentados na Figura 39.

Assim como na unidade ativa, neste local, o valor de referência também foi ultrapassado uma única vez, ao ser registrado o valor de pico.

Figura 39 - Resultado da pedreira C, posto de trabalho, unidade passiva

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.3.2 Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira C

A medição na pilha de pós de brita da pedreira C registrou um valor de pico de 7943 Bq/m³, média aritmética de 6183 Bq/m³ e desvio padrão de 667 Bq/m³. A compilação dos dados está apresentada no formato gráfico na Figura 40.

Os dados estiveram em sua totalidade acima do valor de referência estabelecido, com sua média aproximadamente 41,7 vezes maior.

Figura 40 - Resultado da pedreira C, pilha de pó de brita, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.3.3 Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira C

Os resultados apontados pelo equipamento, contabilizando a concentração de radônio total emanado pela amostra mais a concentração de radônio no ar estão apresentados na Figura 41. O equipamento registrou um pico máximo de 996 Bq/m³, média aritmética de 565 Bq/m³ e desvio padrão de 160 Bq/m³.

O valor de referência foi ultrapassado durante toda a medição e na média esteve aproximadamente 3,8 vezes maior.

Figura 41 - Resultado da pedreira C, teste de bancada, unidade pós-material

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.4 Pedreira D

4.1.4.1 Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira D

A unidade ativa, localizada abaixo do britador primário (do tipo mandíbula), registrou um valor de pico de 178 Bq/m³, média aritmética de 47 Bq/m³ e desvio padrão de 52 Bq/m³.

Durante o tempo de medição de uma hora, os valores ultrapassaram o nível de ação de referência de 148 Bq/m³ por seis vezes.

O gráfico com os dados de saída do RadonMapper, com a média e o valor de referência representados pelas linhas horizontais vermelha e azul, respectivamente, está apresentado na Figura 42.

Figura 42 - Resultado da pedra D, posto de trabalho, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.4.2 Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira D

O equipamento registrou, nesta sua medição, uma média aritmética de 19245 Bq/m³, um valor de pico de 21767 Bq/m³ e desvio padrão de 1078 Bq/m³.

Os valores registrados foram, na média, aproximadamente 130 vezes maiores que o valor de referência adotado.

A Figura 43 apresenta o gráfico com os dados.

Figura 43 - Resultado da pedreira D, pilha de pó de brita, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.4.3 Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira D

A medição de bancada com a amostra da pedreira D resultou nos seguintes dados, valor de pico de 5091 Bq/m³, média aritmética de 3824 Bq/m³ e desvio padrão de 446 Bq/m³, o equipamento registrou a atividade referente ao radônio presente na amostra mais o radônio presente no ar do ambiente.

Os resultados desta medição estão apresentados em formato de gráfico na Figura 44. Os dados ficaram em média 25,8 vezes maiores do que o valor de referência adotado.

Figura 44 - Resultado da pedreira D, teste de bancada, unidade pós-material

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.5 Pedreira E

4.1.5.1 Concentração de radônio no ambiente de trabalho – Pedreira E

Durante as medições na pedreira E, apenas o equipamento passivo estava disponível para utilização no posto de trabalho e este registrou média aritmética de 28 Bq/m^3 , um valor de pico de 193 Bq/m^3 e desvio padrão de 44 Bq/m^3 . Estes dados foram registrados próximos ao britador primário, que era do tipo mandíbula, lateralmente ao mesmo.

O valor de referência foi ultrapassado em 3 momentos durante as medições.

Os resultados estão apresentados na Figura 45 em formato gráfico seguindo o padrão adotado.

Figura 45 - Resultado da pedra E, posto de trabalho, unidade passiva

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.5.2 Exalação em pilha de pó de brita - Pedreira E

Durante a medição na pilha de pó de brita da pedreira E, o equipamento ativo registrou uma média aritmética de 5252 Bq/m³, um valor de pico de 6153 Bq/m³ e desvio padrão de 405 Bq/m³.

Os valores registrados ultrapassaram o valor de referência e a média ficou aproximadamente 35,5 vezes acima.

O gráfico com os dados, seguindo o padrão anterior está apresentado na Figura 46.

Figura 46 - Resultado da pedreira E, pilha de pó de brita, unidade ativa

Fonte: Arquivo pessoal

4.1.5.3 Exalação do pó de brita em bancada – Pedreira E

Os dados registrados pelo equipamento durante a medição da amostra da pedreira E, em bancada foram: valor de pico de 2019 Bq/m³, média aritmética de 1405 Bq/m³ e desvio padrão de 264 Bq/m³, os dados avaliados continham o radônio da amostra e também o radônio presente no ar do laboratório.

A média dos resultados ficou aproximadamente 9,5 vezes maior do que o valor de referência conforme registrado no gráfico da Figura 47.

Figura 47 - Resultado da pedreira E, teste de bancada, unidade pós-material

Fonte: Arquivo pessoal

4.2 COMPILAÇÃO DOS DADOS – ANÁLISE DESCRITIVA

O Apêndice B apresenta os resultados do *software* de análise relacionado à estatística descritiva.

A Tabela 9 apresenta, de forma agrupada, as médias dos resultados das avaliações realizadas. Os dados de exalação de radônio em bancada foram subtraídos do radônio presente no ar do laboratório (22 Bq/m^3 em média). Para as avaliações de posto de trabalho nas pedreiras D e E, onde estavam

indisponíveis os equipamentos ativo e passivo, respectivamente, os dados foram duplicados para que fosse possível, posteriormente, realizar a análise de correlação (exemplo: na pedreira D em que a medição foi realizada apenas com o medidor passivo, o dado medido foi duplicado para a coluna do medidor ativo).

Tabela 9 - Compilação das médias das análises

Pedreira	Posto de trab. ativo	Posto de trab. passivo	Exalação bancada	Exalação pilha
A	47 Bq/m ³	38 Bq/m ³	7737 Bq/m ³	29450 Bq/m ³
B	26 Bq/m ³	9 Bq/m ³	620 Bq/m ³	2151 Bq/m ³
C	19 Bq/m ³	19 Bq/m ³	543 Bq/m ³	6183 Bq/m ³
D	47 Bq/m ³	47 Bq/m ³	3802 Bq/m ³	19245 Bq/m ³
E	28 Bq/m ³	28 Bq/m ³	1383 Bq/m ³	5252 Bq/m ³

Fonte: Arquivo pessoal

A representação gráfica apresentada na Figura 48 foi obtida tomando o logaritmo dos dados em base 10, este procedimento foi realizado apenas para ajudar na visualização da tendência dos dados para cada pedreira, já que a amplitude de escala das mediadas é demasiadamente grande.

Observando as linhas de tendências apresentadas em cada pedreira, há um indicativo de que a metodologia realizada foi condizente em cada local aplicado, já que o crescimento dos dados seguiu a mesma sequência em todas as medições, ou seja, o valor menor sempre foi encontrado no local de trabalho, seguido pela medição de exalação em bancada e o maior sempre foi o dado de exalação em pilha.

A comparação dos dados registrados entre os medidores passivos e ativos nas pedreiras A e B apresentaram valores próximos, a pedreira C, porém, apresentou uma variação maior, este fato pode ter ocorrido devido a algum fator natural que possa ter ocorrido no local, por exemplo, velocidade do ar, direção do vento ou a forma de dispersão da poeira mineral.

Nas pedreiras D e E, esta comparação não pode ser realizada devido a indisponibilidade de utilização dos equipamentos.

Em relação à comparação par a par dos dados, por exemplo, posto de trabalho ativo, versus bancada, de forma gráfica e descritiva, não é possível visualizar um comportamento definido, já que algumas linhas do gráfico se cruzaram (por exemplo, comparando a pedra B com a pedra C, observa-se que a concentração de radônio é maior em bancada na pedra B, porém é maior na pilha de pó de brita na pedra C). O teste de correlação estatística indicará com maior precisão este fenômeno.

De forma geral, o comportamento esperado foi observado na maioria dos dados avaliados, já que o principal fator que irá influenciar nas concentrações de radônio nos procedimentos realizados é a quantidade de gás radônio intrínseco em cada material, representado de forma mais direta pelo teste em pilha.

Figura 48 - Média das medições, representação gráfica

Fonte: Arquivo pessoal

Para a análise de dispersão dos dados, as Tabela 10 e Tabela 11 apresentam os desvios-padrões e coeficientes de variação aproximados das medidas, em Bq/m³ e porcentagem, respectivamente.

O coeficiente de variação foi calculado em formato de porcentagem.

$$C.V. = 100\rho/\mu \quad (15)$$

Onde:

- C.V. é o coeficiente de variação;
- ρ é o desvio padrão;
- μ é a média aritmética dos dados.

Tabela 10 - Compilação dos desvios-padrões das análises

Pedreira	Posto de trab. ativo	Posto de trab. passivo	Exalação bancada	Exalação pilha
A	49 Bq/m ³	41 Bq/m ³	756 Bq/m ³	1367 Bq/m ³
B	42 Bq/m ³	24 Bq/m ³	151 Bq/m ³	374 Bq/m ³
C	38 Bq/m ³	60 Bq/m ³	160 Bq/m ³	667 Bq/m ³
D	52 Bq/m ³	52 Bq/m ³	446 Bq/m ³	1078 Bq/m ³
E	44 Bq/m ³	44 Bq/m ³	264 Bq/m ³	405 Bq/m ³

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 11 - Compilação dos coeficientes de variação das análises

Pedreira	Posto de trab. ativo	Posto de trab. passivo	Exalação bancada	Exalação pilha
A	104 %	108 %	9,8 %	4,6 %
B	162 %	267 %	24 %	17 %
C	200 %	316 %	29 %	11 %
D	111 %	111 %	12 %	5,6 %
E	157 %	157 %	19 %	7,7 %

Fonte Arquivo pessoal

Através destes dados, é possível observar que as medições com valores mais baixos possuem coeficientes de variação maiores, indicando que nestas

condições, os valores sofreram variações relativas maiores, fato que pode ser confirmado observando-se os gráficos das medições.

Nos postos de trabalhos, devido a fatores operacionais e naturais (alimentação dos britadores, paradas na linha de produção, velocidade e direção do vento, variações na pressão atmosférica, dispersão de poeira mineral), a amplitude relativa da concentração de radônio é maior do que nos testes de bancada e nos testes em pilha, nestes casos, os fatores externos são controlados de maneira mais eficaz.

Este fato pode indicar duas possibilidades, a primeira é a de que o RadonMapper pode não ser o equipamento mais indicado para avaliar de forma direta o ambiente de trabalho, talvez, os medidores passivos sejam mais eficazes como por exemplo, os medidores do tipo *nuclear track detector*. A segunda possibilidade é a de que as avaliações nos postos de trabalho devem ser feitas durante um tempo maior, talvez durante dias ou semanas para verificar se o coeficiente de variação diminui.

Nos testes em que as condições de contorno estão controladas de maneira mais eficiente, caso do teste de bancada e do teste em pilha, o equipamento apresentou uma variação menor.

Outro fator observado durante a análise descritiva dos dados (última tabela do apêndice B) foi a aderência dos mesmos ao modelo normal de distribuição. Os resultados desta avaliação possuem ligação com coeficiente de variação, os procedimentos que possuem C.V. baixo tendem a ter maior aderência ao modelo normal, casos dos testes de pilha, com exceção da pedreira B e dos testes de bancada, com exceção das pedreiras B e C. Já os testes realizados nos locais de trabalho não podem ser aproximados ao modelo normal de distribuição segundo o teste de normalidade realizado.

A Figura 49 apresenta o comparativo entre os histogramas dos dados.

Figura 49 - Comparativo entre os histogramas das análises

Fonte: Arquivo pessoal

Pode-se observar que quanto maior a concentração intrínseca de radônio no material avaliado, mais ampla é a distribuição do histograma, este fato pode contribuir para melhorar a precisão do método, já que as diferenças estatísticas dos resultados poderão ser observadas de forma mais acentuada, quanto maior for a concentração do gás.

4.3 COMPILAÇÃO DOS DADOS – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

O apêndice C apresenta os resultados da aplicação dos testes ANOVA *oneway* e de *Games-Howell*.

Para analisar estes testes, de forma resumida, a representação do coeficiente final está na coluna Sig. (significância) das tabelas apresentadas no apêndice C. Para confirmar a hipótese de que os valores são estatisticamente iguais, buscase um valor de significância maior do que 0.05, e quanto mais próximo de 1, maior é a inferência sobre a hipótese, ou seja, há maior certeza estatística na afirmação. Para valores entre 0.05 e 0.7, não é possível afirmar a hipótese, e também, não é possível descartá-la.

O resultado do teste ANOVA compara todos os dados, e o resultado foi de que há diferença estatística entre as amostragens realizadas, conforme o coeficiente obtido, menor do que 0,05 destacado em verde no referido apêndice.

Desta forma o que foi observado na figura 48 foi confirmado. A metodologia apresentou resultados satisfatórios em relação ao que se espera do valor de exalação de radônio, ou seja, quanto maior o grau de liberação do gás, maior serão os valores de concentração obtidos. Para os casos dos testes de bancada e de pilha, em que a granulometria é similar e os resultados dos testes em pilha são visivelmente superiores, têm-se o fato de que no teste de bancada, o ar é renovado constantemente, já no teste em pilha, o ar é captado diretamente dentro da mesma e não é renovado, por isto, a maior concentração de radônio na amostra.

O resultado do teste *Games-Howell* mostra que não há diferença estatística significativa entre as avaliações do tipo ativa e passiva. Nos casos em que esta comparação pôde ser realizada (Pedreiras A, B e C) os coeficientes ficaram acima de 0,8, (destacados em verde no referido apêndice) portanto, não há demérito considerável em se tratar os dados ativos e passivos de forma conjunta, conforme foi utilizado nas pedreiras D e E, devido a indisponibilidade dos equipamentos durante as medições.

A Tabela 12 apresenta os resultados da análise de correlação utilizando os coeficientes de *Pearson* e de *Spearman*.

Apenas a comparação entre pilha e posto de trabalho, utilizando o coeficiente de *Spearman* apresentou correlação moderada (entre 0,5 e 0,7). Todos os demais resultados apresentaram correlação forte (entre 0,7 e 0,8) ou muito forte (entre 0,9 e 1).

A correlação linear, representada pelo coeficiente de *Pearson* foi mais evidente nos comparativos entre os resultados do posto de trabalho ativo e de pilha e também no comparativo entre amostragem de Bancada e amostragem de Pilha, logo, há um indicativo de que a correlação entre estes dados seja próxima de uma correlação linear.

A correlação entre os demais dados foi expressa de forma mais evidente pelo coeficiente de *Spearman*, indicando que o modelo mais aplicável poderá apresentar uma correlação não linear.

Como resultado desta análise pode-se observar que a quantidade intrínseca de gás radônio contida no material lavrado irá influenciar diretamente a exposição dos trabalhadores nos postos de trabalho. Este fato fica evidenciado através dos resultados de correlação apresentados.

Tabela 12 – Análise de correlação de *Pearson* e *Spearman*

		Posto de trabalho ativo	Posto de trabalho passivo	Bancada	Pilha
<i>Pearson</i>	Posto de trabalho ativo	1	0,860	0,874	0,892
<i>Spearman</i>		1	0,872	0,975	0,667
<i>Pearson</i>	Posto de trabalho passivo	0,860	1	0,710	0,795
<i>Spearman</i>		0,872	1	0,800	0,800
<i>Pearson</i>	Bancada	0,874	0,710	1	0,977
<i>Spearman</i>		0,975	0,800	1	0,700
<i>Pearson</i>	Pilha	0,892	0,795	0,977	1
<i>Spearman</i>		0,667	0,800	0,700	1

Fonte: Arquivo pessoal

4.4 COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE REFERÊNCIA

A princípio, em relação ao questionamento a respeito da possibilidade de risco de exposição ao gás radônio, todos os profissionais que acompanharam as medições responderam que não tinham conhecimento a respeito. Nenhum tipo de avaliação prévia havia sido realizada em nenhuma das pedreiras visitadas. Apenas os testes de radiação total intrínseco ao material lavrado haviam sido realizadas para fins de qualidade e aceitabilidade do produto final destinado aos consumidores.

Ou seja, nos ambientes avaliados, havia um desconhecimento total em relação ao risco deste agente especificamente. Este fato pode estar relacionado a falta de legislação nacional que regula as exposições de trabalhadores ao gás radônio.

Em relação aos valores médios observados de concentração de radônio nos ambientes de trabalho, levando em consideração que foram identificados locais onde haveria maior probabilidade de exposição à poeira mineral, todos ficaram abaixo do valor de referência adotado de 148 Bq/m^3 . Mesmo utilizando como referência o nível de ação alemão, que é mais restritivo, de 100 Bq/m^3 , as médias não iriam ultrapassar este valor.

Este fato é um indicativo de que, em ambientes de trabalho ao ar livre, o radônio pode ser considerado um risco baixo à saúde dos colaboradores. A média da exposição ao gás radônio, mesmo nos casos em que é contínua a exposição a poeira mineral, não ultrapassou os valores considerados seguros pelas normas internacionais durante as medições.

Em praticamente todas as medições realizadas em ambientes de trabalho, houveram momentos pontuais em que o valor de referência foi superado. Logo, em ambientes fechados onde há manipulação de matéria prima mineral com alta concentração intrínseca de gás radônio, o risco pode ser considerado significativo e não deve ser negligenciado.

Em relação ao comparativo com os limites propostos pela legislação brasileira CNEN-NN-3.01, a Tabela 13 apresenta o cálculo da projeção de dose efetiva obtida utilizando a equação 11. Foram utilizados apenas os dados das médias coletadas nos postos de trabalho, tendo como premissa que o posto de trabalho é fixo, ou seja, o colaborador passa 100 % de seu tempo laboral no local e considerando o ambiente de trabalho externo.

Tabela 13 - Cálculo de dose efetiva anual à partir da exposição média ao radônio

Pedreira	Posto de trab. ativo	Posto de trab. passivo
A	0,6768 mSv/a	0,5472 mSv/a
B	0,3744 mSv/a	0,1296 mSv/a
C	0,2736 mSv/a	0,2736 mSv/a
D	0,6768 mSv/a	0,6768 mSv/a
E	0,4032 mSv/a	0,4032 mSv/a

Fonte: Arquivo pessoal

Os resultados de dose efetiva anual corroboram com o que havia sido observado em relação às médias de concentração de radônio comparadas com o valor de referência, estes estão abaixo do limite mais restritivo brasileiro, relacionado à exposição ocupacional que é de 20 mSv/a. Os valores encontrados estão inclusive inferiores ao limite recomendado para o público em geral que é de 1 mSv/a, confirmando que, nos casos avaliados, o risco pode ser considerado baixo (levando em consideração que estes ambientes, especificamente, são à céu aberto).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A METODOLOGIA

Através dos resultados observados em campo pôde-se observar que a metodologia aplicada apresenta correlação entre os dados, ou seja, uma avaliação de bancada ou em pilha pode ser utilizada para estimar o risco de exposição ao gás radônio em um ambiente de trabalho.

Este fato contribui para que, numa possível avaliação em relação ao risco de exposição ao gás radônio, os testes com condições de contorno mais bem definidas (de bancada ou pilha) possam ser utilizados para definir, de forma preliminar, se haverá necessidade de monitoramento do ambiente de trabalho de forma contínua, a fim de garantir a segurança dos colaboradores frente a este agente.

A metodologia utilizando o equipamento RadonMapper se mostrou prática e relativamente rápida. Sem a necessidade de análises mais complexas realizadas por laboratórios terceiros, foi possível avaliar o ambiente de trabalho quanto ao risco de exposição ao gás radônio. O tempo total de análise de um local de trabalho ficou em torno de 6 horas (entre preparação dos equipamentos, coleta de dados e posterior análise).

Os únicos custos envolvidos na metodologia estão relacionados à aquisição do equipamento RadonMapper (com apenas um único equipamento é possível replicar todo o método, porém, desta forma, o tempo total de análise será maior) e dos filtros de sólidos utilizados, que podem saturar dependendo da quantidade de poeira mineral captada durante as amostragens.

5 CONCLUSÃO

Conforme apresentação dos resultados, os objetivos indicados para esta dissertação foram atingidos. A metodologia proposta pôde ser avaliada e as exposições medidas foram comparadas com os valores de referência para verificação do potencial risco de exposição ao gás radônio.

Desta forma, este trabalho contribui para que políticas públicas a respeito da avaliação e controle do risco de exposição ao gás radônio possam ser aplicadas já que é apresentada uma metodologia de avaliação para tal.

A indicação de que há exposição de trabalhadores a este gás sem que os responsáveis pela segurança dos mesmos tenha conhecimento aponta para o fato de que é necessário o desenvolvimento de uma legislação específica voltada para a avaliação deste agente pois, apesar da existência de normas internacionais, ficou evidente que as gerências dos empreendimentos avaliados não tomaram conhecimento e tão pouco, medidas, para considerar este risco especificamente, os trabalhadores utilizavam apenas máscara visando a proteção contra a poeira mineral.

Recomenda-se para próximos estudos que a metodologia seja replicada em outros ambientes, por exemplo, em minerações subterrâneas e de outros minérios, a fim de contribuir para uma criação de um banco de dados e posterior aumento o número de amostras, possibilitando uma melhora nos índices de correlação do método apresentado.

Outro ponto que pode ser levado em consideração para próximos estudos seria o comparativo deste método com outras metodologias de avaliação que possam ser apresentadas, por exemplo, a utilização de detectores passivos mais acessíveis.

REFERÊNCIAS

ABODEE RADON MITIGATION. Disponível em: <<http://www.radonutah.com/utah-radon-testing>> acesso em: 18 de maio de 2017.

BARROS, L. F. **Avaliação da Variação da Radioatividade Natural em Areias da Praia de Camburi**. São Paulo: 2013. 127p.

BERETKA, J., MATTHEW, P. J. **Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Waste Sand By-products**. Health Phys. 48. P. 87-95. 1985.

BRASIL. CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear **Norma CNEN-NN-3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Rio de Janeiro: 2014. 22p. Disponível em <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>> Acesso em: 13 de março de 2017.

CARDOSO, E. M. **Apostila Educativa: Radioatividade**. Rio de Janeiro: CNEN, 2004. 19p.

COSTA, L. J. P. **Estudo da Exalação de Radônio em Placas e Tijolos de Fosfogesso de Diferentes Procedências**. São Paulo: 2011. 65p.

AYRES DA SILVA, A. L. M. **Medidas de Controle de Radônio em Minas Subterrâneas Brasileiras**. São Paulo: 2016. 70p.

EL HAJJ, T. M. **Gás Radônio: O Perigo Invisível**. Revista da Associação Ed Fishers – Volume 1 – Número 4 – São Paulo: Setembro 2016. p. 27-31.

EL HAJJ, T. M.; TERTULIANO, I.; VIEIRA, T.; CHIEREGATIA, A. C.; DELBONI Jr. H. **Estimating Granite Roughness Using Systematic Random Sampling for the Evaluation of Radon Gas Emanation From Ornamental Granite Rocks**. TOS Forum – Edição 5 – Chichester: IMP Publications, 2015. p. 193-198.

EL HAJJ. **Método para Avaliação do Uso de Rochas Ornamentais em Interiores Considerando as Exalações de Radônio e Torônio.** São Paulo: 2017. 443p.

FIANCO, A. C. B. **Concentrações de Radônio nas Águas Subterrâneas, Rochas e Solos de Porto Alegre, RS.** Porto Alegre: 2011. 51p.

Fior, L. **Análise da Concentração de Radônio Proveniente dos Materiais de Construção.** Curitiba: 2008. 131p.

FONSECA, L. M. **Avaliação da Radioatividade Natural em Tintas de Uso Comercial no Brasil.** São Paulo: 2016. 79p.

FRANCISCA, D. D. **Utilização do Radonmapper na Avaliação de Exposição ao Gás Radônio em Ambientes de Mineração.** Trabalho de conclusão – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: 2014. 51p.

GAVIOLI, Y. S. Emi. ssão de Radônio em Rochas Ornamentais. In: XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM. 2009, Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro: ...2009. p. 95-101.

GILMORE, G.; HEMINGWAY, J. **Practical Gamma – Ray Spectrometry.** ISBN: 0471951501. England: John Wiley & Sons Ltd, 1995. 314p.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. & TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados.** Bookman, Porto Alegre. 6. ed. 2009.

HAYNES, W. M. **CRC Handbook of Chemistry and Physics.** USA: 2011.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **Measuring Radionuclides in the Environment.** Argonne National Laboratory, USA. 2010.

ICRP - INTERNATIONAL COMMISSION OF RADIOLOGICAL PROTECTION. Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP 65 **Annals**, Publication 65, Pergamon Press, Oxford and New York. Canada, United States:1993. 23 p.

ISHIMORI, Y.; LANGE, K.; MARTIN, P.; MAYYA, Y.S.; PHANEUF, M. **Measurements and Calculation of Radon Releases From NORM Residues**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2013. 103p.

L'ANNUNZIATA, M. F. **Handbook of Radioactivity Analysis**. Second Edition. ISBN: 978-0-12-436039. Academic Press. 1326p. 2013.

LNHB, Laboratoire National Henri Becquerel. Disponível em <http://www.nuclide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm>. Acessado em 05 de dezembro de 2016.

NRPB. **Living with Radiation**. National Radiological Protection Board, Reino Unido: 1989. 32p.

OKUNO, E. **Radiação: Efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Harbra, 1998. 96p.

RUXTON, G. D.; BEAUCHAMP, G. **Time for Some a Priori Thinking About Post Hoc Testing**. Behavioral Ecology. Volume 19. Edição 3. p. 690-693. 2008.

SANTOS, C. E. L. **Determinação dos Processos de Enriquecimento e das Concentrações de Radônio em Minas Subterrâneas de Fluorita e Carvão do Estado de Santa Catarina: Critérios para Avaliação dos Riscos Radiológicos**. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2008. 137 p.

SOUZA, L. A. **Radiações Alfa, Beta e Gama**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/radiacoes-alfa-beta-gama.htm>>. Acesso em 13 de dezembro de 2016.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; PRINZO, R. Di, PRINZO, M. A. R. R. Di. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2013. 242p, 4v.

UNSCEAR – UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, **Source and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, United Nations**, New York: 2000.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - PEREIRA, J G. **Apostila do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – Disciplina Higiene do Trabalho – Parte B**. São Paulo: PECE, 2016. 400p.

ZEEB, H. **International Radon Project**: Survey on radon guidelines, programmes and activities. Genebra: 2007. 49p.

APÊNDICE A

Planilhas dos dados com os resultados das medições extraídas direto do software do RadonMapper.

Teste ativo pré bancada	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
22.10.2018 19:02:00	31
22.10.2018 19:03:00	0
22.10.2018 19:04:00	0
22.10.2018 19:05:00	0
22.10.2018 19:06:00	0
22.10.2018 19:07:00	0
22.10.2018 19:08:00	0
22.10.2018 19:09:00	93
22.10.2018 19:10:00	31
22.10.2018 19:11:00	0
22.10.2018 19:12:00	0
22.10.2018 19:13:00	0
22.10.2018 19:14:00	156
22.10.2018 19:15:00	0
22.10.2018 19:16:00	0
22.10.2018 19:17:00	0
22.10.2018 19:18:00	31
22.10.2018 19:19:00	31
22.10.2018 19:20:00	0
22.10.2018 19:21:00	31
22.10.2018 19:22:00	0
22.10.2018 19:23:00	0
22.10.2018 19:24:00	0
22.10.2018 19:25:00	62
22.10.2018 19:26:00	0
22.10.2018 19:27:00	31
22.10.2018 19:28:00	62
22.10.2018 19:29:00	0
22.10.2018 19:30:00	31
22.10.2018 19:31:00	93
22.10.2018 19:32:00	0
22.10.2018 19:33:00	0
22.10.2018 19:34:00	0
22.10.2018 19:35:00	62

22.10.2018 19:36:00	31
22.10.2018 19:37:00	0
22.10.2018 19:38:00	93
22.10.2018 19:39:00	93
22.10.2018 19:40:00	93
22.10.2018 19:41:00	125
22.10.2018 19:42:00	0
22.10.2018 19:43:00	93
22.10.2018 19:44:00	31
22.10.2018 19:45:00	0
22.10.2018 19:46:00	93
22.10.2018 19:47:00	0
22.10.2018 19:48:00	0
22.10.2018 19:49:00	31
22.10.2018 19:50:00	0
22.10.2018 19:51:00	62
22.10.2018 19:52:00	0
22.10.2018 19:53:00	0
22.10.2018 19:54:00	0
22.10.2018 19:55:00	62
22.10.2018 19:56:00	0
22.10.2018 19:57:00	93
22.10.2018 19:58:00	0
22.10.2018 19:59:00	31
22.10.2018 20:00:00	62
22.10.2018 20:01:00	93

Pedreira A

Ativo trabalho A		Passivo trabalho A	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]	GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
27.03.2018 11:33:00	1	27.03.2018 11:33:00	31
27.03.2018 11:34:00	60	27.03.2018 11:34:00	1
27.03.2018 11:35:00	90	27.03.2018 11:35:00	90
27.03.2018 11:36:00	60	27.03.2018 11:36:00	60
27.03.2018 11:37:00	60	27.03.2018 11:37:00	31
27.03.2018 11:38:00	90	27.03.2018 11:38:00	1
27.03.2018 11:39:00	1	27.03.2018 11:39:00	1
27.03.2018 11:40:00	1	27.03.2018 11:40:00	60
27.03.2018 11:41:00	31	27.03.2018 11:41:00	0
27.03.2018 11:42:00	90	27.03.2018 11:42:00	31
27.03.2018 11:43:00	60	27.03.2018 11:43:00	119
27.03.2018 11:44:00	60	27.03.2018 11:44:00	1
27.03.2018 11:45:00	0	27.03.2018 11:45:00	90
27.03.2018 11:46:00	31	27.03.2018 11:46:00	31
27.03.2018 11:47:00	60	27.03.2018 11:47:00	31
27.03.2018 11:48:00	1	27.03.2018 11:48:00	178
27.03.2018 11:49:00	90	27.03.2018 11:49:00	60
27.03.2018 11:50:00	207	27.03.2018 11:50:00	31
27.03.2018 11:51:00	31	27.03.2018 11:51:00	119
27.03.2018 11:52:00	119	27.03.2018 11:52:00	31
27.03.2018 11:53:00	0	27.03.2018 11:53:00	31
27.03.2018 11:54:00	237	27.03.2018 11:54:00	60
27.03.2018 11:55:00	60	27.03.2018 11:55:00	31
27.03.2018 11:56:00	119	27.03.2018 11:56:00	90
27.03.2018 11:57:00	149	27.03.2018 11:57:00	90
27.03.2018 11:58:00	31	27.03.2018 11:58:00	1
27.03.2018 11:59:00	31	27.03.2018 11:59:00	31
27.03.2018 12:00:00	119	27.03.2018 12:00:00	31
27.03.2018 12:01:00	119	27.03.2018 12:01:00	60
27.03.2018 12:02:00	1	27.03.2018 12:02:00	0
27.03.2018 12:03:00	1	27.03.2018 12:03:00	1
27.03.2018 12:04:00	31	27.03.2018 12:04:00	31
27.03.2018 12:05:00	31	27.03.2018 12:05:00	31
27.03.2018 12:06:00	31	27.03.2018 12:06:00	1
27.03.2018 12:07:00	31	27.03.2018 12:07:00	90
27.03.2018 12:08:00	31	27.03.2018 12:08:00	60
27.03.2018 12:09:00	1	27.03.2018 12:09:00	119
27.03.2018 12:10:00	60	27.03.2018 12:10:00	1
27.03.2018 12:11:00	60	27.03.2018 12:11:00	1

27.03.2018 12:12:00	90
27.03.2018 12:13:00	31
27.03.2018 12:14:00	31
27.03.2018 12:15:00	0
27.03.2018 12:16:00	60
27.03.2018 12:17:00	31
27.03.2018 12:18:00	31
27.03.2018 12:19:00	31
27.03.2018 12:20:00	31
27.03.2018 12:21:00	1
27.03.2018 12:22:00	31
27.03.2018 12:23:00	1
27.03.2018 12:24:00	60
27.03.2018 12:25:00	60
27.03.2018 12:26:00	60
27.03.2018 12:27:00	90
27.03.2018 12:28:00	0
27.03.2018 12:29:00	0
27.03.2018 12:30:00	0
27.03.2018 12:31:00	31
27.03.2018 12:32:00	1
27.03.2018 12:33:00	60

27.03.2018 12:12:00	90
27.03.2018 12:13:00	1
27.03.2018 12:14:00	119
27.03.2018 12:15:00	119
27.03.2018 12:16:00	1
27.03.2018 12:17:00	31
27.03.2018 12:18:00	31
27.03.2018 12:19:00	1
27.03.2018 12:20:00	31
27.03.2018 12:21:00	1
27.03.2018 12:22:00	31
27.03.2018 12:23:00	60

Ativo bancada A	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
08.11.2018 14:26:00	5000
08.11.2018 14:27:00	9375
08.11.2018 14:28:00	8031
08.11.2018 14:29:00	8125
08.11.2018 14:30:00	7437
08.11.2018 14:31:00	8906
08.11.2018 14:32:00	6750
08.11.2018 14:33:00	7843
08.11.2018 14:34:00	6812
08.11.2018 14:35:00	7000
08.11.2018 14:36:00	8343
08.11.2018 14:37:00	7468
08.11.2018 14:38:00	8031
08.11.2018 14:39:00	8031
08.11.2018 14:40:00	8062
08.11.2018 14:41:00	7031
08.11.2018 14:42:00	7281

Ativo pilha A	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
26.04.2018 12:16:00	30413
26.04.2018 12:17:00	28972
26.04.2018 12:18:00	29149
26.04.2018 12:19:00	29207
26.04.2018 12:20:00	33296
26.04.2018 12:21:00	27707
26.04.2018 12:22:00	28737
26.04.2018 12:23:00	28001
26.04.2018 12:24:00	28472
26.04.2018 12:25:00	27531
26.04.2018 12:26:00	27531
26.04.2018 12:27:00	27560
26.04.2018 12:28:00	28354
26.04.2018 12:29:00	29472
26.04.2018 12:30:00	28384
26.04.2018 12:31:00	28207
26.04.2018 12:32:00	28796

08.11.2018 14:43:00	7906	26.04.2018 12:33:00	30737
08.11.2018 14:44:00	7562	26.04.2018 12:34:00	28619
08.11.2018 14:45:00	8031	26.04.2018 12:35:00	31354
08.11.2018 14:46:00	7750	26.04.2018 12:36:00	28678
08.11.2018 14:47:00	8000	26.04.2018 12:37:00	27854
08.11.2018 14:48:00	7250	26.04.2018 12:38:00	28413
08.11.2018 14:49:00	8218	26.04.2018 12:39:00	30031
08.11.2018 14:50:00	7875	26.04.2018 12:40:00	29354
08.11.2018 14:51:00	9218	26.04.2018 12:41:00	28766
08.11.2018 14:52:00	8406	26.04.2018 12:42:00	30325
08.11.2018 14:53:00	6937	26.04.2018 12:43:00	30149
08.11.2018 14:54:00	7406	26.04.2018 12:44:00	29501
08.11.2018 14:55:00	8531	26.04.2018 12:45:00	28531
08.11.2018 14:56:00	8000	26.04.2018 12:46:00	29149
08.11.2018 14:57:00	8000	26.04.2018 12:47:00	30266
08.11.2018 14:58:00	7656	26.04.2018 12:48:00	30060
08.11.2018 14:59:00	7437	26.04.2018 12:49:00	29913
08.11.2018 15:00:00	7406	26.04.2018 12:50:00	30001
08.11.2018 15:01:00	7812	26.04.2018 12:51:00	31207
08.11.2018 15:02:00	8625	26.04.2018 12:52:00	29031
08.11.2018 15:03:00	8187	26.04.2018 12:53:00	31001
08.11.2018 15:04:00	7375	26.04.2018 12:54:00	29649
08.11.2018 15:05:00	7343	26.04.2018 12:55:00	29796
08.11.2018 15:06:00	8750	26.04.2018 12:56:00	30178
08.11.2018 15:07:00	7250	26.04.2018 12:57:00	31060
08.11.2018 15:08:00	8062	26.04.2018 12:58:00	30825
08.11.2018 15:09:00	7500	26.04.2018 12:59:00	28825
08.11.2018 15:10:00	7718	26.04.2018 13:00:00	30590
08.11.2018 15:11:00	8531	26.04.2018 13:01:00	26943
08.11.2018 15:12:00	9562	26.04.2018 13:02:00	29237
08.11.2018 15:13:00	7656	26.04.2018 13:03:00	26590
08.11.2018 15:14:00	6718	26.04.2018 13:04:00	30090
08.11.2018 15:15:00	7718	26.04.2018 13:05:00	28178
08.11.2018 15:16:00	6312	26.04.2018 13:06:00	28972
08.11.2018 15:17:00	6843	26.04.2018 13:07:00	29178
08.11.2018 15:18:00	7062	26.04.2018 13:08:00	30060
08.11.2018 15:19:00	7343	26.04.2018 13:09:00	27707
08.11.2018 15:20:00	7937	26.04.2018 13:10:00	31031
08.11.2018 15:21:00	8406	26.04.2018 13:11:00	31090
08.11.2018 15:22:00	8406	26.04.2018 13:12:00	29796
08.11.2018 15:23:00	6718	26.04.2018 13:13:00	31766
08.11.2018 15:24:00	8593	26.04.2018 13:14:00	29266
08.11.2018 15:25:00	8156	26.04.2018 13:15:00	30590

Pedreira B

Ativo trabalho B		Passivo trabalho B	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]	GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
02.10.2018 12:06:00	31	02.10.2018 12:06:00	1
02.10.2018 12:07:00	119	02.10.2018 12:07:00	31
02.10.2018 12:08:00	31	02.10.2018 12:08:00	31
02.10.2018 12:09:00	1	02.10.2018 12:09:00	31
02.10.2018 12:10:00	1	02.10.2018 12:10:00	0
02.10.2018 12:11:00	0	02.10.2018 12:11:00	1
02.10.2018 12:12:00	90	02.10.2018 12:12:00	0
02.10.2018 12:13:00	60	02.10.2018 12:13:00	31
02.10.2018 12:14:00	0	02.10.2018 12:14:00	1
02.10.2018 12:15:00	90	02.10.2018 12:15:00	60
02.10.2018 12:16:00	1	02.10.2018 12:16:00	1
02.10.2018 12:17:00	31	02.10.2018 12:17:00	1
02.10.2018 12:18:00	1	02.10.2018 12:18:00	60
02.10.2018 12:19:00	1	02.10.2018 12:19:00	0
02.10.2018 12:20:00	31	02.10.2018 12:20:00	60
02.10.2018 12:21:00	60	02.10.2018 12:21:00	1
02.10.2018 12:22:00	90	02.10.2018 12:22:00	0
02.10.2018 12:23:00	1	02.10.2018 12:23:00	1
02.10.2018 12:24:00	0	02.10.2018 12:24:00	0
02.10.2018 12:25:00	31	02.10.2018 12:25:00	31
02.10.2018 12:26:00	31	02.10.2018 12:26:00	60
02.10.2018 12:27:00	1	02.10.2018 12:27:00	31
02.10.2018 12:28:00	60	02.10.2018 12:28:00	31
02.10.2018 12:29:00	1	02.10.2018 12:29:00	60
02.10.2018 12:30:00	90	02.10.2018 12:30:00	1
02.10.2018 12:31:00	149	02.10.2018 12:31:00	90
02.10.2018 12:32:00	31	02.10.2018 12:32:00	1
02.10.2018 12:33:00	31	02.10.2018 12:33:00	0
02.10.2018 12:34:00	1	02.10.2018 12:34:00	1
02.10.2018 12:35:00	31	02.10.2018 12:35:00	0
02.10.2018 12:36:00	31	02.10.2018 12:36:00	60
02.10.2018 12:37:00	1	02.10.2018 12:37:00	90
02.10.2018 12:38:00	60	02.10.2018 12:38:00	1
02.10.2018 12:39:00	31	02.10.2018 12:39:00	31
02.10.2018 12:40:00	60	02.10.2018 12:40:00	1
02.10.2018 12:41:00	0	02.10.2018 12:41:00	1
02.10.2018 12:42:00	0	02.10.2018 12:42:00	1
02.10.2018 12:43:00	1	02.10.2018 12:43:00	0
02.10.2018 12:44:00	0	02.10.2018 12:44:00	60

02.10.2018 12:45:00	31	02.10.2018 12:45:00	0
02.10.2018 12:46:00	0	02.10.2018 12:46:00	1
02.10.2018 12:47:00	31	02.10.2018 12:47:00	31
02.10.2018 12:48:00	1	02.10.2018 12:48:00	1
02.10.2018 12:49:00	31	02.10.2018 12:49:00	60
02.10.2018 12:50:00	1	02.10.2018 12:50:00	31
02.10.2018 12:51:00	1	02.10.2018 12:51:00	1
02.10.2018 12:52:00	0	02.10.2018 12:52:00	1
02.10.2018 12:53:00	90	02.10.2018 12:53:00	1
02.10.2018 12:54:00	90	02.10.2018 12:54:00	1
02.10.2018 12:55:00	31	02.10.2018 12:55:00	31
02.10.2018 12:56:00	31	02.10.2018 12:56:00	31
02.10.2018 12:57:00	1	02.10.2018 12:57:00	31
02.10.2018 12:58:00	60	02.10.2018 12:58:00	1
02.10.2018 12:59:00	31	02.10.2018 12:59:00	1
02.10.2018 13:00:00	0	02.10.2018 13:00:00	1
02.10.2018 13:01:00	0	02.10.2018 13:01:00	1
02.10.2018 13:02:00	0	02.10.2018 13:02:00	31
02.10.2018 13:03:00	207	02.10.2018 13:03:00	1
02.10.2018 13:04:00	0	02.10.2018 13:04:00	31
02.10.2018 13:05:00	1	02.10.2018 13:05:00	1

Ativo bancada B		Ativo pilha B	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]	GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
22.10.2018 19:02:00	796	06.11.2018 10:36:36	3281
22.10.2018 19:03:00	560	06.11.2018 10:37:00	1619
22.10.2018 19:04:00	501	06.11.2018 10:38:00	2678
22.10.2018 19:05:00	707	06.11.2018 10:39:00	1854
22.10.2018 19:06:00	531	06.11.2018 10:40:00	1796
22.10.2018 19:07:00	854	06.11.2018 10:41:00	1972
22.10.2018 19:08:00	531	06.11.2018 10:42:00	2649
22.10.2018 19:09:00	472	06.11.2018 10:43:00	1943
22.10.2018 19:10:00	884	06.11.2018 10:44:00	2031
22.10.2018 19:11:00	443	06.11.2018 10:45:00	2237
22.10.2018 19:12:00	501	06.11.2018 10:46:00	2325
22.10.2018 19:13:00	796	06.11.2018 10:47:00	2296
22.10.2018 19:14:00	707	06.11.2018 10:48:00	2001
22.10.2018 19:15:00	737	06.11.2018 10:49:00	2590
22.10.2018 19:16:00	560	06.11.2018 10:50:00	1854
22.10.2018 19:17:00	766	06.11.2018 10:51:00	2149
22.10.2018 19:18:00	678	06.11.2018 10:52:00	2207
22.10.2018 19:19:00	531	06.11.2018 10:53:00	2766

22.10.2018 19:20:00	531	06.11.2018 10:54:00	2325
22.10.2018 19:21:00	590	06.11.2018 10:55:00	2149
22.10.2018 19:22:00	649	06.11.2018 10:56:00	2913
22.10.2018 19:23:00	531	06.11.2018 10:57:00	1354
22.10.2018 19:24:00	678	06.11.2018 10:58:00	2266
22.10.2018 19:25:00	678	06.11.2018 10:59:00	1854
22.10.2018 19:26:00	560	06.11.2018 11:00:00	2207
22.10.2018 19:27:00	678	06.11.2018 11:01:00	2031
22.10.2018 19:28:00	413	06.11.2018 11:02:00	2149
22.10.2018 19:29:00	619	06.11.2018 11:03:00	2060
22.10.2018 19:30:00	737	06.11.2018 11:04:00	2090
22.10.2018 19:31:00	678	06.11.2018 11:05:00	1884
22.10.2018 19:32:00	825	06.11.2018 11:06:00	1825
22.10.2018 19:33:00	590	06.11.2018 11:07:00	2207
22.10.2018 19:34:00	707	06.11.2018 11:08:00	2149
22.10.2018 19:35:00	1001	06.11.2018 11:09:00	2119
22.10.2018 19:36:00	649	06.11.2018 11:10:00	2531
22.10.2018 19:37:00	472	06.11.2018 11:11:00	1649
22.10.2018 19:38:00	649	06.11.2018 11:12:00	1531
22.10.2018 19:39:00	472	06.11.2018 11:13:00	2090
22.10.2018 19:40:00	737	06.11.2018 11:14:00	1972
22.10.2018 19:41:00	590	06.11.2018 11:15:00	1413
22.10.2018 19:42:00	590	06.11.2018 11:16:00	2413
22.10.2018 19:43:00	531	06.11.2018 11:17:00	2531
22.10.2018 19:44:00	501	06.11.2018 11:18:00	2149
22.10.2018 19:45:00	560	06.11.2018 11:19:00	2090
22.10.2018 19:46:00	707	06.11.2018 11:20:00	2649
22.10.2018 19:47:00	766	06.11.2018 11:21:00	2237
22.10.2018 19:48:00	384	06.11.2018 11:22:00	1649
22.10.2018 19:49:00	1031	06.11.2018 11:23:00	1913
22.10.2018 19:50:00	825	06.11.2018 11:24:00	2678
22.10.2018 19:51:00	384	06.11.2018 11:25:00	2237
22.10.2018 19:52:00	501	06.11.2018 11:26:00	2207
22.10.2018 19:53:00	590	06.11.2018 11:27:00	2325
22.10.2018 19:54:00	619	06.11.2018 11:28:00	2590
22.10.2018 19:55:00	649	06.11.2018 11:29:00	2325
22.10.2018 19:56:00	943		
22.10.2018 19:57:00	531		
22.10.2018 19:58:00	737		
22.10.2018 19:59:00	972		
22.10.2018 20:00:00	472		
22.10.2018 20:01:00	796		

Pedreira C

Ativo trabalho C		Passivo trabalho C	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]	GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
17.10.2018 12:48:00	60	17.10.2018 12:48:00	90
17.10.2018 12:49:00	0	17.10.2018 12:49:00	60
17.10.2018 12:50:00	31	17.10.2018 12:50:00	149
17.10.2018 12:51:00	31	17.10.2018 12:51:00	0
17.10.2018 12:52:00	60	17.10.2018 12:52:00	0
17.10.2018 12:53:00	90	17.10.2018 12:53:00	0
17.10.2018 12:54:00	1	17.10.2018 12:54:00	1
17.10.2018 12:55:00	1	17.10.2018 12:55:00	1
17.10.2018 12:56:00	1	17.10.2018 12:56:00	0
17.10.2018 12:57:00	0	17.10.2018 12:57:00	90
17.10.2018 12:58:00	31	17.10.2018 12:58:00	31
17.10.2018 12:59:00	1	17.10.2018 12:59:00	60
17.10.2018 13:00:00	0	17.10.2018 13:00:00	31
17.10.2018 13:01:00	60	17.10.2018 13:01:00	31
17.10.2018 13:02:00	0	17.10.2018 13:02:00	31
17.10.2018 13:03:00	60	17.10.2018 13:03:00	1
17.10.2018 13:04:00	1	17.10.2018 13:04:00	1
17.10.2018 13:05:00	1	17.10.2018 13:05:00	90
17.10.2018 13:06:00	0	17.10.2018 13:06:00	31
17.10.2018 13:07:00	31	17.10.2018 13:07:00	1
17.10.2018 13:08:00	0	17.10.2018 13:08:00	0
17.10.2018 13:09:00	1	17.10.2018 13:09:00	31
17.10.2018 13:10:00	119	17.10.2018 13:10:00	0
17.10.2018 13:11:00	1	17.10.2018 13:11:00	60
17.10.2018 13:12:00	31	17.10.2018 13:12:00	1
17.10.2018 13:13:00	1	17.10.2018 13:13:00	31
17.10.2018 13:14:00	1	17.10.2018 13:14:00	31
17.10.2018 13:15:00	1	17.10.2018 13:15:00	60
17.10.2018 13:16:00	60	17.10.2018 13:16:00	60
17.10.2018 13:17:00	90	17.10.2018 13:17:00	0
17.10.2018 13:18:00	31	17.10.2018 13:18:00	1
17.10.2018 13:19:00	1	17.10.2018 13:19:00	60
17.10.2018 13:20:00	0	17.10.2018 13:20:00	1
17.10.2018 13:21:00	0	17.10.2018 13:21:00	1
17.10.2018 13:22:00	178	17.10.2018 13:22:00	1
17.10.2018 13:23:00	1	17.10.2018 13:23:00	60
17.10.2018 13:24:00	0	17.10.2018 13:24:00	1
17.10.2018 13:25:00	0	17.10.2018 13:25:00	237
17.10.2018 13:26:00	31	17.10.2018 13:26:00	90

17.10.2018 13:27:00	1	17.10.2018 13:27:00	60
17.10.2018 13:28:00	31	17.10.2018 13:28:00	1
17.10.2018 13:29:00	0	17.10.2018 13:29:00	31
17.10.2018 13:30:00	31	17.10.2018 13:30:00	1
17.10.2018 13:31:00	90	17.10.2018 13:31:00	60
17.10.2018 13:32:00	31	17.10.2018 13:32:00	0
17.10.2018 13:33:00	1	17.10.2018 13:33:00	60
17.10.2018 13:34:00	60	17.10.2018 13:34:00	31
17.10.2018 13:35:00	1	17.10.2018 13:35:00	1
17.10.2018 13:36:00	1	17.10.2018 13:36:00	0
17.10.2018 13:37:00	90	17.10.2018 13:37:00	31
17.10.2018 13:38:00	0	17.10.2018 13:38:00	1
17.10.2018 13:39:00	31	17.10.2018 13:39:00	60
17.10.2018 13:40:00	1	17.10.2018 13:40:00	31
17.10.2018 13:41:00	1	17.10.2018 13:41:00	0
17.10.2018 13:42:00	1	17.10.2018 13:42:00	0
17.10.2018 13:43:00	119	17.10.2018 13:43:00	1
17.10.2018 13:44:00	1	17.10.2018 13:44:00	0
17.10.2018 13:45:00	0	17.10.2018 13:45:00	1
17.10.2018 13:46:00	1	17.10.2018 13:46:00	1
17.10.2018 13:47:00	0	17.10.2018 13:47:00	0

Ativo bancada C		Ativo pilha C	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]	GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
30.10.2018 17:18:00	649	17.10.2018 14:09:16	6469
30.10.2018 17:19:00	560	17.10.2018 14:10:00	6560
30.10.2018 17:20:00	619	17.10.2018 14:11:00	6384
30.10.2018 17:21:00	1001	17.10.2018 14:12:00	6031
30.10.2018 17:22:00	796	17.10.2018 14:13:00	5501
30.10.2018 17:23:00	413	17.10.2018 14:14:00	5854
30.10.2018 17:24:00	619	17.10.2018 14:15:00	5472
30.10.2018 17:25:00	560	17.10.2018 14:16:00	5619
30.10.2018 17:26:00	501	17.10.2018 14:17:00	5531
30.10.2018 17:27:00	590	17.10.2018 14:18:00	6413
30.10.2018 17:28:00	325	17.10.2018 14:19:00	5796
30.10.2018 17:29:00	1001	17.10.2018 14:20:00	5472
30.10.2018 17:30:00	472	17.10.2018 14:21:00	5560
30.10.2018 17:31:00	531	17.10.2018 14:22:00	5796
30.10.2018 17:32:00	531	17.10.2018 14:23:00	5649
30.10.2018 17:33:00	443	17.10.2018 14:24:00	5501
30.10.2018 17:34:00	649	17.10.2018 14:25:00	5560
30.10.2018 17:35:00	707	17.10.2018 14:26:00	5825

30.10.2018 17:36:00	531	17.10.2018 14:27:00	6501
30.10.2018 17:37:00	737	17.10.2018 14:28:00	6501
30.10.2018 17:38:00	207	17.10.2018 14:29:00	6384
30.10.2018 17:39:00	501	17.10.2018 14:30:00	6060
30.10.2018 17:40:00	443	17.10.2018 14:31:00	6296
30.10.2018 17:41:00	501	17.10.2018 14:32:00	6590
30.10.2018 17:42:00	472	17.10.2018 14:33:00	5354
30.10.2018 17:43:00	560	17.10.2018 14:34:00	7943
30.10.2018 17:44:00	501	17.10.2018 14:35:00	6560
30.10.2018 17:45:00	972	17.10.2018 14:36:00	6884
30.10.2018 17:46:00	325	17.10.2018 14:37:00	5354
30.10.2018 17:47:00	472	17.10.2018 14:38:00	7060
30.10.2018 17:48:00	590	17.10.2018 14:39:00	6913
30.10.2018 17:49:00	501	17.10.2018 14:40:00	4590
30.10.2018 17:50:00	413	17.10.2018 14:41:00	6472
30.10.2018 17:51:00	678	17.10.2018 14:42:00	6501
30.10.2018 17:52:00	737	17.10.2018 14:43:00	6884
30.10.2018 17:53:00	707	17.10.2018 14:44:00	7472
30.10.2018 17:54:00	619	17.10.2018 14:45:00	6443
30.10.2018 17:55:00	649	17.10.2018 14:46:00	5825
30.10.2018 17:56:00	649	17.10.2018 14:47:00	6854
30.10.2018 17:57:00	354	17.10.2018 14:48:00	6972
30.10.2018 17:58:00	443	17.10.2018 14:49:00	8031
30.10.2018 17:59:00	560		
30.10.2018 18:00:00	472		
30.10.2018 18:01:00	707		
30.10.2018 18:02:00	766		
30.10.2018 18:03:00	884		
30.10.2018 18:04:00	501		
30.10.2018 18:05:00	472		
30.10.2018 18:06:00	413		
30.10.2018 18:07:00	707		
30.10.2018 18:08:00	501		
30.10.2018 18:09:00	560		
30.10.2018 18:10:00	472		
30.10.2018 18:11:00	560		
30.10.2018 18:12:00	472		
30.10.2018 18:13:00	472		
30.10.2018 18:14:00	296		
30.10.2018 18:15:00	737		
30.10.2018 18:16:00	619		
30.10.2018 18:17:00	266		

Pedreira D

Ativo trabalho D	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
29.10.2018 12:56:00	1
29.10.2018 12:57:00	178
29.10.2018 12:58:00	60
29.10.2018 12:59:00	90
29.10.2018 13:00:00	31
29.10.2018 13:01:00	119
29.10.2018 13:02:00	60
29.10.2018 13:03:00	1
29.10.2018 13:04:00	1
29.10.2018 13:05:00	0
29.10.2018 13:06:00	31
29.10.2018 13:07:00	60
29.10.2018 13:08:00	0
29.10.2018 13:09:00	1
29.10.2018 13:10:00	90
29.10.2018 13:11:00	60
29.10.2018 13:12:00	0
29.10.2018 13:13:00	31
29.10.2018 13:14:00	31
29.10.2018 13:15:00	1
29.10.2018 13:16:00	0
29.10.2018 13:17:00	60
29.10.2018 13:18:00	90
29.10.2018 13:19:00	1
29.10.2018 13:20:00	31
29.10.2018 13:21:00	0
29.10.2018 13:22:00	60
29.10.2018 13:23:00	60
29.10.2018 13:24:00	60
29.10.2018 13:25:00	178
29.10.2018 13:26:00	0
29.10.2018 13:27:00	0
29.10.2018 13:28:00	90
29.10.2018 13:29:00	31
29.10.2018 13:30:00	90
29.10.2018 13:31:00	31
29.10.2018 13:32:00	31
29.10.2018 13:33:00	60
29.10.2018 13:34:00	31

29.10.2018 13:35:00	149
29.10.2018 13:36:00	1
29.10.2018 13:37:00	31
29.10.2018 13:38:00	1
29.10.2018 13:39:00	60
29.10.2018 13:40:00	149
29.10.2018 13:41:00	60
29.10.2018 13:42:00	1
29.10.2018 13:43:00	149
29.10.2018 13:44:00	31
29.10.2018 13:45:00	60
29.10.2018 13:46:00	90
29.10.2018 13:47:00	31
29.10.2018 13:48:00	31
29.10.2018 13:49:00	0
29.10.2018 13:50:00	60
29.10.2018 13:51:00	90
29.10.2018 13:52:00	31
29.10.2018 13:53:00	60
29.10.2018 13:54:00	178

Ativo bancada D	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
01.11.2018 17:33:00	3500
01.11.2018 17:34:00	5000
01.11.2018 17:35:00	4250
01.11.2018 17:36:00	3656
01.11.2018 17:37:00	4343
01.11.2018 17:38:00	3343
01.11.2018 17:39:00	4250
01.11.2018 17:40:00	4062
01.11.2018 17:41:00	3968
01.11.2018 17:42:00	3500
01.11.2018 17:43:00	3968
01.11.2018 17:44:00	3343
01.11.2018 17:45:00	4031
01.11.2018 17:46:00	4125
01.11.2018 17:47:00	4468
01.11.2018 17:48:00	3312
01.11.2018 17:49:00	4156
01.11.2018 17:50:00	3531
01.11.2018 17:51:00	3500

Ativo pilha D	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
29.10.2018 14:16:14	19729
29.10.2018 14:17:00	20590
29.10.2018 14:18:00	18237
29.10.2018 14:19:00	18913
29.10.2018 14:20:00	20560
29.10.2018 14:21:00	18296
29.10.2018 14:22:00	18178
29.10.2018 14:23:00	21472
29.10.2018 14:24:00	20443
29.10.2018 14:25:00	20001
29.10.2018 14:26:00	19060
29.10.2018 14:27:00	18296
29.10.2018 14:28:00	21766
29.10.2018 14:29:00	19707
29.10.2018 14:30:00	18590
29.10.2018 14:31:00	20472
29.10.2018 14:32:00	18090
29.10.2018 14:33:00	17619
29.10.2018 14:34:00	19590

01.11.2018 17:52:00	3656	29.10.2018 14:35:00	17384
01.11.2018 17:53:00	3125	29.10.2018 14:36:00	18531
01.11.2018 17:54:00	4437	29.10.2018 14:37:00	18413
01.11.2018 17:55:00	3968	29.10.2018 14:38:00	19266
01.11.2018 17:56:00	3187	29.10.2018 14:39:00	20825
01.11.2018 17:57:00	3812	29.10.2018 14:40:00	17384
01.11.2018 17:58:00	3468	29.10.2018 14:41:00	17913
01.11.2018 17:59:00	3781	29.10.2018 14:42:00	19884
01.11.2018 18:00:00	3781	29.10.2018 14:43:00	17296
01.11.2018 18:01:00	3343	29.10.2018 14:44:00	19943
01.11.2018 18:02:00	3468	29.10.2018 14:45:00	18972
01.11.2018 18:03:00	3843	29.10.2018 14:46:00	18649
01.11.2018 18:04:00	3500	29.10.2018 14:47:00	20913
01.11.2018 18:05:00	3531	29.10.2018 14:48:00	20472
01.11.2018 18:06:00	3906	29.10.2018 14:49:00	19501
01.11.2018 18:07:00	3375	29.10.2018 14:50:00	18678
01.11.2018 18:08:00	3718	29.10.2018 14:51:00	21384
01.11.2018 18:09:00	3562	29.10.2018 14:52:00	19296
01.11.2018 18:10:00	3781	29.10.2018 14:53:00	19325
01.11.2018 18:11:00	3968	29.10.2018 14:54:00	18737
01.11.2018 18:12:00	3593	29.10.2018 14:55:00	19001
01.11.2018 18:13:00	2875	29.10.2018 14:56:00	20031
01.11.2018 18:14:00	4312	29.10.2018 14:57:00	19560
01.11.2018 18:15:00	4093	29.10.2018 14:58:00	19296
01.11.2018 18:16:00	4125	29.10.2018 14:59:00	19472
01.11.2018 18:17:00	3375	29.10.2018 15:00:00	18443
01.11.2018 18:18:00	3531	29.10.2018 15:01:00	18149
01.11.2018 18:19:00	3375	29.10.2018 15:02:00	18501
01.11.2018 18:20:00	4187	29.10.2018 15:03:00	18737
01.11.2018 18:21:00	4531	29.10.2018 15:04:00	19531
01.11.2018 18:22:00	5093	29.10.2018 15:05:00	19649
01.11.2018 18:23:00	4531	29.10.2018 15:06:00	20266
01.11.2018 18:24:00	4437		
01.11.2018 18:25:00	3656		
01.11.2018 18:26:00	3750		
01.11.2018 18:27:00	3625		
01.11.2018 18:28:00	4187		
01.11.2018 18:29:00	3250		
01.11.2018 18:30:00	3531		
01.11.2018 18:31:00	4343		
01.11.2018 18:32:00	3687		
01.11.2018 18:33:00	3937		

Pedreira E

Passivo trabalho E	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
01.11.2018 13:18:52	193
01.11.2018 13:19:00	1
01.11.2018 13:20:00	60
01.11.2018 13:21:00	31
01.11.2018 13:22:00	31
01.11.2018 13:23:00	60
01.11.2018 13:24:00	31
01.11.2018 13:25:00	60
01.11.2018 13:26:00	31
01.11.2018 13:27:00	60
01.11.2018 13:28:00	1
01.11.2018 13:29:00	119
01.11.2018 13:30:00	1
01.11.2018 13:31:00	0
01.11.2018 13:32:00	1
01.11.2018 13:33:00	149
01.11.2018 13:34:00	0
01.11.2018 13:35:00	0
01.11.2018 13:36:00	1
01.11.2018 13:37:00	1
01.11.2018 13:38:00	1
01.11.2018 13:39:00	60
01.11.2018 13:40:00	1
01.11.2018 13:41:00	1
01.11.2018 13:42:00	1
01.11.2018 13:43:00	1
01.11.2018 13:44:00	1
01.11.2018 13:45:00	1
01.11.2018 13:46:00	31
01.11.2018 13:47:00	60
01.11.2018 13:48:00	60
01.11.2018 13:49:00	1
01.11.2018 13:50:00	31
01.11.2018 13:51:00	0
01.11.2018 13:52:00	60
01.11.2018 13:53:00	60
01.11.2018 13:54:00	0
01.11.2018 13:55:00	60
01.11.2018 13:56:00	1

01.11.2018 13:57:00	31
01.11.2018 13:58:00	0
01.11.2018 13:59:00	149
01.11.2018 14:00:00	31
01.11.2018 14:01:00	1
01.11.2018 14:02:00	0
01.11.2018 14:03:00	31
01.11.2018 14:04:00	31
01.11.2018 14:05:00	31
01.11.2018 14:06:00	119
01.11.2018 14:07:00	31
01.11.2018 14:08:00	60
01.11.2018 14:09:00	1

Ativo bancada E		Ativo pilha E	
GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]	GMT_DateTime	RadonValue [Bq/m3]
01.11.2018 20:28:00	1531	01.11.2018 13:03:02	4915
01.11.2018 20:29:00	1125	01.11.2018 13:04:00	4625
01.11.2018 20:30:00	1468	01.11.2018 13:05:00	4562
01.11.2018 20:31:00	1187	01.11.2018 13:06:00	5000
01.11.2018 20:32:00	1687	01.11.2018 13:07:00	4718
01.11.2018 20:33:00	1312	01.11.2018 13:08:00	5187
01.11.2018 20:34:00	1625	01.11.2018 13:09:00	4968
01.11.2018 20:35:00	1125	01.11.2018 13:10:00	5000
01.11.2018 20:36:00	1093	01.11.2018 13:11:00	5031
01.11.2018 20:37:00	1437	01.11.2018 13:12:00	5250
01.11.2018 20:38:00	1812	01.11.2018 13:13:00	4750
01.11.2018 20:39:00	1437	01.11.2018 13:14:00	4781
01.11.2018 20:40:00	1937	01.11.2018 13:15:00	5375
01.11.2018 20:41:00	1218	01.11.2018 13:16:00	5093
01.11.2018 20:42:00	1093	01.11.2018 13:17:00	5437
01.11.2018 20:43:00	1156	01.11.2018 13:18:00	5437
01.11.2018 20:44:00	1250	01.11.2018 13:19:00	5343
01.11.2018 20:45:00	1343	01.11.2018 13:20:00	5093
01.11.2018 20:46:00	1093	01.11.2018 13:21:00	5812
01.11.2018 20:47:00	1000	01.11.2018 13:22:00	5562
01.11.2018 20:48:00	1718	01.11.2018 13:23:00	4781
01.11.2018 20:49:00	1250	01.11.2018 13:24:00	6125
01.11.2018 20:50:00	1187	01.11.2018 13:25:00	5406
01.11.2018 20:51:00	1250	01.11.2018 13:26:00	5625
01.11.2018 20:52:00	843	01.11.2018 13:27:00	5406
01.11.2018 20:53:00	1406	01.11.2018 13:28:00	5531
01.11.2018 20:54:00	1250	01.11.2018 13:29:00	5093

01.11.2018 20:55:00	1625	01.11.2018 13:30:00	5593
01.11.2018 20:56:00	1468	01.11.2018 13:31:00	5437
01.11.2018 20:57:00	1281	01.11.2018 13:32:00	5937
01.11.2018 20:58:00	1187	01.11.2018 13:33:00	4750
01.11.2018 20:59:00	1593	01.11.2018 13:34:00	5937
01.11.2018 21:00:00	1406	01.11.2018 13:35:00	5187
01.11.2018 21:01:00	1750	01.11.2018 13:36:00	5593
01.11.2018 21:02:00	1375	01.11.2018 13:37:00	5406
01.11.2018 21:03:00	1343	01.11.2018 13:38:00	5531
01.11.2018 21:04:00	1531	01.11.2018 13:39:00	6000
01.11.2018 21:05:00	1718	01.11.2018 13:40:00	5031
01.11.2018 21:06:00	1656	01.11.2018 13:41:00	4937
01.11.2018 21:07:00	1343	01.11.2018 13:42:00	5312
01.11.2018 21:08:00	843	01.11.2018 13:43:00	5093
01.11.2018 21:09:00	1500	01.11.2018 13:44:00	5656
01.11.2018 21:10:00	1125	01.11.2018 13:45:00	4437
01.11.2018 21:11:00	1343	01.11.2018 13:46:00	5281
01.11.2018 21:12:00	1468	01.11.2018 13:47:00	5437
01.11.2018 21:13:00	1406	01.11.2018 13:48:00	5125
01.11.2018 21:14:00	1187	01.11.2018 13:49:00	4968
01.11.2018 21:15:00	1468	01.11.2018 13:50:00	6156
01.11.2018 21:16:00	1812	01.11.2018 13:51:00	5406
01.11.2018 21:17:00	1875	01.11.2018 13:52:00	5093
01.11.2018 21:18:00	1500	01.11.2018 13:53:00	5843
01.11.2018 21:19:00	1843	01.11.2018 13:54:00	5406
01.11.2018 21:20:00	1406	01.11.2018 13:55:00	4531
01.11.2018 21:21:00	1406	01.11.2018 13:56:00	4781
01.11.2018 21:22:00	2093	01.11.2018 13:57:00	5562
01.11.2018 21:23:00	1312	01.11.2018 13:58:00	4937
01.11.2018 21:24:00	1250	01.11.2018 13:59:00	5281
01.11.2018 21:25:00	1343		
01.11.2018 21:26:00	1750		
01.11.2018 21:27:00	1250		

APÊNDICE B

Output dos dados de estatística descritiva dos dados.

Descriptives ^{a,b}				
			Statistic	Std. Error
Pilha - A (Bq/m ³)	Mean		29402,43	165,833
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	29070,60	
		Upper Bound	29734,26	
	5% Trimmed Mean		29382,70	
	Median		29251,50	
	Variance		1650036,318	
	Std. Deviation		1284,537	
	Minimum		26590	
	Maximum		33296	
	Range		6706	
	Interquartile Range		1757	
	Skewness		,280	,309
	Kurtosis		,302	,608
Pilha - B (Bq/m ³)	Mean		2166,83	50,718
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	2065,11	
		Upper Bound	2268,56	
	5% Trimmed Mean		2161,32	
	Median		2149,00	
	Variance		138904,708	
	Std. Deviation		372,699	
	Minimum		1354	
	Maximum		3281	
	Range		1927	
	Interquartile Range		390	
	Skewness		,327	,325
	Kurtosis		,728	,639
Pilha - C (Bq/m ³)	Mean		6230,17	112,980
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6001,83	
		Upper Bound	6458,51	
	5% Trimmed Mean		6202,65	
	Median		6384,00	
	Variance		523340,795	
	Std. Deviation		723,423	
	Minimum		4590	

	Maximum		8031	
	Range		3441	
	Interquartile Range		986	
	Skewness		,415	,369
	Kurtosis		,342	,724
Pilha - D (Bq/m ³)	Mean		19274,73	152,379
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	18968,66	
		Upper Bound	19580,79	
	5% Trimmed Mean		19254,26	
	Median		19296,00	
	Variance		1184184,043	
	Std. Deviation		1088,202	
	Minimum		17296	
	Maximum		21766	
	Range		4470	
	Interquartile Range		1558	
	Skewness		,268	,333
	Kurtosis		-,446	,656
Pilha - E (Bq/m ³)	Mean		5255,26	53,871
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	5147,35	
		Upper Bound	5363,18	
	5% Trimmed Mean		5249,97	
	Median		5281,00	
	Variance		165420,090	
	Std. Deviation		406,719	
	Minimum		4437	
	Maximum		6156	
	Range		1719	
	Interquartile Range		563	
	Skewness		,184	,316
	Kurtosis		-,382	,623
Bancada - A (Bq/m ³)	Mean		7771,16	97,898
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7575,34	
		Upper Bound	7966,99	
	5% Trimmed Mean		7779,14	
	Median		7843,00	
	Variance		584627,639	
	Std. Deviation		764,609	
	Minimum		5000	
	Maximum		9562	
	Range		4562	
	Interquartile Range		860	

	Skewness		-,509	,306
	Kurtosis		2,059	,604
Bancada - B (Bq/m ³)	Mean		644,63	19,596
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	605,42	
		Upper Bound	683,84	
	5% Trimmed Mean		638,76	
	Median		634,00	
	Variance		23040,067	
	Std. Deviation		151,790	
	Minimum		384	
	Maximum		1031	
	Range		647	
	Interquartile Range		206	
	Skewness		,579	,309
	Kurtosis		-,050	,608
Bancada - C (Bq/m ³)	Mean		566,10	21,456
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	523,17	
		Upper Bound	609,03	
	5% Trimmed Mean		559,69	
	Median		545,50	
	Variance		27622,024	
	Std. Deviation		166,199	
	Minimum		207	
	Maximum		1001	
	Range		794	
	Interquartile Range		177	
	Skewness		,605	,309
	Kurtosis		,770	,608
Bancada - D (Bq/m ³)	Mean		3828,52	57,539
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	3713,43	
		Upper Bound	3943,62	
	5% Trimmed Mean		3813,11	
	Median		3781,00	
	Variance		201953,220	
	Std. Deviation		449,392	
	Minimum		2875	
	Maximum		5093	
	Range		2218	
	Interquartile Range		641	
	Skewness		,563	,306
	Kurtosis		,249	,604
Bancada- E (Bq/m ³)	Mean		1404,82	33,965

	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	1336,85	
		Upper Bound	1472,78	
	5% Trimmed Mean		1401,81	
	Median		1390,50	
	Variance		69216,118	
	Std. Deviation		263,090	
	Minimum		843	
	Maximum		2093	
	Range		1250	
	Interquartile Range		352	
	Skewness		,336	
	Kurtosis		-,023	
Ativo - A (Bq/m ³)	Mean		49,46	6,293
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	36,87	
		Upper Bound	62,05	
	5% Trimmed Mean		44,04	
	Median		31,00	
	Variance		2415,886	
	Std. Deviation		49,152	
	Minimum		0	
	Maximum		237	
	Range		237	
	Interquartile Range		59	
	Skewness		1,636	
	Kurtosis		3,643	
Ativo - B (Bq/m ³)	Mean		31,97	5,432
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	21,10	
		Upper Bound	42,84	
	5% Trimmed Mean		26,72	
	Median		31,00	
	Variance		1770,372	
	Std. Deviation		42,076	
	Minimum		0	
	Maximum		207	
	Range		207	
	Interquartile Range		52	
	Skewness		1,898	
	Kurtosis		4,520	
Ativo - C (Bq/m ³)	Mean		24,98	4,962
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	15,06	
		Upper Bound	34,91	
	5% Trimmed Mean		20,06	

	Median		1,00	
	Variance		1477,101	
	Std. Deviation		38,433	
	Minimum		0	
	Maximum		178	
	Range		178	
	Interquartile Range		30	
	Skewness		1,879	,309
	Kurtosis		3,702	,608
Ativo - D (Bq/m³)	Mean		51,07	6,453
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	38,15	
		Upper Bound	63,99	
	5% Trimmed Mean		46,85	
	Median		31,00	
	Variance		2457,099	
	Std. Deviation		49,569	
	Minimum		0	
	Maximum		178	
	Range		178	
	Interquartile Range		59	
	Skewness		1,082	,311
	Kurtosis		,656	,613
Passivo - A (Bq/m³)	Mean		44,57	5,985
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	32,55	
		Upper Bound	56,59	
	5% Trimmed Mean		41,61	
	Median		31,00	
	Variance		1826,690	
	Std. Deviation		42,740	
	Minimum		0	
	Maximum		178	
	Range		178	
	Interquartile Range		59	
	Skewness		,995	,333
	Kurtosis		,540	,656
Passivo - B (Bq/m³)	Mean		19,18	3,249
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	12,68	
		Upper Bound	25,68	
	5% Trimmed Mean		16,87	
	Median		1,00	
	Variance		633,237	
	Std. Deviation		25,164	

	Minimum		0	
	Maximum		90	
	Range		90	
	Interquartile Range		30	
	Skewness		1,165	,309
	Kurtosis		,438	,608
Passivo - C (Bq/m³)	Mean		29,93	5,528
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	18,87	
		Upper Bound	40,99	
	5% Trimmed Mean		24,44	
	Median		1,00	
	Variance		1833,216	
	Std. Deviation		42,816	
	Minimum		0	
	Maximum		237	
	Range		237	
	Interquartile Range		59	
	Skewness		2,445	,309
	Kurtosis		8,698	,608
Passivo - E (Bq/m³)	Mean		34,19	6,151
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	21,84	
		Upper Bound	46,54	
	5% Trimmed Mean		28,77	
	Median		31,00	
	Variance		1967,217	
	Std. Deviation		44,353	
	Minimum		0	
	Maximum		193	
	Range		193	
	Interquartile Range		59	
	Skewness		1,762	,330
	Kurtosis		3,210	,650

	Normality test		
	Statistic	df	Sig.
Pilha - A (Bq/m ³)	,059	60	,200*
Pilha - B (Bq/m ³)	,113	54	,080
Pilha - C (Bq/m ³)	,113	41	,200*
Pilha - D (Bq/m ³)	,082	51	,200*
Pilha - E (Bq/m ³)	,076	57	,200*
Bancada - A (Bq/m ³)	,067	61	,200*
Bancada - B (Bq/m ³)	,107	60	,083
Bancada - C (Bq/m ³)	,115	60	,048
Bancada - D (Bq/m ³)	,092	61	,200*
Bancada- E (Bq/m ³)	,088	60	,200*
Ativo - A (Bq/m ³)	,204	61	,000
Ativo - B (Bq/m ³)	,259	60	,000
Ativo - C (Bq/m ³)	,334	60	,000
Ativo - D (Bq/m ³)	,191	59	,000
Passivo - A (Bq/m ³)	,252	51	,000
Passivo - B (Bq/m ³)	,348	60	,000
Passivo - C (Bq/m ³)	,267	60	,000
Passivo - E (Bq/m ³)	,234	52	,000
* Normal model applicable			

APÊNDICE C

Resultados do *software* do teste ANOVA

ANOVA TEST

Bq/m³

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Between-Component Variance
					Lower Bound	Upper Bound			
A - Pilha	60	29402,43	1284,537	165,833	29070,60	29734,26	26590	33296	
A - Bancada	61	7771,16	764,609	97,898	7575,34	7966,99	5000	9562	
A - Ativo	61	49,46	49,152	6,293	36,87	62,05	0	237	
A - Passivo	51	44,57	42,740	5,985	32,55	56,59	0	178	
B - Pilha	54	2166,83	372,699	50,718	2065,11	2268,56	1354	3281	
B - Bancada	60	644,63	151,790	19,596	605,42	683,84	384	1031	
B - Ativo	60	31,97	42,076	5,432	21,10	42,84	0	207	
B - Passivo	60	19,18	25,164	3,249	12,68	25,68	0	90	
C - Pilha	41	6230,17	723,423	112,980	6001,83	6458,51	4590	8031	
C - Bancada	60	566,10	166,199	21,456	523,17	609,03	207	1001	
C - Ativo	60	24,98	38,433	4,962	15,06	34,91	0	178	
C - Passivo	60	29,93	42,816	5,528	18,87	40,99	0	237	
D - Pilha	51	19274,73	1088,202	152,379	18968,66	19580,79	17296	21766	
D - Bancada	61	3828,52	449,392	57,539	3713,43	3943,62	2875	5093	
D - Ativo	59	51,07	49,569	6,453	38,15	63,99	0	178	
E - Pilha	57	5255,26	406,719	53,871	5147,35	5363,18	4437	6156	
E - Bancada	60	1404,82	263,090	33,965	1336,85	1472,78	843	2093	
E - Passivo	52	34,19	44,353	6,151	21,84	46,54	0	193	
Total	1028	4182,99	7722,026	240,843	3710,39	4655,59	0	33296	
Model	Fixed Effects		496,726	15,492	4152,59	4213,39			62845483,588
	Random Effects			1876,311	224,32	8141,66			

Test of Homogeneity of Variances

Bq/m³

Levene Statistic	df1	df2	Sig.	<- hipótese refutada, ou seja, não há igualdade estatística entre os dados pois significância é menor do que 0,05
63,646	17	1010	,000	

Resultados dos testes de *Games-Howell***Games-Howell**

Dependent Variable: Bq/m³

Games-Howell

(I) Aux		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
A - Pilha	A - Bancada	21631,269*	192,574	,000
	A - Ativo	29352,974*	165,952	,000
	A - Passivo	29357,865*	165,941	,000
A - Bancada	A - Pilha	-21631,269*	192,574	,000
	A - Ativo	7721,705*	98,100	,000
	A - Passivo	7726,595*	98,081	,000
A - Ativo	A - Pilha	-29352,974*	165,952	,000
	A - Bancada	-7721,705*	98,100	,000
	A - Passivo	4,890	8,685	1,000
A - Passivo	A - Pilha	-29357,865*	165,941	,000
	A - Bancada	-7726,595*	98,081	,000
	A - Ativo	-4,890	8,685	1,000
B - Pilha	B - Bancada	1522,200*	54,372	,000
	B - Ativo	2134,867*	51,008	,000
	B - Passivo	2147,650*	50,822	,000
B - Bancada	B - Pilha	-1522,200*	54,372	,000
	B - Ativo	612,667*	20,335	,000
	B - Passivo	625,450*	19,863	,000
B - Ativo	B - Pilha	-2134,867*	51,008	,000
	B - Bancada	-612,667*	20,335	,000
	B - Passivo	12,783	6,329	,852
B - Passivo	B - Pilha	-2147,650*	50,822	,000
	B - Bancada	-625,450*	19,863	,000
	B - Ativo	-12,783	6,329	,852
C - Pilha	C - Bancada	5664,071*	114,999	,000
	C - Ativo	6205,187*	113,089	,000
	C - Passivo	6200,237*	113,115	,000
C - Bancada	C - Pilha	-5664,071*	114,999	,000
	C - Ativo	541,117*	22,022	,000
	C - Passivo	536,167*	22,157	,000
C - Ativo	C - Pilha	-6205,187*	113,089	,000
	C - Bancada	-541,117*	22,022	,000
	C - Passivo	-4,950	7,428	1,000

C - Passivo	C - Pilha	-6200,237*	113,115	,000
	C - Bancada	-536,167*	22,157	,000
	C - Ativo	4,950	7,428	1,000
D - Pilha	D - Bancada	15446,201*	162,880	,000
	D - Ativo	19223,658*	152,515	,000
D - Bancada	D - Pilha	-15446,201*	162,880	,000
	D - Ativo	3777,457*	57,900	,000
D - Ativo	D - Pilha	-19223,658*	152,515	,000
	D - Bancada	-3777,457*	57,900	,000
E - Pilha	E - Bancada	3850,446*	63,684	,000
	E - Passivo	5221,071*	54,221	,000
E - Bancada	E - Pilha	-3850,446*	63,684	,000
	E - Passivo	1370,624*	34,517	,000
E - Passivo	E - Pilha	-5221,071*	54,221	,000
	E - Bancada	-1370,624*	34,517	,000