



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Ciência e Tecnologia - Campus de Presidente Prudente
Departamento de Física

LETÍCIA SAMANTA OLIVEIRA DE CASTRO

**DETECÇÃO DE RADÔNIO E FILHOS EM AMBIENTES DE
CONVÍVIO HUMANO NA CIDADE DE PRESIDENTE PRUDENTE,
SÃO PAULO, BRASIL**

Presidente Prudente - SP

2018



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

LETÍCIA SAMANTA OLIVEIRA DE CASTRO

**DETECÇÃO DE RADÔNIO E FILHOS EM AMBIENTES DE
CONVÍVIO HUMANO NA CIDADE DE PRESIDENTE PRUDENTE,
SÃO PAULO, BRASIL**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Campus de Presidente Prudente, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. LD. Carlos Alberto Tello Sáenz

Presidente Prudente - SP

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

Leticia Samanta Oliveira de Castro

**"Detecção de Radônio e Filhos em ambientes de convivio humano na cidade de
Presidente Prudente, São Paulo, Brasil"**

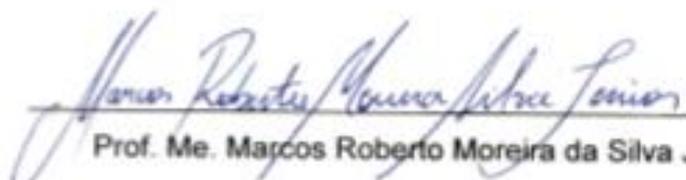
Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz (Orientador)



Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes



Prof. Me. Marcos Roberto Moreira da Silva Junior

Presidente Prudente, 12 de janeiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me abençoado com sabedoria para que eu pudesse fazer as escolhas que me trouxeram até aqui; por ter me dado saúde e fé, que foram fundamentais para perseverar durante essa etapa; por ter colocado no meu caminho pessoas maravilhosas que me auxiliaram e tornaram tudo isso possível.

Aos meus pais por terem paciência para me ensinar, confiança nas minhas decisões para que eu crescesse, por serem meu exemplo e porto seguro, por sempre me apoiar. Aos meus irmãos e familiares pelo carinho e compreensão que tiveram durante toda a minha formação.

Ao meu orientador, prof. LD. Carlos Alberto Tello Sáenz, pela disponibilidade, por ter acreditado em mim durante esses quase três anos de trabalho, pela paciência, por cada reunião, e-mail e telefonema dado com o intuito de transmitir conhecimento e me dar suporte. Também ao grupo de pesquisa pelo apoio e assistência, principalmente à Magda Tatiana Lima Vieira e Nathália Oezau Gomes, e ao João Victor da Silva Andrade.

Ao meu namorado por seu apoio, paciência e compreensão com as minhas ausências, por cada palavra de encorajamento, por ter sonhado esse sonho comigo.

Aos meus amigos, em especial à Rayssa Miranda, Patrícia Moura, Raul Selvério, Felipe Isaac, Letícia Carvalho, que tornaram o período da faculdade mais doce e que valesse a pena ser vivido.

Aos professores João Osvaldo Rodrigues Nunes e Marcos Roberto Moreira da Silva Junior, por terem me dado a honra de aceitar avaliar esse trabalho e por terem contribuído através de suas considerações, deixando-o com um pouco do seu prestígio e conhecimento.

À coordenadora do curso de Engenharia Ambiental, Prof. Dr. Encarnita Salas Martin, por buscar melhorias para o curso, por ser dedicada e empenhada a nos ajudar. Aos demais professores, que partilharam do saber com generosidade durante esses cinco anos.

À Turma XII, a todos os amigos e a todas as pessoas com quem convivi em Presidente Prudente, todos que me acolheram e me acrescentaram, deixo meu muito obrigada!

*“O objetivo fundamental dos sonhos não é o sucesso,
mas nos livrar do fantasma do conformismo.”*

Augusto Cury

RESUMO

Uma das formas de exposição do homem às radiações é através da incorporação de radionuclídeos naturais, encontrados na crosta terrestre e em todo o meio ambiente. O Radônio é um gás invisível; inodoro e insípido, sua ocorrência se dá naturalmente no planeta e em materiais de construção em ambientes de convívio humano. O Radônio e os seus produtos de decaimento radioativo são responsáveis por 53% (ICRP) da dose ambiental radioativa na superfície da Terra e são prejudiciais à saúde humana, podendo ocasionar o surgimento de células cancerígenas no tecido do aparelho respiratório dependendo da dose e exposição. O objetivo desse trabalho é estudar a fenomenologia do transporte deste gás, considerando os efeitos de “plate-out”, característica dos filhos do Radônio de se depositarem nas superfícies, para examinar e melhor entender os diferentes parâmetros (ventilação, campo magnético, etc.) que influenciam a difusão do radônio no ar. Para isso, escolheu-se locais de exposição de 100 detectores CR-39 nas diferentes salas dos departamentos da Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, da UNESP, Campus Presidente Prudente, foi realizada a montagem, exposição, e posterior coleta dos detectores. Para realizar a análise dos resultados, inicialmente realizou-se o ataque químico com 6,25M de NaOH durante 400min a 70°C para observar os traços, fez-se a contagem e medições ao microscópio óptico. Nossos dados sugerem que alguns fatores que possivelmente influenciam a densidade de traços são: a localização do prédio, a ventilação, a atividade realizada no local. Portanto, a atividade humana pode estar relacionada com as diferenças nos resultados. É possível que tenha relação também com fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, pois, apesar de divergências entre os resultados em solo e ar, a estimativa da atividade apresentou valores altos, o que pode ser ocasionado pela proximidade às duas possíveis falhas geológicas presentes na região de estudo.

Palavras-chave: Radônio; CR-39; Partículas alfa.

ABSTRACT

One way of human exposure to radiation is through the incorporation of natural radionuclides found in the earth's crust and in the whole environment. Radon is an invisible, odorless and tasteless gas. It occurs naturally on planet and in building materials in human living places. Radon and its radioactive decay products account for 53% (ICRP) of ambient radiation dose on Earth's surface, and are harmful to human health, possibly causing the appearance of cancer cells in the respiratory tract tissue, depending on dose and exposure. The goal of this research is study the transport phenomenology of this gas, considering the effects of plate-out, feature of Radon daughters to deposit on surfaces, to examine and better understand the different parameters (ventilation, magnetic field, etc.) which influence the diffusion of radon into the air. To that, was chosen the exposure spots of 100 CR-39 detectors in rooms of the Faculty of Science and Technology - FCT, UNESP, Campus Presidente Prudente, mounting, exposure and subsequent collection of detectors. To do the analysis of the results, chemical attack with 6,25M NaOH was initially carried out for 400min at 70° C to observe the traces and do the counting and measuring at the optical microscope. Our data suggest that some factors which possibly influence the density of traces are: the location of the building, ventilation, activity carried out on site. So human activity may have connection with differences in results. It's possible that there is a relation also with geological, geomorphological and pedological factors, because, although there was divergent between results in soil and on air, the activity had high values, so can be influenced by both geological faults next by.

Key-words: Radon; CR-39; Alpha Particles.

SUMÁRIO

RESUMO -----	3
ABSTRACT -----	4
1- INTRODUÇÃO-----	9
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-----	10
2.1- Radiação -----	10
2.2- Radônio e filhos-----	11
2.3- Contextualização do estudo -----	14
2.4- Descrição dos Aspectos Locais da Área de Estudo-----	15
3- METODOLOGIA-----	17
3.1- CR-39-----	17
3.2- Ataque Químico -----	18
4- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS-----	19
5- ANÁLISE DE DADOS-----	36
6- CONCLUSÃO -----	45
7- REFERÊNCIAS -----	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ASA: Associação dos Servidores Administrativos da Unesp Presidente Prudente
- CELLIJ: Centro de Estudos em Leitura e Literatura Infantil e Juvenil
- CEMAARQ: Centro de Museologia, Antropologia e Arqueologia
- CPIDES: Centro de Promoção para Inclusão Digital
- CR-39: Poly Allyl Diglycol Carbonate – C₁₂H₁₈O₇ (PADC)
- DETRAN: Grupo de pesquisa "Detectores de Traços Nucleares"
- DNA: Ácido Desoxirribonucleico
- EPA: Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental - EUA
- EUA: Estados Unidos da América
- FCT: Faculdade de Ciência e Tecnologia
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICRP: International Commission Radiation Protection – Comissão Internacional de Proteção Radiológica
- IFGW: Instituto de Física Gleb Wataghin
- IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- NEPErg: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Ergonomia
- OMS: Organização Mundial da Saúde (WHO – World Health Organization)
- SSNTD: Solid State Nuclear Track Detector – Detectores de Traços Nucleares de Estado Sólido
- UNESP: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
- UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas
- UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica

LISTA DE SÍMBOLOS

A: Atividade [Bq/m^3]

Bi: Bismuto

Bq: Unidade de medida Béquerel = [traços/s]

mSv: Unidade de medida MiliSievert

NaHCO_3 : Bicarbonato de Sódio

NaOH: Hidróxido de Sódio

Pa: Protactínio

Pb: Chumbo

pCi: Unidade de medida PicoCurie

ppm: Partículas por milhão

Po: Polônio

Ra: Rádio

Rn: Radônio

T: Tempo em segundos

Th: Tório

U: Urânio

x: Fator de eficiência ($0,16 \pm 0,016$)

α : Alfa

β : Beta

γ : Gama

ρ : Densidade de traços [$\text{traços}/\text{cm}^2$]

σ : Desvio padrão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Série de decaimento radioativo do Urânio-238, e os tempos de meia-vida.....	11
Figura 2- Representação de como o Radônio entra em Ambientes de Convívio Humano.	12
Figura 3- Representação da diferença entre emanção e exalação de gases.	12
Figura 4- Representação de traço latente e após ataque químico visto lateralmente.	18
Figura 5- Imagens de traços de partículas α captadas por uma câmara de vídeo acoplada ao microscópio óptico.	19
Figura 6- Emanção de radônio em solos em Presidente Prudente – SP.	20
Figura 7- Localização da área de estudo com as possíveis falhas geológicas.	21
Figura 8- Croqui área de exposição no Campus FCT - UNESP, Presidente Prudente SP. Área com zoom do retângulo destacado da Figura 6.	21
Figura 9- Montagem e exposição dos detectores.....	22
Figura 10- Ataque Químico.....	33
Figura 11- Sistema de microscopia utilizado para a contagem de traços nos detectores CR-39	34
Figura 12- Representação da área válida para contagem	34
Figura 13- Gráfico de densidade de traços.	40
Figura 14- Gráfico de estimativa de atividade.....	40
Figura 15- Locais com maiores valores estimados de Atividade (Bq/m^3).	41
Figura 16- Locais com maiores e menores valores estimados de Atividade (Bq/m^3).	42
Figura 17- Locais com maiores resultados de emanção de Radônio em solo.	42
Figura 18- Gráfico com Resultado de Estimativa de Atividade em intervalos	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização dos locais de exposição dos detectores.	22
Tabela 2- Análise dos detectores.	36
Tabela 3- Resultado da estimativa de Atividade de 20 detectores em ordem decrescente.	41
Tabela 4- Resultado da estimativa de Atividade de Radônio em ordem decrescente	43

1- INTRODUÇÃO

A radioatividade é a alteração espontânea de um tipo de átomo em outro com a emissão de radiação para atingir a estabilidade. (IPEN, 2002). Os átomos que liberam esse excesso de energia são chamados de radioativos, ou radionuclídeos. Dentre esses está o Radônio.

O Radônio é um gás cuja ocorrência se dá naturalmente no solo; conseqüentemente, em materiais de construção de ambientes de convívio humano; em muitas águas minerais e termais; águas subterrâneas, que contêm mais radônio do que as superficiais devido à reposição constante, principalmente pelo decaimento do rádio; também em alguns subprodutos do petróleo; em ar, a concentração varia muito de lugar para lugar devido à variabilidade da composição do solo e das rochas.

Esse trabalho possui como objetivo estudar a possível contaminação do ar devido aos filhos do Radônio nos ambientes de convívio humano, através da busca por melhor compreensão da fenomenologia do transporte destes gases. Será considerado os efeitos de “plate-out”, característica de se depositarem nas superfícies, bem como entender os diferentes parâmetros (ventilação, campo magnético, etc.) que influenciam a difusão do gás Radônio no ar. Outro desafio é entender até onde o ser humano pode influenciar sua própria exposição à radiação natural, através do uso de materiais de construção com matéria prima extraída de locais com altos índices de radônio, solo contaminado, rocha matriz com alta emissão de radônio¹, ou contendo elevados volumes de urânio na sua composição, ou até mesmo, pelos níveis de circulação de ar nos ambientes. Busca-se também avaliar a relação entre as características físicas do ambiente, como geologia, tipos de solo, geomorfologia, possível presença de falha geológica, emanção de águas termais, e os índices de estimativa de atividade alfa.

Para isso, foram expostos detectores em ambientes de convívio humano no campus da UNESP- Presidente Prudente por certo período, foram feitos os procedimentos metodológicos que resultaram em dados de atividade desse gás. Atividade é a grandeza utilizada para expressar a quantidade de um material radioativo e representa o número de átomos que se desintegram, por unidade de tempo. A unidade empregada é o becquerel (Bq).

¹ Um exemplo de rocha matriz com emissão alta de Radônio, em comparação às demais litologias, são as rochas graníticas, devido a quantidade mais elevada de Urânio na composição.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Radiação

A radioatividade é um fenômeno atômico, cujo significado é “emissão de raios”, ou seja, capacidade que certos átomos possuem de liberar espontaneamente fontes de energia, devido a uma instabilidade dos seus núcleos, sendo classificados como radioativos, radionuclídeos ou radioisótopos, tendo como característica a emissão de partículas, tornando-se mais estáveis. Atualmente, estima-se que a radiação recebida pela população humana em virtude das exposições às fontes radioativas naturais é em média 2,4 mSv, por ano, variando devido alguns fatores, como composição de rochas, altitude e longitude (UNSCEAR, 2000).

Marie e Pierre Curie (1898) é o casal responsável pela descoberta de elementos radioativos incluindo partículas com maiores capacidades de emitir radiação, sendo elas os átomos de tório, polônio e rádio (Curie, 1963; Kolinger, 2015).

Núcleos atômicos que possuem grande instabilidade são propensos a emitir partículas alfa, beta ou gama para adquirir estabilidade. A partícula alfa (α) é emitida de cargas positivas, a beta (β) é provenientes de elétrons (negativos) ou pósitrons (positivos), e a radiação gama (γ) é a partícula que tem energia liberada em forma de fótons. Dentre essas partículas, chamadas de radiação ionizante, a alfa é a mais pesada e menos penetrante (Brito, 2013).

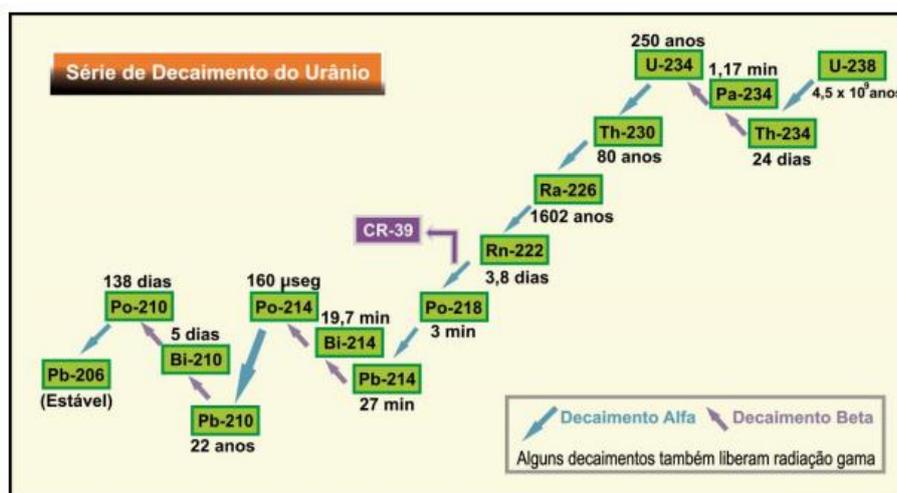
A definição do termo “meia-vida” é o período de tempo necessário para que, uma substância radioativa demore a se desintegrar, em metade do número de seus átomos, via emissão de partículas. Essa desintegração do nuclídeo é um processo natural, e o tempo varia de acordo com a intensidade da atividade decorrente do núcleo do átomo. Quanto maior for a quantidade de partículas que são emitidas em determinada unidade de tempo, menor será sua meia-vida, ocorrendo uma desintegração mais acelerada (Sakoda & Ishimori & Yamaoka, 2011).

Existem regiões com maiores concentrações das atividades de radionuclídeos, tanto nos solos, quanto nas rochas, apresentando níveis altos de radiação ambiental, com destaque para: Estado de Kerala na Índia, Yangjiang e província de Guangdong, na China, no Brasil em Guarapari, no Espírito Santo, Rio de Janeiro e Poços de Caldas, em Minas Gerais (Anjos, 2004; Lima, 1996).

2.2- Radônio e filhos

Átomos de um mesmo elemento químico podem ser diferenciados apenas pela massa atômica, conservando suas características, propriedades físicas e comportamentos químicos, são chamados de isótopos. Nenhum dos isótopos do Radônio são estáveis, e variam o tempo de meia-vida entre 54,4 segundos e 3,8 dias. O Radônio é o radionuclídeo natural encontrado em maior abundância no ecossistema terrestre, correspondendo a aproximadamente 53% (ICRP, 1993). O Radônio-222 é o isótopo mais estável dentre os 39 isótopos do Radônio conhecidos, é produto do decaimento radioativo do Urânio-238 (elemento descoberto por Otto Hahn e Fritz Strassmann, em 1938), e compõe a crosta terrestre numa proporção de aproximadamente 5 ppm (Caridi, 2016).

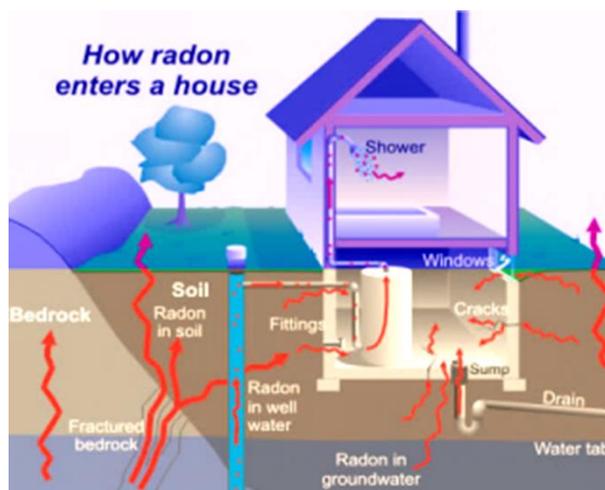
Figura 1- Série de decaimento radioativo do Urânio-238, e os tempos de meia-vida.



Fonte: Borsato, 2017

Conforme ilustração da Figura 1, a cadeia de decaimento do U-238 avança e libera energia em forma de partículas alfa, beta e gama, chega ao Rn-222, que é o primeiro dessa série radioativa que se encontra na forma de gás, e por ter meia-vida de aproximadamente 4 dias, pode chegar a atmosfera, pois tem como característica marcante a facilidade de se desprender do mineral em que está inserido e se espalhar, difundindo-se através de lençóis freáticos, tubulações e fissuras, atingindo a atmosfera, águas subterrâneas e emitindo radiação (Figura 2). Parte do gás não liberado para o meio externo, fica impregnado nos poros e nos grãos dos minerais que compõem o solo (Azevedo, 2014; Sakoda & Ishimori & Yamaoka, 2011).

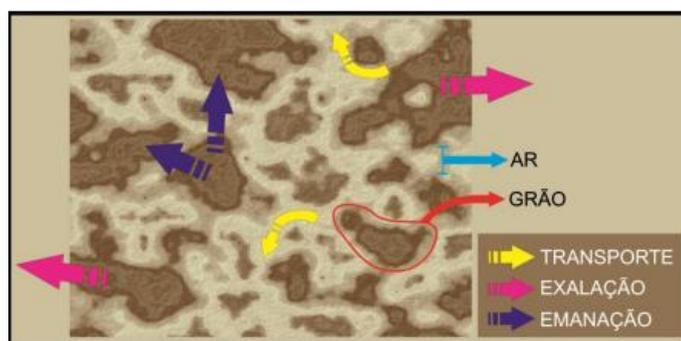
Figura 2- Representação de como o Radônio entra em Ambientes de Convívio Humano.



Fonte: www.fixyourradon.com, 2015.

Alguns fatores influenciam a taxa de emissão e exalação proveniente do solo, sendo eles caracterizados, segundo Ferreira (2013) e Moura (2005), em: umidade da região e tamanho dos grãos, além de características litológicas que abrangem aspectos da textura, composição e estrutura do solo (quantidade de U-238 no solo), porosidade, estrutura cristalina, controle do recuo e difusão do gás no interior dos poros dos grãos (resistência que o solo oferece à difusão do Rn-222). O processo de “exalação de gases” é a transferência de átomos do interior do grão para a atmosfera, enquanto “emanação” é o processo que ocorre entre os poros existentes nas partículas sólidas, transportando o gás entre elas, como pode ser observado em Ilustração da Figura 3 (Borsato, 2017). É importante ressaltar que solos arenosos facilitam o processo de exalação, devido à menor resistência à difusão do Radônio, enquanto em solos argilosos há maior emanação, devido à maior facilidade de impregnação do Radônio nos grãos.

Figura 3- Representação da diferença entre emanação e exalação de gases.



Fonte: Borsato, 2017.

O Rn-222, quando exalado, gera outros elementos na forma de gás, devido à continuação da sua cadeia de decaimento, são os chamados Filhos do Radônio. Ao serem inalados, os decaimentos radioativos continuam a ocorrer, liberando partículas alfa, beta e gama, gerando exposição do tecido do aparelho respiratório à radiação, principalmente a radiação α , 20 vezes mais danosa por ocasionar mudanças ao DNA das células, e dependendo da dose, gerando aparecimento de formas malignas de câncer. Quando há ainda o hábito de fumar, o resultado é mais crítico, tendo sido adotado por alguns pesquisadores que o hábito diminui o período de latência, ou seja, o intervalo de tempo que é necessário para a manifestação do câncer após o início da exposição aos filhos do Radônio (De Paulo, 1991; EPA, 2012).

Há estudos também que associam partículas gama à malefícios por facilmente atravessarem os tecidos, podendo atingir a cabeça ou região estomacal. O acúmulo dos filhos do radônio, como Po-214, Bi-214, Pb-210, ocorre, pois o organismo não possui capacidade de eliminação total dos átomos através da excreção, e dependendo da dose e exposição do organismo, vê-se a correlação com câncer pulmonar, rins, ossos, e ao atingir a coluna, podem ser associadas à ocorrência de leucemia. (De Paulo, 1991)

Porém, por ser um gás nobre, o Rn-222 é quase totalmente liberado na expiração. Por isso, o real risco está nos filhos do Radônio, ou seja, nos elementos posteriores a ele na cadeia de decaimento.

Para regularizar a exposição dos seres humanos a essa fonte de radiação natural, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estipulou o valor de 4 pci/L de ar, ou 148 Bq/m³, e segundo ICRP são aceitáveis níveis de até 600 Bq/m³ antes de haver intervenção. Em 2003, cerca de 21 mil mortes anuais nos Estados Unidos causadas por câncer de pulmão podiam ser atribuídas à exposição excessiva ao Radônio em interiores, excluindo a exposição ocupacional, sendo assim, a segunda maior causa de câncer de pulmão, atrás somente do tabagismo. (EPA, 2003; OMS, 2015).

Para que haja redução dos níveis de radônio em uma casa, deve-se aumentar a ventilação para permitir a troca de ar, vedar todas as fendas e aberturas das paredes de fundação e pisos, e nas laterais de tubos e drenos, e instalar pisos em porões e cômodos subterrâneos existentes, ou realizar a selagem de pisos e paredes, e tratamento de água contaminada.

O método padrão para a redução de radônio em uma casa é chamado de depressurização do solo ativo. Um tubo é instalado através do andar base e é ligado ao lado de fora da residência. Um ventilador ligado ao tubo vai retirar o radônio de debaixo da casa, antes que ele chegue dentro, e liberá-lo do lado de fora, onde ficará diluído.

Em função deste problema, já existem medidas governamentais preventivas na Europa e nos Estados Unidos. Há uma norma americana, por exemplo, que determina que toda casa deva ser construída sobre uma manta anti-radônio e todo loteamento precisa ser avaliado antes quanto a presença dele. Quem for vender uma casa tem de apresentar um laudo oficial de medida de radônio. Hoje no EUA já se pode comprar no supermercado um kit que permite medir a concentração de radônio nas casas. (Petta & Campos, 2013)

2.3- Contextualização do estudo

A partir do início dos anos 80, medidas de campo para determinar a concentração de Radônio e Filhos foram feitas em muitos países, com variadas técnicas experimentais. Estas medidas variaram grandemente em amplitude, havendo desde a exposição de poucos detectores, até as pesquisas de caráter nacional, que envolveram milhares de detectores expostos, como na Itália (Bochicchio et al., 1996), e EUA (Cohen, 1995).

Em boa parte dessas medidas utilizaram-se plásticos especiais como detectores de traços de partículas alfa, pelo fato de que são baratos e relativamente simples de operar, além de registrarem traços cumulativamente no tempo por prazos adequados. Porém, por mais de 20 anos de intensas medidas, pouco se avançou a respeito do conhecimento da possível periculosidade desta contaminação para a população em geral, pois optou-se por medir o gás radônio e não seus filhos, que são os que efetivamente têm potencial para causar danos de radiação aos seres humanos.

Esta opção decorreu, em geral, devido às dificuldades que cercam a medida dos filhos do radônio no ar de ambientes de convívio humano, pois estes são influenciados por fatores ambientais, que são variáveis e de difícil controle (Fleischer, 1984; Hadler *et al.*, 1992; Hadler & Paulo, 1994; Knutson, 1988; Jonassen, & McLaughlin, 1988; McLaughlin, 1990; McLaughlin & Fitzgerald, 1994).

A esse respeito, o Grupo de Cronologia do IFGW/UNICAMP dirigido pelo Prof. Dr. Julio Hadler deu grandes passos para medir tanto o radônio como os seus filhos com a técnica onde o CR-39 pode ser usado como espectrômetro alfa para contagem de traços redondos.

Esta técnica foi desenvolvida na UNICAMP na tese do Prof. Dr. Sergio de Paulo, Paulo (1991), mais detalhes também podem ser vistos em: Hadler and Paulo, 1994; Zúñiga (1998).

Nesta década, no Brasil, têm surgido grupos de pesquisa empenhados em estudos sobre a radiação ionizante, pois se sabe que uma das formas de exposição do homem às radiações é através da incorporação de radionuclídeos naturais, encontrados na crosta terrestre e em todo o meio ambiente. Dentre os radionuclídeos da cadeia do U-238, de importância para o estudo no risco da população, destaca-se o Rn-222, que é produzido diretamente pelo decaimento do Ra-226. Por ser um gás nobre, o radônio difunde-se facilmente da rocha ou solo matriz para os ambientes ou para a água, onde se apresenta em concentrações muito superiores aos dos seus antecessores na cadeia de decaimento (Lima & Pecequillo, 1997).

Outra característica marcante dos chamados filhos do Radônio, que são os sucessores dele na série de decaimento, é o efeito de “plate-out”, ou de se depositarem em paredes, solos, tetos, móveis e em meios materiais. Variados aspectos já foram associados à concentração de radônio emitido, à fenomenologia de transporte desse gás, ou seja, os fatores que podem influenciar o transporte do gás através do ar, como umidade do ar, temperatura, quantidade de chuva, composição das amostras, e até mesmo a ventilação do local onde foi realizada a coleta de dados.

Analizando alguns estudos sobre emissão de Radônio em amostras de materiais de construção, pode-se supor que a extração de matéria prima para realização de obras em áreas com solo mais arenoso, a emissão é maior, pois concluíram, por exemplo, que amostras com areia apresentaram concentração maior do gás, provavelmente devido à maior quantidade de poros, que facilitam a percolação do gás. (Rafique *et al.*, 2009; Xiaofeng & Guosheng, 2011). Porém isso depende também das características da rocha de origem, ou material parental.

Segundo Muhammad Rafique (2008), pode-se associar o nível de conhecimento sobre a importância e periculosidade do Radônio ao nível de escolaridade da população, e, observando o grande número de dados que têm surgido sobre o Radônio, percebe-se que se tem caminhado para tornar o comportamento desse gás, e seus filhos, mais previsível à sociedade.

2.4- Descrição dos Aspectos Locais da Área de Estudo

- Demografia: O município de Presidente Prudente está localizado no extremo oeste do estado de São Paulo e é a sede da 10ª Região Administrativa do Estado. Está a 558km da capital estadual, São Paulo, e 979km da capital federal, Brasília. Possui uma área territorial de 560,637 km² e 207.610 habitantes (de acordo com o censo realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, cuja estimativa é de 225.271 habitantes em 2017). É composto por quatro distritos (Montalvão, Floresta do Sul, Eneida, Ameliópolis) e a Sede, ou seja, o perímetro urbano de Presidente Prudente, subdivididos em 220 bairros.

- Breve histórico: A colonização da cidade de Presidente Prudente foi realizada através da construção de loteamentos, e disputada pelos coronéis Francisco de Paula Goulart e José Soares Marcondes, ao longo da estrada de ferro Sorocabana, a qual segmentou a cidade em dois setores, ou seja, zona oeste e zona leste. Na zona oeste da ferrovia originou-se a Vila Goulart, predominando relevos de colinas amplas e topos suavemente ondulados. Na porção leste, desenvolveu-se a Vila Marcondes, caracterizada pela topografia mais acidentada e vertentes muito declivosas, não favorecendo a expansão urbana. O município foi fundado dia 14 de setembro de 1917.

- Geomorfologia: O município de Presidente Prudente encontra-se localizado na Bacia Sedimentar do Paraná (morfoestrutura) e no Planalto Ocidental Paulista (morfoescultura), mais precisamente no Planalto Centro Ocidental. As formas de relevo dominante são colinas amplas e baixas (430 a 480m) com topos suavemente ondulados e convexizados, e declividades entre 2 e 10%, vertentes côncavas-convexas e retilíneas (420 a 450m) com declividades variando entre 10 a 20%, e Planícies aluviais e alvéolos (380 a 420m) com declividades entre 0 e 5% (Ross & Moroz, 1996; Nunes, et.al., 2006).

- Pedologia: No município há predomínio de Latossolos e de Argissolos, mais precisamente o Latossolo Vermelho e o Argissolo Vermelho-Amarelo, podendo-se encontrar também Neossolos Regolíticos nas vertentes, Planossolos Hidromórficos, Gleissolos e Antropossolos nas planícies aluviais e alvéolos (Nunes, et.al., 2006).

- Geologia: Conforme a coluna litoestratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná, no município de Presidente Prudente a formação geológica dominante é a Formação

Adamantina-Ka, que pertence ao Grupo Bauru. É constituída por arenitos finos a muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilítos ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte (IPT, 1981 a: 48).

A região de Presidente Prudente/SP apresenta fortes indícios da localização de falhas geológicas a aproximadamente 200 m de profundidade, sendo uma característica marcante de regiões onde há fontes geotérmicas (Balcazar et al., 1993).

É muito provável que essas falhas estejam ligadas a outras mais importantes que atravessam todo o interior do estado de São Paulo. Falha geológica é uma descontinuidade das estruturas planares entre blocos de rocha, os quais apresentam movimentos relativos entre si. É o resultado de extensão, distensão ou torção (Silva-Junior, et. al., 2012).

3- METODOLOGIA

3.1- CR-39

As técnicas mais comumente utilizadas na medida da contaminação ambiental são a detecção passiva e ativa. Enquanto que na detecção ativa se faz necessário a coleta de amostra de ar, ou de filtros que retenham certo tipo específico de radiação, na detecção passiva os detectores são expostos ao ar ambiental. Nesse trabalho, usou-se a técnica de detecção passiva sem qualquer restrição quanto aos filhos do Rn-222 (De Paulo, 1991).

Os Detectores de Traços Nucleares de Estado Sólido - SSNTD (*Solid State Nuclear Track Detector*), são uma das técnicas utilizadas para a detecção e estudos relacionados com a atividade do Rn-222 e filhos no interior de ambientes de convívio humano. Dentre os SSNTD, os detectores cuja constituição envolve nitrato de celulose ou policarbonatos, registram radiações mais “leves”, como atividade α , prótons e não só fragmentos de fissões de elementos pesados, como é o caso de detectores de vidro (De Paulo, 1991; Nazarof and Nero, 1990).

O CR-39 (poly allyl diglycol-carbonate - $C_{12}H_{18}O_7$) é o detector plástico mais eficiente, pelo menos dentre aqueles que estão disponíveis comercialmente. Uma das grandes vantagens do CR-39, além de sua eficiência, é o fato dele ser totalmente amorfo, isso faz com que os traços sejam muito regulares. Outra característica importante é que o

CR-39 é transparente, sendo que existe um contraste ideal entre os traços e o próprio corpo do plástico, facilitando bastante a observação ao microscópio óptico. Ele também é resistente a possíveis danos ocasionados por condições ambientais.

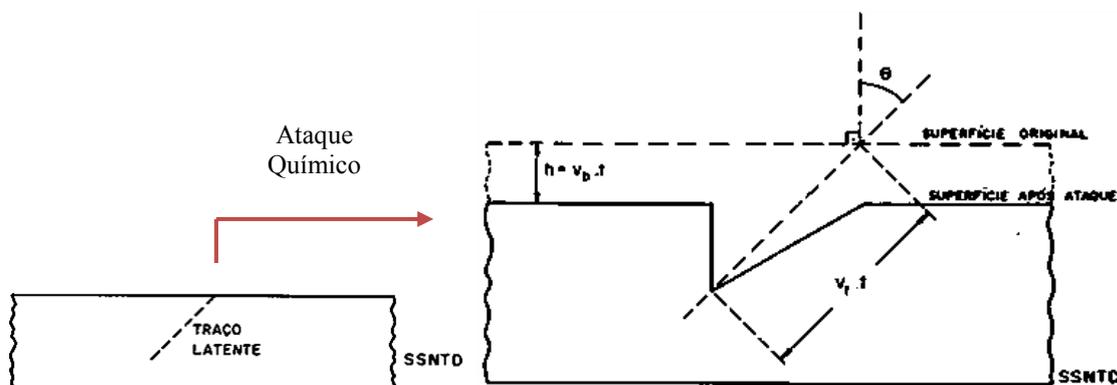
3.2- Ataque Químico

Uma partícula “pesada”, quando incide sobre um SSNTD, provoca um desarranjo na sua estrutura molecular, e essa região danificada é chamada de traço latente. Seu tamanho depende da energia da partícula incidente, e seu formato depende do ângulo de incidência. O traço tem um diâmetro na ordem de Å (angstroms), e após um ataque químico conveniente, sua dimensão passa a ser da ordem de micrômetros, com isso os traços se tornam suficientemente nítidos e estáveis para a sua observação ao microscópio óptico. O ataque químico corrói, então, a superfície do SSNTD, dissolvendo uma camada do mesmo.

Em De Paulo (1991), é mencionado que a condição ideal do ataque químico para o detector de radiação CR-39 é: 6,25M NaOH - 70°C, em um tempo de 400 minutos (6,25M corresponde a uma mistura de 50 gramas de NaOH com o volume de água até que a solução seja de 200ml). O processo é pausado ao detector ser submerso por 15 minutos em solução saturada de NaHCO₃. Posteriormente, o detector é lavado com água corrente.

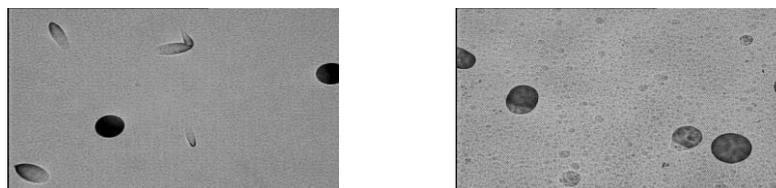
O traço formado após o ataque químico, visto de perfil, assemelha-se a um cone. Porém, como a observação ao microscópio é feita perpendicularmente à superfície do detector, a aparência do traço assemelha-se a uma elipse ou a um círculo, ou mesmo a figuras alongadas, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4- Representação de traço latente e após ataque químico visto lateralmente.



Fonte: Adaptado De Paulo, 1991.

Figura 5- Imagens de traços de partículas α captadas por uma câmara de vídeo acoplada ao microscópio óptico.



Fonte: Acervo do autor, 2017.

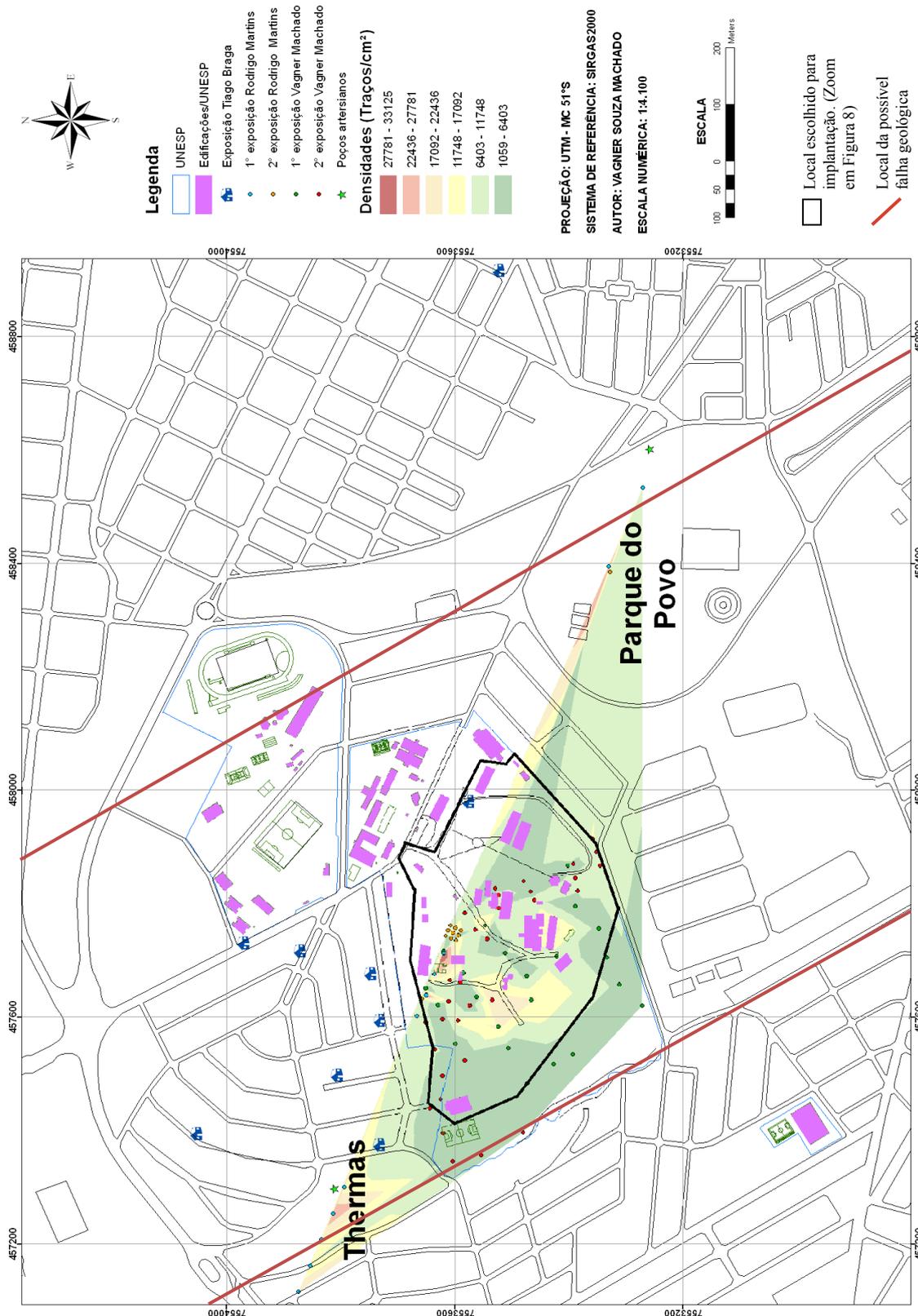
Fazendo a contagem e medida da densidade destes traços pode-se obter a estimativa da atividade do Rn-222 e filhos no ar em ambientes de convívio humano.

4- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Durante seis meses de 2015, fizemos levantamento bibliográfico, escolha dos locais de exposição dos detectores CR-39, e montagem e exposição dos detectores. Para a escolha foram priorizados locais onde já haviam sido coletados dados de traços em solo por pesquisas anteriores, para resultar em comparações e análises entre concentrações em solo e em ar de radônio e filhos.

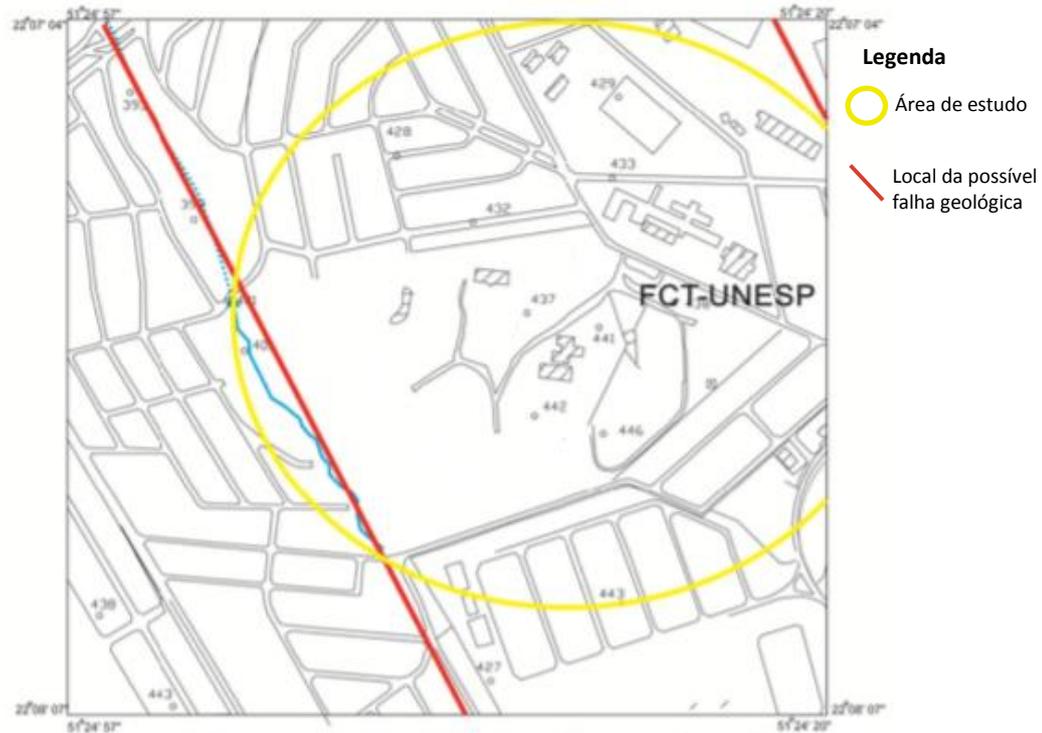
A partir dos dados da Figura 6, e de estudos de campo, chegou-se não só à definição dos locais de exposição, mas também à distribuição dos 100 detectores. Como critério, colocamos maiores quantidades de CR-39 em áreas próximas à possível falha geológica, onde segundo trabalhos anteriores, o solo apresentou maiores concentrações de radônio, supondo que nesses locais a emissão do gás será maior. Para medir a emissão de radônio também em outros pontos do campus, outros locais com menores concentrações de radônio (segundo trabalhos anteriores) foram escolhidos, para que seja estabelecido um comparativo da contagem de traços e pudéssemos concluir, quais características do local influenciam nos resultados.

Figura 6- Emissão de radônio em solos em Presidente Prudente – SP.



Fonte: Adaptado de Machado, Vagner Souza (2009)

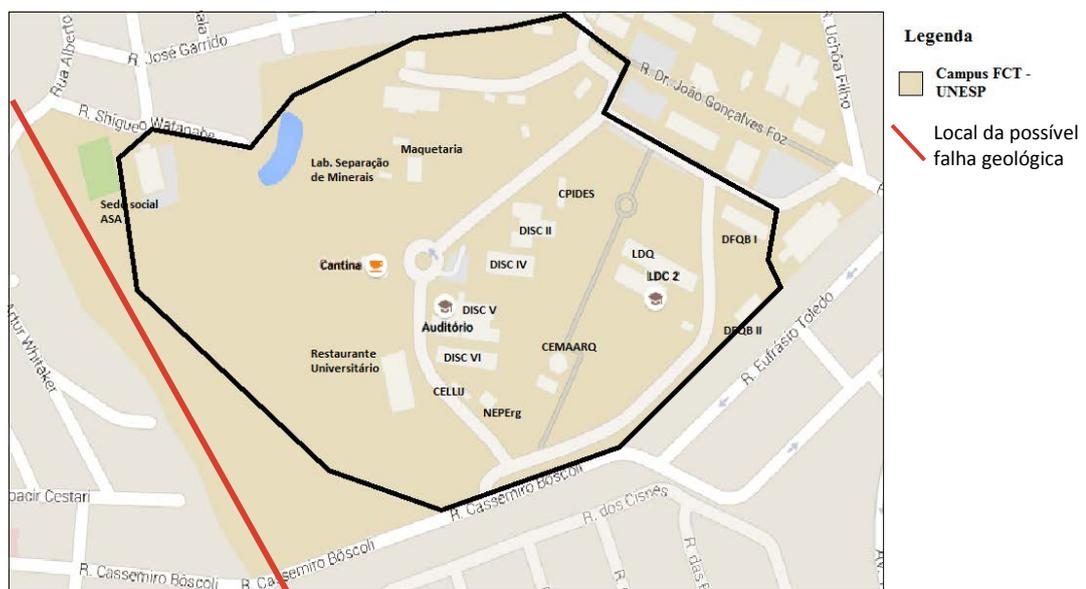
Figura 7- Localização da área de estudo com as possíveis falhas geológicas.



Fonte: Adaptado Silva-Junior, 2015.

Figura 8- Croqui área de exposição no Campus FCT - UNESP, Presidente Prudente SP.

Área com zoom do retângulo destacado da Figura 6.



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2017.

Foi realizada a montagem dos detectores. Estes ficaram colados com fitas dupla-face em retângulos de acrílico, e os retângulos foram grudados na parede. Para isso utilizamos régua, que foram cortadas e enumeradas facilitando o controle. Conforme ilustração da Figura 9, escolheu-se colocá-las em locais que, preferencialmente, ultrapassassem 2,5m de altura para evitar interferências na leitura, já que, por se tratarem muitas vezes de locais com ampla circulação de pessoas, como é o caso de salas de aulas, deixando à mostra as pessoas poderiam interferir e danificar o equipamento. Foram anotados aspectos que supõe-se que podem justificar diferenças nas leituras, como a presença ou não de reboco e revestimentos como piso, e o nível de ventilação ou circulação de ar no ambiente.

Figura 9- Montagem e exposição dos detectores.



Fonte: Acervo do autor, 2015.

Tabela 1- Caracterização dos locais de exposição dos detectores.

Local	Período de exposição	N° de controle	N° do detector	Dimensão do espaço	Altura de instalação	Características Gerais
Departamento da Física – DF / Departamento da Química e Biologia - DQB	02/10/15 – 08/06/16 8 meses	01	421	25m ²	2,80m	Laboratório no Departamento – Bancada granito, chão com piso. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		02	420	18m ²	3,50m	Sala de Ataque Químico – Bancada granito, chão com piso. Ventilação P* (1 ar condicionado).

		03	419	30m ²	3,00m	Laboratório de Bioquímica (Química dos carboidratos) – Bancada granito, metade da parede de azulejo. Ventilação P* (1 ar)
		04	418	35m ²	2,50m	Copa – Local mais aberto, bancada granito, metade parede azulejo. Ventilação M. Dimensão do espaço é aproximada.
Maquetaria	02/10/15 – 09/09/16 11 meses	05	447	140m ²	3,00m	Sala de aula – Mesas e lousa. Parede pintada sobre blocos de concreto, chão de cimento cru. Ventilação P* (2 ar condicionados).
		06	448	140m ²	3,00m	
		07	450	65m ²	2,80m	Sala práticas de marcenaria - Parede pintada sobre blocos de concreto, há alguns desenhos grafitados na parede, chão de cimento cru. Ventilação M (aberto).
		08	449	25m ²	2,80m	Sala menor – Material de madeira e isopor. Ventilação P
		09	452	70m ²	2,80m	Sala maior – Interligada por cima dividida por parede de compensado. Ventilação P* (2 ar condicionados).
		10	451	70m ²	2,80m	
Lab. Separação de minerais	02/10/15 – 26/02/16 4 meses	11	480	25m ²	3,00m	Sala de separação de minerais – Instalado grudado no vidro de uma das janelas. Chão coberto com piso,

						paredes com concreto sem pintura ou reboco, bancadas também de concreto sem cobertura, janelas em 3 lados da sala, porta de metal. Ventilação P.
		12	434	25m ²	3,00m	Sala de separação de minerais – Instalado em parede de madeira que divide as salas do laboratório. Ventilação P.
		13	435	12m ²	3,00m	Sala de separação magnética – Instalado em parede de madeira. Janelas em duas paredes, chão com piso. Ventilação P.
		14	436	12m ²	2,50m	Sala de separação química – Instalado em parede de madeira. Janelas em 3 lados da sala, pega Sol à tarde, bancada de granito. Ventilação P.
Restaurante Universitário - RU	02/10/15 – 07/12/16 14 meses	15	474	580m ²	3,00m	O espaço tem metade da parede pintada, metade com azulejo. Todos os detectores foram colocados próximos aos ar condicionados, na parte pintada da parede. Ventilação P* (6 ar condicionados)
		16	475	580m ²	3,00m	
		17	476	580m ²	3,00m	
		18	477	580m ²	3,00m	
		19	478	580m ²	3,00m	
		20	479	580m ²	3,00m	
Discente VI	01/10/15 – 06/12/16 14 meses	21	515	70m ²	2,70m	Sala 1 – Fundo da sala, parede com poucas rachaduras. Ventilação M/G
		22	514	70m ²	3,00m	Sala 1 – Instalação na lateral da sala,

						próximo à lousa. Ventilação M/G
		23	513	120m ²	2,80m	Sala 3 – Lado oposto à porta. Ventilação M/G. Essa classificação
		24	512	120m ²	2,80m	porquê 4 meses após instalação, foram colocados ar condicionados.
		25	511	85m ²	2,70m	Sala 4 – Fundo da sala, oposto à lousa e porta. Ventilação M/G. Isso
		26	510	85m ²	2,70m	porquê, após instalação, foram colocados ar condicionados.
		27	509	85m ²	2,70m	Sala 8 – Lateral da sala, oposto à porta. Ventilação M/G. Isso
		28	508	85m ²	2,70m	porquê, após instalação, foram colocados ar condicionados.
CPIDES	02/10/15 – 02/12/16 14 meses	29	486	16m ²	2,80m	Almoxarifado – Ventilação M (1 ar condicionado de alta potencia)
		30	483	35m ²	2,80m	Sala de computadores – Chão com piso, bancada de granito. Ventilação P* (2 ar condicionados)
		31	484	20m ²	2,80m	Sala de reunião e copa – 3 portas, armários com material didático. Ventilação P* (1 ar condicionado)
		32	485	20m ²	2,80m	Sala Multifuncional – Sala pouco utilizada, com livros e brinquedos. Ventilação M (ventilador de chão,

						ar não funciona há um tempo)
Laboratórios de Química - LDQ	02/10/15 – 26/07/16 9 meses	33	453	120m ²	3,00m	Sala 8.A – Instalado sobre uma lousa de giz. Bancada de granito, parede e piso com azulejo. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		34	454	6m ²	3,00m	Sala de ligação entre laboratórios 8/9– Piso e parede de azulejo, portas de ambos os lados, bancada de granito, com balanças. Ventilação P.
		35	455	120m ²	3,00m	Sala 9.A – Instalado sobre lousa de pincel. Bancada de granito, parede e piso com azulejo. Ventilação P* (1 ar condicionado).
	02/10/15 – 06/09/16 11 meses	36	456	40m ²	3,00m	Sala 10.A – Equipamentos. Chão e bancadas cobertas com material emborrachado. Pouca troca de ar, portas sempre fechadas. Ventilação P* (1 ar condicionado).
	02/10/15 – 26/07/16 9 meses	37	431	120m ²	3,00m	Sala 11.A – Ventilação P* (1 ar condicionado). Bancada de granito, parede e piso com azulejo.
		38	430	6m ²	3,00m	Sala de ligação entre laboratórios 11/12- Ventilação P. Piso e parede de azulejo, portas de

						ambos os lados, bancada de granito, com balanças.
		39	429	120m ²	3,00m	Sala 12.A - Bancada de granito, parede e piso com azulejo. Ventilação P* (1 ar condicionado).
Laboratórios de Computação - LDC 2	07/10/15 – 09/09/16 11 meses	40	428	32m ²	3,00m	Sala do encarregado pelos Laboratórios – Bancada de cimento esmaltado, chão com piso. Ventilação P* (1 ar condicionado)
	07/10/15 – 06/09/16 11 meses	41	427	70m ²	2,80m	Sala 7B (estatística) – Bancadas de madeira de compensado. Ventilação P* (2 ar condicionados).
		42	426	70m ²	2,80m	
		43	425	70m ²	2,80m	Sala 5B (ciência da computação) – Bancadas de madeira de compensado. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		44	424	70m ²	2,80m	
		45	423	70m ²	2,60m	
	46	422	70m ²	2,60m	Sala 8B (Matemática) – Ventilação P* (2 ar condicionados).	
Discente V	01/10/15 – 06/12/16 14 meses	47	496	200m ²	2,50m	Anfiteatro 5 – Fundo da sala. Ventilação P* (3 ar condicionados)
		48	497	200m ²	3,30m	Anfiteatro 5 - Frente da sala. Ventilação P* (3 ar condicionados)
		49	498	170m ²	2,50m	Sala de desenho - Fundo da sala. Ventilação M (6 ventiladores)

		50	499	170m ²	2,50m	Sala de desenho - Frente da sala. Ventilação M (6 ventiladores)
		51	500	200m ²	3,00m	Anfiteatro 4 - Lateral da sala. Ventilação P* (3 ar condicionados)
		52	501	200m ²	2,50m	Anfiteatro 4 - Fundo da sala. Ventilação P* (3 ar condicionados)
		53	502	100m ²	2,50m	Sala 2 – Laterais da sala. Ventilação G (6 ventiladores e 2 ar condicionados)
		54	504	100m ²	2,50m	
Auditório	02/10/15 – 06/12/16 14 meses	55	523	360m ²	3,00m	Chão de carpete. Parede com isolamento acústico e cadeiras de estofado. Ventilação P* (8 ar condicionado). Instalados nas laterais.
		56	522	360m ²	3,00m	
		57	495	360m ²	3,50m	Instalado na frente. Chão com tablado. Ventilação P*
Discente IV	01/10/15 – 06/12/16 14 meses	58	487	170m ²	3,00m	Anfiteatro 2 – Fundo da sala. Ventilação P*
		59	488	170m ²	3,00m	Anfiteatro 2 – Frente da sala. Ventilação P*
		60	489	100m ²	3,00m	Sala 2 – Lateral da sala. Ventilação G (6 ventiladores e 2 ar condicionados)
		61	490	100m ²	3,00m	Sala 2 - Fundo da sala. Ventilação G
		62	491	100m ²	2,80m	Sala 5 - Fundo da sala. Ventilação G (6 ventiladores e 2 ar condicionados)
		63	492	100m ²	3,00m	Sala 5 - Lateral da sala. Ventilação G
		64	494	100m ²	3,00m	Sala 3 - Lateral da sala. Ventilação G (6

						ventiladores e 2 ar condicionados)
		65	493	100m ²	2,80m	Sala 3 – Instalado no fundo da sala. Ventilação G
Discente II	01/10/15 – 06/12/16 14 meses	66	517	160m ²	3,00m	Sala de computadores – Frente da sala. Ventilação P
		67	518	160m ²	3,00m	Sala de computadores – Fundo da sala. Ventilação P
		68	519	30m ²	3,00m	Sala adjacente à sala de computadores – Fundo da sala. Ventilação P
		69	516	240m ²	2,50m	Sala de desenho – Frente da sala. Atrás da lousa há um vão de 1,5m de profundidade, sem tinta. Ventilação P
		70	520	240m ²	2,00m	Sala de desenho – Fundo da sala. Chão de cimento cru pintado de cinza. Ventilação P (4 ventiladores)
		71	521	240m ²	2,00m	
Cantina + xerox	02/10/15 – 06/12/16 14 meses	72	466	18m ²	2,00m	Xerox – Instalado perto do ar condicionado. Ventilação P*
		73	467	9m ²	2,00m	Almoxarifado da Xerox – Fundo da sala. Ventilação P*
	02/10/15 – 05/12/16 14 meses	74	468	8m ²	2,30m	Cantina - Perto do ventilador. Ventilação G. Local aberto nas laterais, porém coberto, com ampla ventilação e circulação de pessoas.
		75	469	8m ²	2,30m	Cantina – Acima do caixa. Ventilação G. Local aberto nas

						laterais, porém coberto, com ampla ventilação e circulação de pessoas.
ASA	07/10/15 – 06/12/16 14 meses	76	459	540m ²	2,50m	Há um salão com esteiras e equipamentos para exercícios aeróbicos, e outro com um tatame, separados por uma parede de compensado que não vai até o teto. Chão de mármore. Mais movimentado em dias de terça e quinta, quando são realizados projetos da Educação Física. Nesses dias há boa ventilação, devido ao uso dos 20 ventiladores, 6 portas e 5 janelas, garantindo ambiente arejado (Ventilação M). Porém, nos outros 5 dias da semana, os salões permanecem a maioria do tempo fechados (Ventilação P).
		77	461	540m ²	2,80m	
		78	457	540m ²	2,80m	
		79	458	540m ²	2,80m	
		80	462	540m ²	2,80m	
		81	464	540m ²	2,80m	
		82	463	540m ²	2,80m	
		83	460	540m ²	2,80m	
CELLIJ	02/10/15 – 05/12/16 14 meses	84	470	80m ²	3,50m	Biblioteca infantil – Sala bastante usada, com prateleiras de livros, chão de azulejo. Ventilação P* (1 ar condicionado)
		85	471	80m ²	3,50m	
		86	472	70m ²	3,50m	Sala de atendimento – Sala é aberta apenas uma vez por semana, com mesas, tapete emborrachado e
		87	473	70m ²	3,50m	

						computadores. Ventilação P* (2 ar)
CEMAARQ	02/10/15 – 06/09/16 11 meses	88	437	180m ²	2,50m	Museu – Instalações na parte da recepção às visitas, onde há peças que sofreram lascamento e as vestimentas indígenas. Parede com acabamento rústico, pintura sobre concreto. Ventilação P* (4 ar condicionados).
		89	438	180m ²	2,50m	Museu – Sala dos fósseis. Parte mais fechada. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		90	439	35m ²	2,30m	Secretaria – Instalada próximo à porta. Construída abaixo da caixa d'água. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		91	440	40m ²	2,30m	Sala dos encarregados pelo DFQB – Bancada de madeira. Ventilação P* (1 ar condicionado).
DF/DQB II	02/10/15 – 09/06/16 8 meses	92	441	9m ²	2,80m	Sala 9 – Bancada de madeira. Material didático, livros, papeis. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		93	442	13m ²	3,00m	Sala 1 – Bancada de cimento esmaltado, chão com piso. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		94	443	9m ²	2,80m	Sala 8 – Estufa com ventilação e ligação para o ambiente externo, bancada de
		95	444	15m ²	2,80m	

						cimento esmaltado coberta com material emborrachado. Ventilação P* (1 ar condicionado).
		96	445	7m ²	2,80m	Sala adjacente à sala 7 (de medição de raio X) – Bancada e armários de madeira. Ventilação P (ar quebrado, circulação somente pela porta)
		97	446	-	3,20m	Corredor do DFQB – Área aberta. Ventilação M, devido à maior troca de ar em comparação com as salas, apesar das portas do departamento ficarem quase sempre fechadas.
NEPErg	02/10/15 – 20/01/17 15 meses	98	465	55m ²	3,00m	Sala de exercícios – Lateral. Chão com tablado. Ventilação P* (1 ar)
		99	481	24m ²	3,00m	Sala de reunião – Acima da lousa. Ventilação P* (1 ar condicionado)
		100	482	18m ²	3,00m	Sala dos professores – Com computadores, mesas e armários. Ventilação P* (1 ar condicionado)

As exposições foram feitas nos dias 01, 02 e 07 de outubro de 2015. Com o intuito de que fossem computados os valores iniciais de traços aos quais os detectores CR-39 já haviam sido expostos, foi escolhido aleatoriamente um exemplar não utilizado, para servir de background. Este recebeu o ataque químico, conforme visto na ilustração da Figura 10,

no dia 08 de outubro de 2015. Sua numeração do detector é 417, e seguiu-se as determinações descritas anteriormente.

Figura 10- Ataque Químico.



Fonte: Acervo do autor, 2017.

A coleta dos detectores expostos deveria ocorrer ao findar de por volta de 5 meses. Portanto, optou-se por retirar primeiramente alguns detectores, realizar o ataque químico, e verificar se o prazo de 5 meses foi suficiente para obter resultados expressivos. Então, no dia 26 de fevereiro de 2016 foram retirados 4 detectores. Esses foram os expostos no Laboratório de Separação de Minerais, com numeração de 11 a 14. Porém, com os resultados optou-se por esperar por mais alguns meses devido à baixa concentração de traços nos detectores.

No caso do detector CR-39, a análise dos traços se fez de forma semiautomática, utilizando um sistema de análise de imagens, visto na Figura 11, composto por microscópio óptico Leica®, sob a lente objetiva em 20x, com aumento ocular de 10x, acoplado a uma câmera digitalizadora Leica DMC2900 de 3.1 megapixels, e um computador, onde os traços puderam ser contados e analisados. A contagem foi feita através do uso de software específico, LAStools, adquirido e disponibilizado pelo grupo DETRAN. Dos valores de traços encontrados no detector, foi subtraído o valor obtido na leitura do CR-39 atacado quimicamente que não foi exposto, o que foi usado como background, ou branco.

Figura 11- Sistema de microscopia utilizado para a contagem de traços nos detectores CR-39

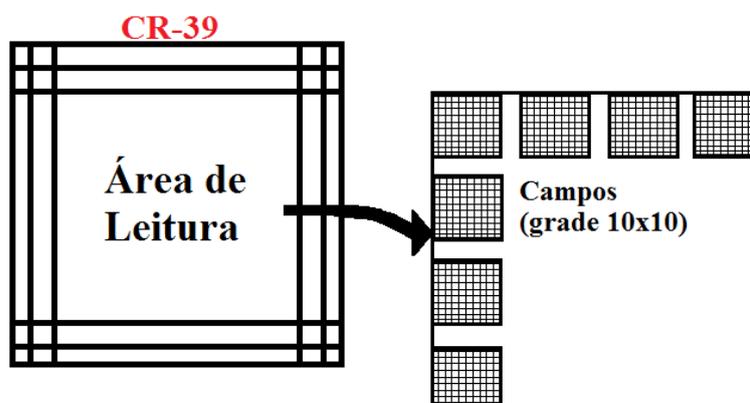


Fonte: Acervo do autor, 2017,

Após esperar para retirar os demais detectores, retirou-se mais 16, e foram feitas as leituras dos detectores. Não foi possível retirar todos devido à greve de estudantes, professores e funcionários na instituição, que durou por 3 meses e dificultou o acesso às instalações internas onde foram instalados os detectores. Nos meses posteriores à greve de 2016, retirou-se todos os demais que faltavam.

A contagem é feita considerando a área mais central do detector, desconsiderando as bordas (Figura 12).

Figura 12- Representação da área válida para contagem



Fonte: Autor, 2017.

Os cálculos realizados após contagem foram de densidade, atividade e seus respectivos desvios, conforme segue:

$$\text{(Equação 01)} \quad \rho = \frac{\sum \text{traços contados} - \sum \text{traços do background}}{\sum \text{campos contados} * \text{Área de cada campo}}$$

Sendo ρ : Densidade média de traços [traços/cm²]; Área de cada campo = 0,0747 * 0,0561 [cm²]; \sum traços do background = 303 [traços]

$$\text{(Equação 02)} \quad \sigma_{\rho\%} = \frac{1}{\sqrt{\sum \text{traços contados} - \sum \text{traços do background}}} * 100$$

Sendo $\sigma_{\rho\%}$: Desvio padrão do valor médio da densidade [%]

$$\text{(Equação 03)} \quad \sigma_{\rho} = \frac{1}{\sqrt{\sum \text{traços contados} - \sum \text{traços do background}}} * \rho$$

Sendo σ_{ρ} : Desvio padrão absoluto do valor médio da densidade [traços/cm²]

$$\text{(Equação 04)} \quad A = \frac{\rho * 10^6 (\text{conversão})}{T * x}$$

Sendo A: Atividade [Bq/m³]; T: Tempo de exposição [s]; x: Fator de eficiência (cte) = 0,16 ± 0,016 [cm]

$$\text{(Equação 5)} \quad \sigma_A = \frac{\sqrt{(\sigma_{\rho\%})^2 + (\sigma_{x\%})^2}}{100} * A$$

Sendo σ_A : Desvio padrão da Atividade [Bq/m³]; $\sigma_{x\%}$: Desvio padrão do Fator de eficiência (cte) = (0,016/0,16) * 100 = 10%

5- ANÁLISE DE DADOS

Os resultados obtidos de densidade de traços e estimativa da atividade foram:

Tabela 2- Análise dos detectores.

Local	Nº de controle	Nº do detector	Tempo de exposição (s × 10 ⁷)	Nº de traços	Traços/cm ² (10 ³)	Atividade (Bq/m ³)	Observações
Departamento da Física -DF / Departamento da Química e Biologia -DQB	01	421	2,16	1.506	3,12 ± 0,08	904,21 ± 93,37	
	02	420		3.491	7,12 ± 0,12	2.060,19 ± 208,95	
	03	419		2.482	5,06 ± 0,10	1.464,73 ± 149,39	
	04	418		868	1,81 ± 0,06	525,72 ± 55,52	
Maquetaria	05	447	2,96	1.511	3,08 ± 0,08	649,93 ± 67,11	
	06	448		1.528	3,12 ± 0,08	657,24 ± 67,84	
	07	450		1.310	2,67 ± 0,07	563,47 ± 58,46	
	08	449		468	1,77 ± 0,08	373,85 ± 41,19	
	09	452		772	2,92 ± 0,10	616,69 ± 65,54	
	10	451		823	3,12 ± 0,11	657,43 ± 69,62	
Lab. Separação de minerais	11	480	1,27	-	Erro	-	Erro causado por interferência humana, devido a reformas no ambiente onde estava instalado.
	12	434		147	0,29 ± 0,02	142,66 ± 18,49	
	13	435		200	0,38 ± 0,03	186,39 ± 22,83	
	14	436		157	0,35 ± 0,03	170,70 ± 21,84	
Restaurante Universitário - RU	15	474	3,73	635	2,52 ± 0,10	422,88 ± 45,50	
	16	475		557	2,21 ± 0,09	370,94 ± 40,29	
	17	476		523	2,08 ± 0,09	348,30 ± 38,01	
	18	477		1.917	7,62 ± 0,17	1.276,64 ± 130,95	
	19	478		550	2,19 ± 0,09	366,28 ± 39,82	
	20	479		420	1,67 ± 0,08	279,70 ± 31,12	
Discente VI	21	515	3,73	2.107	8,38 ± 0,20	1.403,18 ± 143,61	
	22	514		1.071	4,73 ± 0,14	792,49 ± 82,87	
	23	513		1.629	7,20 ± 0,18	1.205,39 ± 124,18	
	24	512		1.353	5,98 ± 0,16	1.001,16 ± 103,75	
	25	511		1.260	5,57 ± 0,16	932,34 ± 96,86	

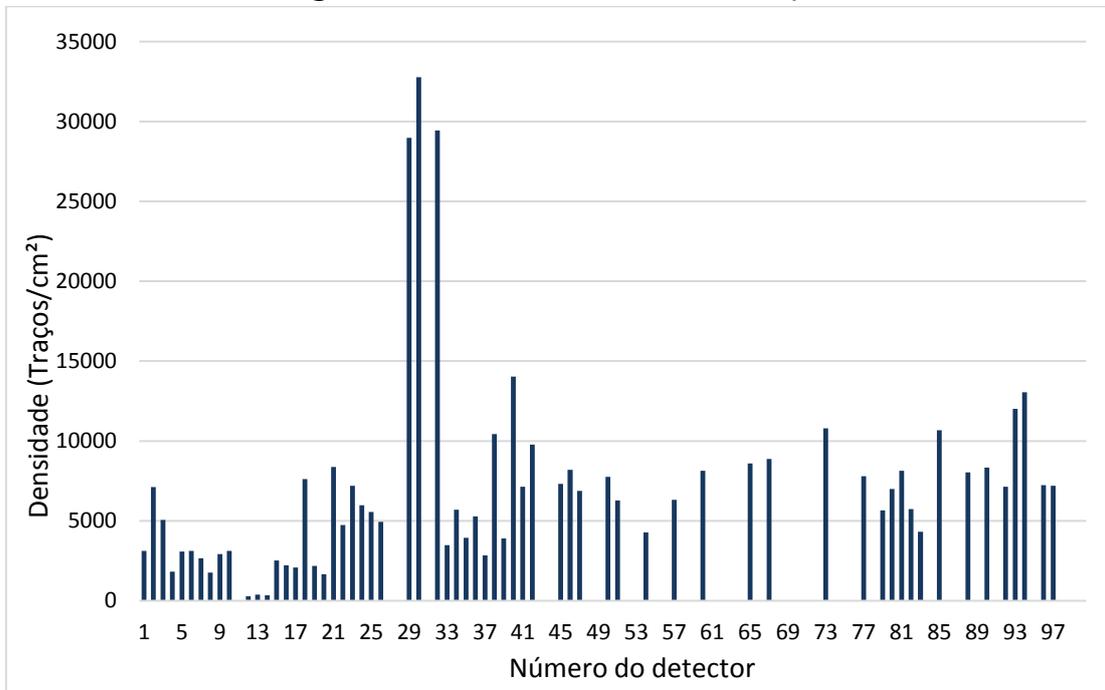
	26	510		1.120	4,95 ± 0,15	828,75 ± 86,50	
	27	509		-	-	-	Não foi contado.
	28	508	-	-	Erro	-	O erro causado por interferência humana, o detector foi retirado do local sem a supervisão de alguém do grupo DETRAN.
CPIDES	29	486	3,69	14.210	28,98 ± 0,24	4.909,79 ± 492,70	
	30	483		6.866	32,77 ± 0,39	5.551,22 ± 559,15	
	31	484		-	-	-	Não foi contado.
	32	485		6.166	29,43 ± 0,37	4.985,27 ± 502,55	
Laboratórios de Química - LDQ	33	453	2,57	1.706	3,48 ± 0,06	844,62 ± 86,90	
	34	454		2.799	5,71 ± 0,07	1.385,75 ± 141,03	
	35	455		1.934	3,94 ± 0,06	957,50 ± 98,19	
	36	456	2,94	2.585	5,27 ± 0,07	1.121,70 ± 114,32	
	37	431	2,57	1.389	2,83 ± 0,05	687,67 ± 71,20	
	38	430		5.114	10,43 ± 0,10	2.531,87 ± 255,65	
	39	429		1.915	3,90 ± 0,06	948,09 ± 97,25	
Laboratórios de Computação - LDC 2	40	428	2,92	3.706	14,04 ± 0,23	3.004,21 ± 304,45	
	41	427	2,89	3.496	7,13 ± 0,12	1.539,66 ± 156,15	
	42	426		4.791	9,77 ± 0,14	2.109,98 ± 213,19	
	43	425	-	-	Erro	-	O erro causado por interferência humana, o detector foi retirado do local sem a supervisão de alguém do grupo DETRAN.
	44	424		-			
	45	423	2,89	3.584	7,31 ± 0,12	1.578,41 ± 160,03	
	46	422		4.015	8,19 ± 0,13	1.768,23 ± 179,01	
Discente V	47	496	3,73	1.731	6,88 ± 0,16	1.152,78 ± 118,56	
	48	497		-	-	-	Não foi contado.
	49	498	-	-	Erro	-	O erro causado por interferência humana, o

							detector foi retirado do local sem a supervisão de alguém do grupo DETRAN.
	50	499	3,73	1.949	$7,75 \pm 0,17$	$1.297,96 \pm 133,08$	
	51	500		1.578	$6,28 \pm 0,16$	$1.050,88 \pm 108,37$	
	52	501		-	-	-	Não foi contado.
	53	502		-	-	-	Não foi contado.
	54	504		897	$4,28 \pm 0,14$	$716,84 \pm 75,57$	
Auditório	55	523	3,72	-	-	-	Não foi contado.
	56	522		-	-	-	Não foi contado.
	57	495		1.322	$6,31 \pm 0,17$	$1.058,93 \pm 109,82$	
Discente IV	58	487	3,73	-	-	-	Não foi contado.
	59	488		-	-	-	Não foi contado.
	60	489		1.706	$8,14 \pm 0,20$	$1.363,35 \pm 140,27$	
	61	490		-	-	-	Não foi contado.
	62	491		-	-	-	Não foi contado.
	63	492		-	-	-	Não foi contado.
	64	494		-	-	-	Não foi contado.
	65	493	1.802	$8,60 \pm 0,20$	$1.440,07 \pm 147,95$		
Discente II	66	517	3,73	-	Erro	-	O erro causado por interferência humana, o detector foi encontrado coberto por tinta, devido a reformas no ambiente que foi instalado.
	67	518		1;860	$8,88 \pm 0,21$	$1.486,42 \pm 152,59$	
	68	519		-	-	-	Não foi contado.
	69	516		-	-	-	Não foi contado.
	70	520		-	-	-	Não foi contado.
	71	521		-	-	-	Não foi contado.
Cantina + xerox	72	466	3,72	-	-	-	Não foi contado.
	73	467		2.263	$10,80 \pm 0,23$	$1.812,68 \pm 185,23$	
	74	468	3,71	-	-	-	Não foi contado.
	75	469		-	-	-	Não foi contado.

ASA	76	459	3,68	-	-	-	Não foi contado.
	77	461		1.633	$7,79 \pm 0,19$	$1.323,39 \pm 136,33$	
	78	457		-	-	-	Não foi contado.
	79	458		1.185	$5,65 \pm 0,16$	$960,33 \pm 100,00$	
	80	462		1.582	$6,99 \pm 0,18$	$1.187,10 \pm 122,40$	
	81	464		1.704	$8,13 \pm 0,20$	$1.380,93 \pm 142,09$	
	82	463		1.203	$5,74 \pm 0,16$	$974,92 \pm 101,46$	
	83	460		904	$4,31 \pm 0,14$	$732,61 \pm 77,21$	
CELLIJ	84	470	3,71	-	-	-	Não foi contado.
	85	471		2.237	$10,68 \pm 0,23$	$1.796,02 \pm 183,57$	
	86	472		-	-	-	Não foi contado.
	87	473		-	-	-	Não foi contado.
CEMAARQ	88	437	2,94	3.936	$8,03 \pm 0,13$	$1.707,94 \pm 172,95$	
	89	438		-	-	-	Não foi contado.
	90	439		4.090	$8,34 \pm 0,13$	$1.774,77 \pm 179,63$	
	91	440		-	Erro	-	O erro causado por falha durante a etapa de ataque químico, o detector foi sub-atacado.
DF/DQB II	92	441	2,17	3.495	$7,13 \pm 0,12$	$2.054,33 \pm 208,35$	
	93	442		5.433	$12,00 \pm 0,16$	$3.459,59 \pm 349,13$	
	94	443		5.903	$13,04 \pm 0,17$	$3.758,88 \pm 379,06$	
	95	444	-	-	Erro	-	O erro causado por interferência humana, o detector foi retirado do local sem a supervisão de alguém do grupo DETRAN.
	96	445	2,17	3.552	$7,24 \pm 0,12$	$2.087,84 \pm 211,70$	
	97	446		3.524	$7,19 \pm 0,12$	$2.071,38 \pm 210,06$	
NEPErg	98	465	4,11	-	-	-	Não foi contado.
	99	481		-	-	-	Não foi contado.
	100	482		-	-	-	Não foi contado.

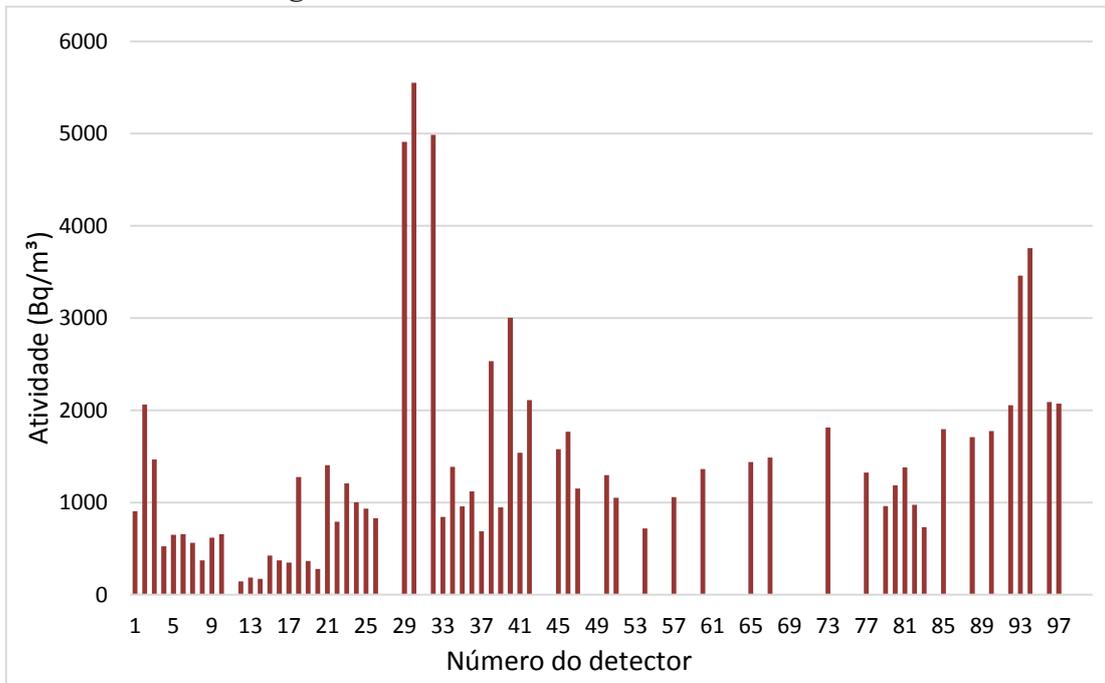
Analisando os resultados obtidos, pôde-se observar que há resultados com maior e menor expressividade de densidade de traços e estimativa da atividade.

Figura 13- Gráfico de densidade de traços.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 14- Gráfico de estimativa de atividade.



Fonte: Autor, 2017.

Para fins visuais, pode-se analisar os gráficos das figuras 13 e 14 percebendo que há variações mais sutis nos resultados, e alguns picos. Os 20 detectores com maiores valores de estimativa de atividade estão em ordem decrescente abaixo, e na figura 15 pode-se observar a localização onde foram expostos:

Tabela 3- Resultado da estimativa de Atividade de 20 detectores em ordem decrescente.

Ordem	Nº de controle	Atividade (Bq/m ³)	Ordem	Nº de controle	Atividade (Bq/m ³)
1	30	5551,22	11	2	2060,19
2	32	4985,27	12	92	2054,33
3	29	4909,79	13	73	1812,68
4	94	3758,88	14	85	1796,02
5	93	3459,59	15	90	1774,77
6	40	3004,21	16	46	1768,23
7	38	2531,87	17	88	1707,94
8	42	2109,98	18	45	1578,41
9	96	2087,84	19	41	1539,66
10	97	2071,38	20	67	1486,42

Figura 15- Locais com maiores valores estimados de Atividade (Bq/m³).



Fonte: Adaptado de Google Earth

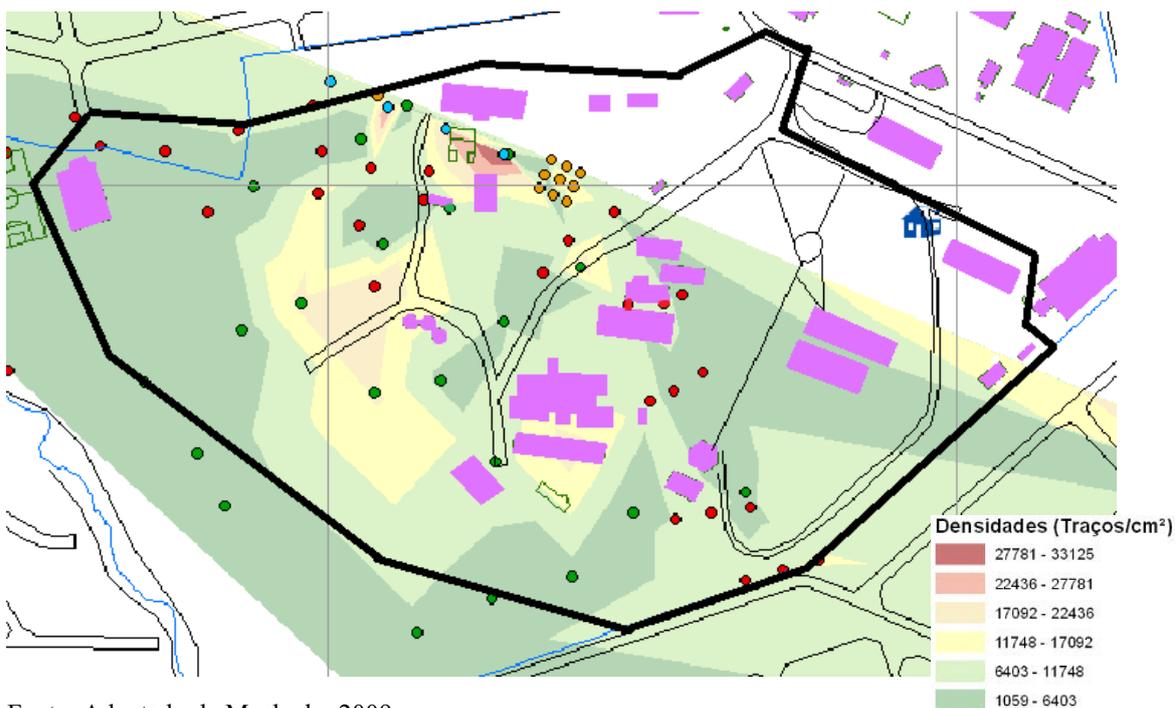
Abaixo, na Figura 16, estão marcados os locais onde foram expostos os 10 detectores com maiores e os 10 com menores resultados.

Figura 16- Locais com maiores e menores valores estimados de Atividade (Bq/m^3).



Fonte: Adaptado de Google Earth

Figura 17- Locais com maiores resultados de emissão de Radônio em solo.



Fonte: Adaptado de Machado, 2009.

De acordo com dados anteriores de emissão de radônio em solo (Figura 17), obtidos nessa mesma área analisada, percebe-se que as áreas com maior atividade estão próximas à maquetaria e ao laboratório de separação de minerais, bem como à cantina, ao CELLIJ, Discente V, Departamento de Física II (DF II). Porém, os dados de emissão no ar mostram áreas diferentes com expressiva atividade, tendo somente o DF II coincidido.

Entretanto, apesar das áreas com maiores e menores concentrações não coincidirem, todos os resultados de atividade em ar obtidos estão elevados, mesmo em prédios com menores índices. Percebe-se também que em um mesmo prédio, detectores expostos por um mesmo período de tempo apresentam leituras bem diferentes, e alguns fatores podem ser a causa dos resultados divergentes. Analisando a tabela de caracterização dos locais de instalação, vê-se que em pontos mais arejados houve menor deposição do Radônio e filhos no ambiente, e, portanto, menor leitura de densidade de traços. Onde havia bancadas de concreto ao invés de moveis de madeira, e onde houve algum tipo de reforma, a leitura foi maior, sinalizando maior concentração de Radônio e filhos no ambiente.

Realizando análise quantitativa dos resultados, observa-se que foram contados todos os traços obtidos no detector. Isso significa que obtivemos o pior cenário, considerando fator de equilíbrio entre Radônio e filhos igual a um. Um cenário mais próximo do real seria considerar esse fator igual a 0,3. Ou seja, seguindo a metodologia de De Paulo (1991) e contando apenas 30% dos traços, sendo esses os redondos. Nesse caso, teríamos valores de atividade de Radônio no ambiente (Tabela 4).

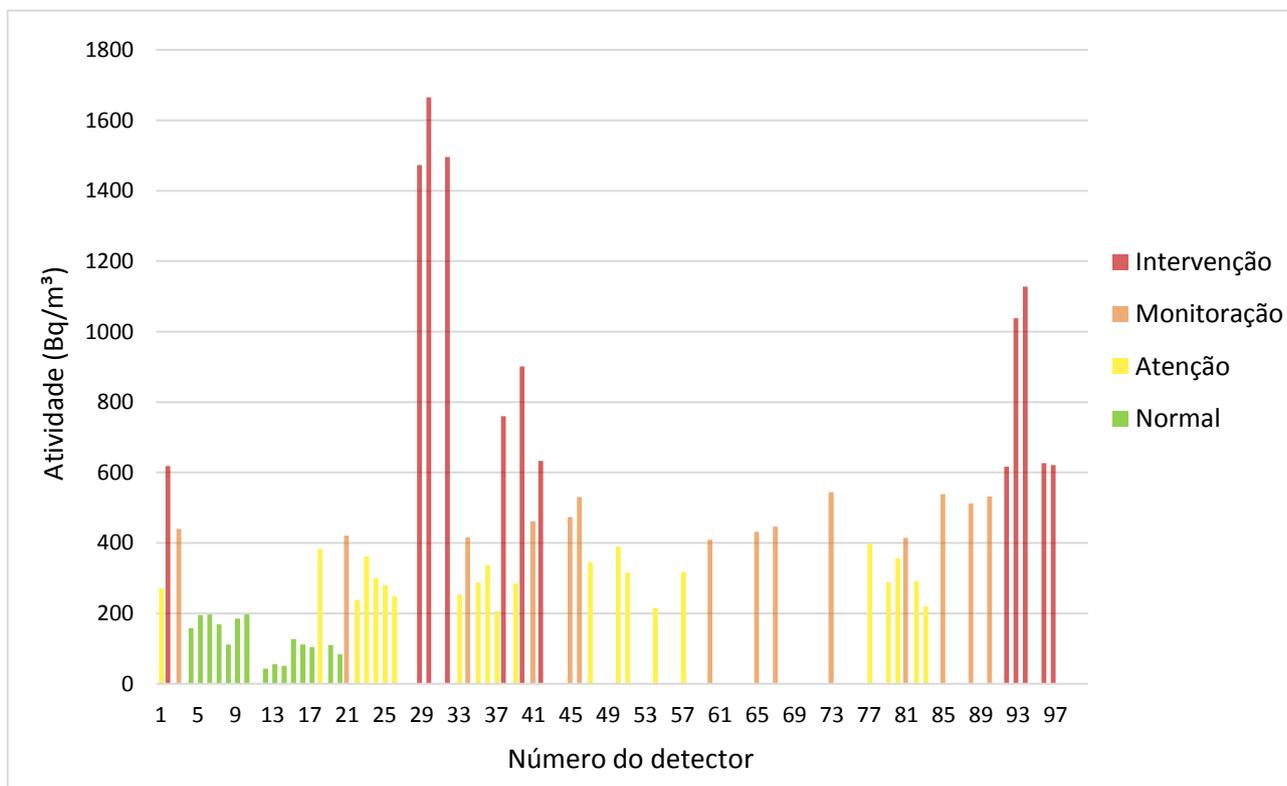
Tabela 4- Resultado da estimativa de Atividade de Radônio em ordem decrescente

Nº de controle	Atividade (Bq/m ³)	Nº de controle	Atividade (Bq/m ³)	Nº de controle	Atividade (Bq/m ³)	Nº de controle	Atividade (Bq/m ³)
30	1665,37	88	512,38	36	336,51	10	197,23
32	1495,58	45	473,52	57	317,68	6	197,17
29	1472,94	41	461,90	51	315,27	5	194,98
94	1127,66	67	445,93	24	300,35	9	185,01
93	1037,88	3	439,42	82	292,48	7	169,04
40	901,26	65	432,02	79	288,10	4	157,72
38	759,56	21	420,95	35	287,25	15	126,87
42	632,99	34	415,72	39	284,43	8	112,15

96	626,35	81	414,28	25	279,70	16	111,28
97	621,41	60	409,01	1	271,26	19	109,88
2	618,06	77	397,02	33	253,39	17	104,49
92	616,30	50	389,39	26	248,62	20	83,91
73	543,80	18	382,99	22	237,75	13	55,92
85	538,80	23	361,62	83	219,78	14	51,21
90	532,43	80	356,13	54	215,05	12	42,80
46	530,47	47	345,83	37	206,30	Média = 422,74	

Legenda: Segundo os limites estabelecidos pela UNSCEAR (2000) e o ICRP (1993), considera-se de 0 a 200 (normal) - verde, 200 a 400 (atenção) - amarelo, 400 a 600 (monitoração continuada com ações mitigadoras) - bege, acima de 600 (intervenção para ação mitigadora) - magenta. Esses intervalos estão demonstrados através de cores na tabela 4 e no Gráfico da Figura 18.

Figura 18- Gráfico com Resultado de Estimativa de Atividade em intervalos



Fonte: Autor, 2017.

6- CONCLUSÃO

De acordo com o observado durante desenvolvimento do trabalho, pode-se dizer que a metodologia adotada para realização do ataque químico foi satisfatória, resultando na obtenção de traços visíveis e fáceis de contar, garantindo mínimos erros e perda de dados. Sobre a montagem, também se obteve bons resultados com a utilização de placas de acrílico e fitas dupla-face, sendo que houve poucas perdas de detectores por interferência externa, e menores ainda por falhas no método.

No entanto, imprevistos e atrasos ocorreram devido à greve e à decisão, que se fez necessária, de estender o período de exposição dos detectores, objetivando a leitura de dados mais significativos, pois percebeu-se que, com o ataque químico dos detectores iniciais que foram retirados como teste, a quantidade de traços estava abaixo do esperado. Supõe-se que isso ocorra pela diferença de comportamento de partículas alfa em ar em relação ao solo, o que pode ter aumentado expectativas ao comparar com resultados de trabalhos anteriores envolvendo solo. É possível que possa ser descartado o fator distância entre a sala e a falha geológica.

Os dados de leitura sugerem que alguns fatores que possivelmente influenciam a densidade de traços são: a localização do prédio, a ventilação, a atividade realizada no local. Salas também que receberam algum tipo de obra apresentaram resultados que confirmam a influência dos materiais de construção na atividade do radônio. Portanto, a atividade humana é um fator que contribui com as diferenças nos resultados.

É possível que tenha relação também com fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, pois, apesar de divergências entre os resultados em solo e ar, a estimativa da atividade apresentou valores altos, o que pode ser ocasionado pela proximidade às duas possíveis falhas geológicas presentes na região de estudo.

Pode-se então concluir que os valores elevados no geral foram ocasionados pela proximidade à falha geológica, combinada a outros fatores físicos, como geologia, geomorfologia e pedologia. E as diferenças entre os resultados de cada prédio foram ocasionadas pela interferência humana, através de reformas, circulação de ar ou ventilação, condições da sala quanto a acabamentos.

Considerando os valores de atividade de Radônio obtidos, e comparando com os limites em ambientes de convívio humano, propostos pela UNSCEAR (2000) e ICRP (1993), nos lugares mostrados em azul na figura 16 obtiveram-se valores considerados

normais, sendo o ambiente com menor resultado o Laboratório de Separação de Minerais (podemos considerar como fator que explique a baixa atividade de radônio a excelente ventilação que há neste ambiente). Os lugares em vermelho na figura 16 são os que apresentaram maior atividade, isto pode ser devido ao efeito de plate-out. Este efeito é facilitado pela pouca ventilação. Para verificarmos isto, serão feitas novas monitorações da atividade de radônio nestes ambientes.

Entretanto, a maior parte dos ambientes de convívio estudados se encontram dentro das normas estabelecidas pela UNSCEAR (2000) e o ICRP (1993). Porém, as normas variam dependendo do país, sendo esses limites os americanos. Em países como Suécia, República Tcheca, Noruega e Finlândia, os índices médios de Radônio em ambientes de convívio humano são naturalmente maiores, isso porque o frio facilita a concentração do gás, especialmente em ambientes aquecidos artificialmente, já que ficam fechados. Por isso, as políticas de proteção contra o Radônio são mais brandas.

Ou seja, pode-se considerar que a área estudada no geral está enquadrada no nível de baixo-risco de exposição ao Radônio, porém há contradições quanto a dose ou exposição consideradas seguras pela comunidade científica, e a uma correlação linear entre atividade e risco de contrair câncer de pulmão a partir de exposição diária a doses altas de Radônio.

7- REFERÊNCIAS

- ANJOS, R. M. et al. Radioecology teaching evaluation of the background radiation levels from areas with high concentrations of radionuclides in soil. *European Journal of Physics*, v. 25, p. 133-144, 2004.
- AZEVEDO, L. R. P. D. et al. Correlation between radon gas emanation and porosity in ornamental stones. *Revista de Geologia, Brazil*, v. 27, n. 1, p. 77-93, 2014.
- BALCAZAR, M. et al. Geothermal-energy prospecting in El-Salvador. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, v.22, n.1-4, p.273-276, 1993.
- BOCHICCHIO, F.; VENUTI, G. C.; NUCCETELLI, C.; PIERMATTER, S.; RISICA, S.; TOMMASINO, L.; TORRES, G. *Health Phys.* 741-748. 1996.
- BORSATO, N. G. M. Identificação e quantificação de bismuto total em amostras de solo em regiões de falhas geológicas por análise eletroquímica. Tese submetida a Universidade Estadual Paulista – UNESP, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Me. Em Química, São José do Rio Preto, BRASIL, 2017.
- BRITO, A. S. Medição de concentrações de Radônio em ambientes da região metropolitana de Salvador, BA. Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2013.
- CARIDI, F. et al. Radon radioactivity in groundwater from the Calabria region, south of Italy. *Journal of Instrumentation*, v. 11, 2016.
- COHEN, B. L. Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Phys.* 157-174. 1995.
- CURIE, M. Pierre Curie: With Autobiographical Notes by Marie Curie. New York: Minoela, 1963. ISBN 978-0-486-20199-3.
- DE PAULO, S. R. Dosimetria ambiental de Rn-222 e filhos: Medida da eficiência absoluta do CR-39 levando-se em conta os efeitos do plate-out e fatores ambientais, Ph. D. tesis, UNICAMP, Campinas, S.P., BRASIL, 1991.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Assessment of Radon in Homes. Washington, 2003.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Radon (Rn). Disponível em: <http://www.epa.gov/radon/>. Acessado em dezembro, 2017

FLEISCHER, R. L.; TURNER, L. G.; GEORGE A. C. Passive measurements of working levels and effective diffusion constants of radon daughters by the nuclear track technique. *Health Phys*, 9-19. 1984.

FERREIRA, A. O. Avaliação da radioatividade natural em algumas rochas graníticas do estado do Paraná e sua utilização na construção civil. 2013. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, Araraquara.

FUSHIMI, M. et al. Mapeamento Geomorfológico do município de Presidente Prudente – SP. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências e Tecnologias de Presidente Prudente – SP, 2009.

HADLER, N. J. C.; PAULO, S. R. Indoor radon daughters contamination monitoring: The absolute efficiency of CR-39 taking into account the plate-out effect and environmental conditions. *Radiat. Protect. Dosim.* 283-296. 1994.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, Presidente Prudente. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>>. Acesso em dezembro, 2017.

ICRP, International Commission Radiation Protection. Protection Against 222-Rn at Home and at work. 1993.

IPEN, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. BELLINTANI, S. A.; GILI, F. N. - Noções Básicas de Proteção Radiológica, Apostila do IPEN - 2002.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado De São Paulo. Mapa geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000. São Paulo: IPT, vol. I, 1981, p. 46-8; 69 (Publicação IPT 1184).

KNUTSON, E. O. Modeling Indoor Concentrations of Radon's Decay Products. Radon and its decay products in indoor air (eds. Nazaroff, W. W. and Nero Jr. A. V.), p. 161-202, John Wiley & Sons, New York. 1988.

- JONASSEN, N.; MCLAUGHLIN, J. P. Removal of Radon and Radon Progeny from indoor air. Radon and its decay products in indoor air (eds. Nazaroff W. W. and Nero Jr. A. V.), p. 435-458, John Wiley & Sons, New York. 1988.
- KOLINGER, G. D. Fusão completa e incompleta de núcleos fracamente ligados. 2015. Dissertação de Mestrado Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- LIMA, R. A. Avaliação da Dose na População da Região Urano-Fosfática do Nordeste que Utiliza os Recursos Hídricos da Região. 1996. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, USP, São Paulo.
- LIMA, R. A.; PECEQUILO, B. R. S. Risco da ingestão de ^{222}Rn pelo consumo de água da região fosfática do nordeste do Brasil, ral@npd.ufpe.br, 4th Meeting on Nuclear Applications, Minas Gerais, BRASIL, August 18-22, 1997.
- MACHADO, V. S. Estudo da emissão de Radônio em solos: localização de falhas geológicas na cidade de Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. 2009. Relatório científico final referente a Projeto de Iniciação Científica, Universidade Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente.
- MCLAUGHLIN, J. P. Aspects of radon and its decay products in indoor air. Int. Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection, Environmental Radioactivity and Earth Sciences (eds. Tommasino L. et al.), p. 51-69, World Scientific Publishing Co., Singapore. 1990.
- MCLAUGHLIN, J. P.; FITZGERALD, B. Models for determining the response of passive alpha particle detectors to radon and its progeny in cylindrical detecting volumes. Radiat. Protect. Dosim. 241-246. 1994.
- MOURA, C. L. Radioatividade natural e emissão de Rn-222 em rochas ornamentais provenientes de diferentes séries magmáticas. 2005. Geologia Regional, Universidade Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro.
- NAZAROFF, W. W.; NERO, A. V. Radon and its decay products in indoor air, A Wiley Interscience Publication, New York, USA, 1990.

NAZAROFF, W. W.; DOYLE, S. M.; NERO, A. V.; SEXTRO, R. G., Radon Entry via Potable Water, Indoor Environment Program, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, California, 1990.

NUNES, J. O. R. Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2002. 211 p. Tese (Doutorado em Geografia com ênfase em Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

NUNES, J.O.R. FREIRE, R. PERES, I. U. Mapa geomorfológico do perímetro urbano da cidade de Presidente Prudente. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia e Regional Conference on Geomorphology, Goiânia, 2006. Anais...CDROM.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Manual de la OMS sobre el radón en interiores. Una perspectiva de salud pública. Disponível em:

<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/161913/1/9789243547671_spa.pdf?ua=1&ua=1>
. Acesso em dezembro, 2017.

PETTA, R.A.; CAMPOS, T. F. C. O gás Radônio e suas implicações para a saúde pública. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal. Revista de Geologia, Vol. 26, nº 2, 7 - 18, 2013.

RAFIQUE, M.; JABEEN, S.; SHAHZAD, M. I. General Public's and Physicians' Perception of Health Risk Associated with Radon Exposure in the State of Azad Jammu and Kashmir. Public Health Nursing, 327–335. 2008.

RAFIQUE, M.; RAHMAN, S. U.; MAHMOOD, T.; RAHMAN, S.; MATIULLAH, REHMAN, S. U. Radon exhalation rate from soil, sand, bricks, and sedimentary samples collected from Azad Kashmir, Pakistan. Russian Geology and Geophysics, 450–457. 2009.

ROSS, J. L. S & MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.10, p.41- 56, 1996.

SAKODA, A.; ISHIMORI, Y.; YAMAOKA, K. A comprehensive review of radon emanation measurements for mineral, rock, soil, mill tailing and fly ash. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 69, n. 10, p. 1422-1435, 2011.

SILVA-JÚNIOR, M. R. M.; SÁENZ, C. A. T.; NUNES, J. O. R.; TEIXEIRA, M. F. S. Quantificação de Chumbo em Solos: Um Estudo Comparativo entre Áreas de Falha Geológica e Áreas Rurais na Cidade de Presidente Prudente/SP. 2012. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente. Publicado em *Colloquium Exactarum*, v. 6, n.3, Set-Out. 2014, p.54 – 71.

SILVA-JÚNIOR, M. R. M. Determinação de Chumbo em Regiões de Falhas Geológicas com Emissão de Radônios e Filhos de Radônio no Município de Presidente Prudente por Análise Voltamétrica de Pulso Diferencial por Redissolução Anódica. 2015. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto.

UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. REPORT TO THE GENERAL ASSEMBLY, W. S. A. New York: United Nations Sales Publication. II 2000.

XIAOFENGA, H.; GUOSHENGA, W. Surface Radon Exhalation Rates of Building Material and Soil affect on Indoor Air Radon Concentration. *Procedia Engineering*, 122 – 127. 2011.

ZÚÑIGA, G. A. R. Caracterização do CR-39 como espectrômetro alfa, Tese submetida ao Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Dr. Em Ciências, Campinas, BRASIL, 1998.