



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

**FATORES DE INFLUÊNCIA NAS CONCENTRAÇÕES DE RADÔNIO 222 NO
AR DO MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB**

MATHEUS HELENO VANDERLEI GRISMINO

CAMPINA GRANDE – PB
NOVEMBRO / 2019

Matheus Heleno Vanderlei Grismino

**FATORES DE INFLUÊNCIA NAS CONCENTRAÇÕES DE RADÔNIO 222 NO AR DO
MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande como
um dos pré-requisitos para a graduação no curso de
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa

CAMPINA GRANDE – PB
NOVEMBRO / 2019

G869f

Grismino, Matheus Heleno Vanderlei.

Fatores de influência nas concentrações de radônio 222 no ar do município de Picuí-PB / Matheus Heleno Vanderlei Grismino. – Campina Grande, 2019.

59 f. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Profa. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa".

Referências.

1. Radiação. 2. Urânio. 3. Radiação Ionizante. 4. Ambientes Internos. 5. Radiação Natural. I. Feitosa, Patrícia Hermínio Cunha. II. Título.

CDU 551.521(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MATHEUS HELENO VANDERLEI GRISMINO

FATORES DE INFLUÊNCIA NAS CONCENTRAÇÕES DE RADÔNIO 222 NO AR DO MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande como
um dos pré-requisitos para a graduação no curso de
Engenharia Civil.

Aprovado em: _____ de _____ de 2019

Banca Examinadora

Profª. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa
(Orientadora – Universidade Federal de Campina Grande)

Ms. Rayssa de Lourdes Carvalho do Rêgo Catão
(Coorientadora – Universidade Federal de Campina Grande)

Profª. Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues
(Examinadora Interna – Universidade Federal de Campina Grande)

Ms. Elis Gean Rocha
(Examinadora Externa – Universidade Federal de Campina Grande)

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho não seria possível sem a ajuda de pessoas que contribuíram para a sua realização. Por isso expresso meus sinceros agradecimentos.

A Deus, por todo seu amor e graça derramados sobre mim, sem os quais eu nada seria. A Ele toda a glória.

Aos meus pais, Gilmar Grismino e Rosana Vanderlei, por todo o apoio e cuidado oferecido durante todo o período de graduação.

A toda minha família, pelo incentivo prestado.

A minha orientadora, professora Patrícia Hermínio, pela sua disponibilidade e auxílio prestado semanalmente no desenvolvimento deste trabalho.

A minha coorientadora, Rayssa Carvalho, que foi de fundamental importância em todo esse processo.

A equipe da Secretaria de Saúde de Picuí, que nos auxiliou com tanta eficiência na realização deste trabalho.

A todos os meus companheiros de curso que tanto me ajudaram a superar as dificuldades que surgiram durante esses 5 anos.

A UFCG, instituição que me promoveu a formação de Engenheiro Civil. A todos os professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos transmitidos.

A todos que de forma direta e indireta me permitiram chegar até aqui, muito obrigado.

RESUMO

Os seres humanos estão frequentemente expostos a fontes naturais de radiação, sendo a principal delas o radônio 222. O elemento radioativo radônio 222 é um gás com tempo de meia vida de 3,82 dias, decorrente do decaimento do urânio 238. O mesmo é responsável por uma grande parte da radiação ionizante recebida pela população, podendo induzir ao aparecimento do câncer de pulmão e estômago, entre outros. O objetivo deste estudo é avaliar os fatores de influência nas concentrações de radônio 222 no ar do município de Picuí-PB. Foram avaliadas as concentrações de radônio 222 em 13 residências próximas a um açude no bairro JK, tendo sido avaliados em cada unidade habitacional dois ambientes, quarto e banheiro. As medições de concentrações de radônio 222 foram realizadas por agentes de saúde do município através do equipamento Corentium Home Radon Detector. Para o estudo estatístico foi utilizado o software XLSTAT para avaliar se houve correlação entre as concentrações de radônio 222 e os parâmetros analisados. Todas as concentrações de radônio 222 obtidas ficaram abaixo do padrão estabelecido pela OMS, de 100 Bq/m³. Nos quartos a concentração média foi de 14,54±11,9 Bq/m³, maior que a concentração média obtida nos banheiros, que foi de 10,25±8,84 Bq/m³. Foi verificado que não existe influência do açude nas concentrações de radônio 222. Há uma influência considerável da origem da água apenas nos resultados de concentrações dos banheiros. Em relação a temperatura, não houve influência da mesma nas concentrações de radônio 222.

Palavras-chave: urânio, radiação ionizante, ambientes internos, radiação natural

ABSTRACT

Humans are often exposed to natural sources of radiation, the main one being radon 222. Radon 222 is a gas with half-life time of 3.82 days due to decay of uranium 238. It is responsible for a large part of the ionizing radiation received by the population which may induce the appearance of lung and stomach cancer, among others. The objective of this work is to evaluate the influence factors on air radon 222 concentration in the city of Picuí-PB. Radon 222 concentrations were evaluated in 13 homes near a dam in the JK neighborhood, in the bedrooms and bathrooms of each. Measurements of radon 222 concentrations were performed by municipal health agents through the Corentium Home Radon Detector equipment. For the statistical study, the XLSTAT software was used to evaluate if there was a correlation between radon 222 concentrations and the parameters analyzed. All radon 222 concentrations obtained were below the WHO standard of 100 Bq /m³. In the rooms the average concentration was 14.54±11.9 Bq /m³, higher than the average concentrations obtained in the bathrooms, which was 10.25±8.84 Bq /m³. It was found that there is no influence of the weir on the radon 222 concentrations. There is a considerable influence of the water source only on the bathrooms concentration results. Regarding temperature, there was no influence of temperature on radon 222 concentrations.

Keywords: uranium, ionizing radiation, internal rooms, natural radiation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Percentual de exposição à radiação pelo ser humano.....	13
Figura 2- Radiação emitida em diversas atividades.....	14
Figura 3- Causas de infiltração do radônio 222 em edificações.....	15
Figura 4 - Mapa de localização geográfica e vias de acesso do município de Picuí.....	27
Figura 5 - Bacia hidrográfica do Rio Piranhas.....	29
Figura 6 - Ponto de distribuição de água.....	30
Figura 7 - Bairro JK.....	31
Figura 8 - Açude de pequeno porte estudado.....	32
Figura 9 - Mapa Geológico do município de Picuí-PB.....	33
Figura 10 - Disposição inicial das residências.....	34
Figura 11 - Residências Analisadas.....	36
Figura 12 - Corentium Home Radon Detector.....	37
Figura 13 - Distância entre Picuí/PB e Cruzeta/RN.....	38
Figura 14 - Coeficiente de Correlação.....	39
Figura 15 - Gráfico de frequência para as concentrações - Quarto.....	41
Figura 16 - Gráfico de frequência para as concentrações - Banheiro.....	41
Figura 17 - Mapa de Calor - Quarto.....	43
Figura 18 - Mapa de Calor - Banheiro.....	44
Figura 19 - Porcentagem de cada forma de abastecimento.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fontes de exposição à radiação	14
Tabela 2 - Série do urânio	16
Tabela 3- Propriedades físico-químicas do radônio	17
Tabela 4- Concentrações médias de urânio em determinados tipos de rocha	19
Tabela 5- Valores de concentração de radônio em alguns locais do Brasil – parte 1	21
Tabela 6- Valores de concentração de radônio em alguns locais do Brasil – parte 2	22
Tabela 7- Concentração de radônio em ambientes internos em países da OECD	23
Tabela 8- Concentração de radônio em ambientes internos pelo mundo.....	24
Tabela 9 - Situação dos poços cadastrados	30
Tabela 10 - Coordenadas das residências analisadas	36
Tabela 11 - Concentração de radônio nas residências.....	40
Tabela 12 - Distância aproximada das residências até o corpo hídrico	43
Tabela 13 - Origem da água nas residências analisadas.....	45
Tabela 14 - Dados de temperatura.....	48
Tabela 15 - Características do quarto	49
Tabela 16 - Características do banheiro	50

LISTA DE ABREVIATURAS

ACS – American Cancer Society

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

CNEM – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNM - Confederação Nacional de Municípios

CRPM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EPA – Environmental Protection Agency

IAEA – International Atomic Energy Agency

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICRP – International Commission on Radiological Protection

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NNDC – National Nuclear Data Center

NRPB - National Radiological Protection Board

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development

OMS – Organização Mundial da Saúde

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

USEPA – United States Environmental Protection Agency

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Considerações sobre a radiação.....	13
3.2. Geoquímica do radônio	16
3.3. Limites máximos permitidos pela legislação no Brasil e no mundo.....	17
3.4. Fatores naturais de influência na concentração de radônio 222.....	18
3.5. Áreas de elevada concentração – Mapeamento do radônio no Brasil e no mundo....	21
4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
4.1. Características hidrológicas.....	28
4.2. Atividades econômicas.....	29
4.3. Abastecimento de água.....	29
4.4. Bairro JK e açude estudado	31
4.5. Formação Geológica	32
5. METODOLOGIA	34
5.1. Disposição inicial das residências	34
5.2. Leitura das concentrações de radônio 222	35
5.3. Disposição final das residências.....	35
5.4. Equipamento utilizado.....	37
5.5. Dados de temperatura.....	37
5.6. Análises realizadas	38
5.6.1. Análises estatísticas.....	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
6.1. Valores de concentração de radônio 222.....	40
6.2. Avaliação das concentrações em relação aos limites recomendados.....	42
6.3. Análise da influência do “Açude de Jandovi” nas concentrações de radônio 222.....	42
6.4. Influência da origem da água consumida nas residências nas concentrações.....	45
6.5. Influência da temperatura nas concentrações.....	47
6.6. Influência das características construtivas das residências nas concentrações	49
7. CONCLUSÕES	52
8. REFERÊNCIAS.....	54

1. INTRODUÇÃO

Frequentemente os seres humanos estão expostos a fontes artificiais de radiação, sejam elas em um tratamento médico através da radioterapia ou no trabalho em usinas nucleares, por exemplo. Entretanto, também estão expostos diariamente a fontes naturais de radiação, que por sua vez, são originárias de raios cósmicos e do decaimento de elementos radioativos, como o urânio por exemplo. A radiação natural pode estar presente na água de beber, no ar respirado, nos materiais de construção das edificações e até no alimento. Uma das causas de radiação natural mais importantes de estudar e combater é a gerada pelo radônio 222.

O radônio 222 é o único radionuclídeo da série natural de decaimento do urânio 238 que se apresenta na forma gasosa. Este gás decai a partir do rádio 226 pela emissão de uma partícula alfa; que, por sua vez, é fruto da desintegração do urânio 238. Ele possui um tempo de meia-vida de 3,82 dias e, decorrente disso, há tempo suficiente para que uma boa parte do gás produzido consiga chegar a atmosfera. Ao ser ingerido ou inalado, se apresenta como um eventual causador de câncer de pulmão (UNSCEAR, 2000).

O radônio por si só não é responsável pelo aumento nos riscos à saúde, mas sim seus descendentes que englobam alguns emissores de partículas alfa com tempo de vida muito curta (OLIVEIRA, 2013). As partículas alfa emitidas pela Progênie do Decaimento do Radônio (Radon Decay Progeny – RDP), quando no interior dos pulmões, possuem alta energia de ionização. Essa energia, depositada nas células, pode ocasionar um câncer de pulmão (ACS, 2012).

Dentre as mortes que são originadas por câncer relacionado ao radônio na água, estima-se que 89% correspondem a câncer de pulmão decorrente da inalação do radônio, e 11% é resultado da ingestão direta da água contendo radônio (USEPA, 1999). A ingestão da água com radônio está mais associada ao aumento de câncer de estômago, entretanto, o risco de acontecer é bem menor quando comparado ao risco associado ao câncer de pulmão através da inalação do ar contendo radônio. Segundo a United States Environmental Protection Agency (USEPA), o radônio é o agente causador de 21.000 casos de morte por ano por câncer de pulmão, perdendo apenas para o cigarro.

A cada dia se mostra mais importante e necessário estudar as causas e os efeitos da radiação gerada pela exposição ao radônio na qualidade de vida das pessoas. E a atenção com esse problema é algo que pode ser percebido no mundo todo, vide a crescente de trabalhos científicos na área.

Dados de concentração de radônio, nas mais diferentes localidades do país, podem ajudar a montar um melhor banco de dados acerca do assunto, permitindo uma maior precisão na análise de dados para determinar as causas do radônio no ambiente e definir limites mais

acurados de exposição humana ao gás radônio com a finalidade de diminuir os riscos à saúde humana.

Neste trabalho serão analisadas as concentrações de radônio 222 no bairro JK devido a influência de um açude de pequeno porte na cidade de Picuí-PB.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Analisar os fatores de influência nas concentrações de radônio 222 no ar no município de Picuí-PB.

2.2. Objetivos Específicos

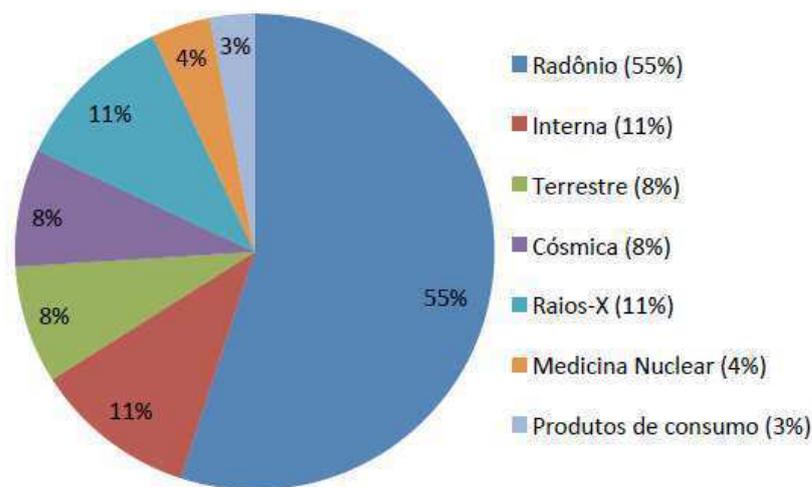
- Verificar se as concentrações de radônio 222 no ar do município de Picuí atendem ao limite estabelecido pela OMS.
- Avaliar a influência de um açude de pequeno porte nos níveis de concentração de radônio 222 no ar do município de Picuí-PB.
- Estudar a influência da temperatura na concentração de radônio 222 no ar.
- Analisar se a origem da água utilizada nas residências influencia na concentração de radônio 222 no ar.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Considerações sobre a radiação

A radiação existe de maneira natural na Terra, sendo originária do decaimento de elementos radioativos e de raios cósmicos, que são partículas subatômicas que chegam à Terra vindas do espaço, que irradiam a superfície terrestre diretamente, propiciando diferentes tipos de radiação e de materiais radioativos. Todavia, também existem meios artificiais que emitem radiação, como por exemplo, usinas nucleares, radioterapia, dentre outros. A dosagem é um dos fatores a serem analisados quando se pensa nos malefícios à população. Sendo a radiação ionizante, é desejável que a dosagem a qual o indivíduo está exposto seja baixa, para não acarretar em riscos à saúde. O tempo de exposição também é um fator importante a se considerar quando se fala em radiação. A Figura 1 mostra o percentual de exposição do ser humano aos tipos de radiação natural e artificial.

Figura 1- Percentual de exposição à radiação pelo ser humano

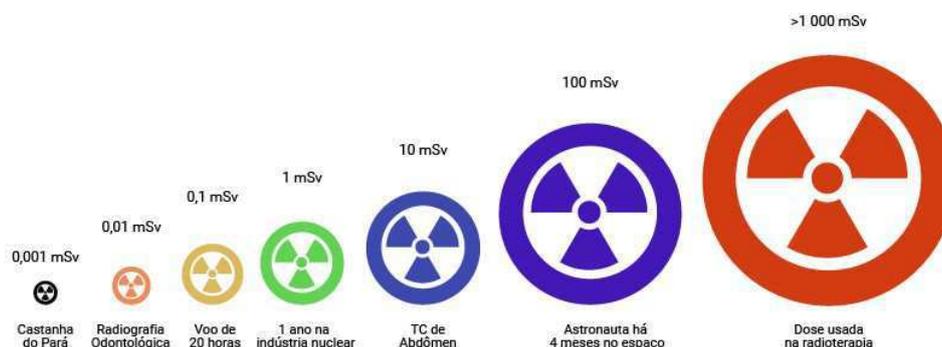


Fonte: Corrêa (2011) adaptado de UNSCEAR (2000)

De acordo com a UNSCEAR (2008) a grandeza utilizada para se medir a exposição à radiação das pessoas é a dose efetiva, que é medida em milisievert (mSv). A dose efetiva anual equivale à soma das doses internas e externas (UNSCEAR, 2008).

Mesmo atividades com alto índice de radiação podem ser inofensivas devido ao seu baixo tempo de exposição, como é o exemplo da radioterapia, em que o impacto da radiação ionizante é de mais de 1000 mSv. A Figura 2 mostra a radiação emitidas por diversas atividades as quais o ser humano pode estar exposto.

Figura 2- Radiação emitida em diversas atividades



Fonte: Radioproteção na prática (2019)

Não há maneira de se proteger das fontes naturais de exposição, sendo assim, a maior fonte de exposição à radiação no mundo. O limite de dose anual de radiação para público em situação operacional normal é de 1 mSv, e para indivíduos ocupacionalmente expostos é de 20mSv (CNEM, 2014).

As fontes naturais são responsáveis por 87% da radiação recebida por uma pessoa. Estão caracterizados aqui como fontes naturais os raios cósmicos, raios gama, radionuclídeos naturais presentes nos alimentos e produtos do decaimento radioativo do ^{220}Rn e ^{222}Rn (National Radiological Protection Board/NRPB, 1989). A Tabela 1 apresenta as principais fontes de exposição à radiação pelas pessoas.

Tabela 1- Fontes de exposição à radiação

Fontes	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	0,7

Fonte: NRPB (1989)

Percebe-se que o radônio constitui a maior parcela de radiação recebida pela população. O radônio é um gás radioativo incolor, insípido e inodoro, podendo suas partículas serem ingeridas através da água e inaladas através do ar. Ele pode ser achado em materiais de construção e em

rochas e solos. A concentração de radônio no ar pode variar conforme a localidade. A precaução com a concentração de radônio é maior nos ambientes internos que nos externos; pois nos ambientes externos sua concentração é baixa e é diluída no ar. No interior das edificações a concentração varia com a umidade do ar, temperatura, horário do dia e estação do ano (CARDOSO, 2005). As concentrações de radônio são maiores quando mais próximo ao solo. Por ser um gás denso, quanto mais distante do solo, menores são as concentrações (DEL CLARO, 2013).

O radônio infiltra nas edificações devido às diferenças de pressão entre os lados externos e internos da base da construção, através das fundações e de fissuras localizadas na estrutura da edificação, como por exemplo, rachaduras, buracos e encanamentos (EPA, 2001). A Figura 3 mostra como o radônio pode entrar em edificações.

Figura 3- Causas de infiltração do radônio 222 em edificações



Fonte: Radioproteção na prática (2019)

Segundo a IAEA (2003), estudos realizados a respeito da radiação natural externam as concentrações de radônio 222 nos ambientes e não as concentrações de seus elementos descendentes. Isso pois há uma maior facilidade de se determinar as concentrações do radônio que dos elementos provenientes do seu decaimento.

3.2. Geoquímica do radônio

O radônio é um gás nobre e volátil gerado através da série de decaimento do urânio-238. Ele é proveniente do ^{226}Ra (meia-vida $t_{1/2} = 1600$ anos) através da emissão de uma partícula (alfa). Dentre os isótopos do urânio, o ^{222}Rn é o único na forma gasosa e possui um tempo de meia-vida relativamente longo, por isso, é um elemento que demanda bastante atenção por ser responsável pela maior parcela de contaminação ambiental e riscos à saúde (NNDC, 2011). A Tabela 2 mostra os tempos de meia-vida dos elementos da série do urânio e as principais radiações emitidas por eles.

Tabela 2 - Série do urânio

Nuclídeo	Meia-vida	Principais radiações
^{238}U	4,47x10 ⁹ anos	α
^{234}Th	24,1 dias	β
^{234}Pa	1,16 minutos	β
^{234}U	2,455x10 ⁵ anos	α
^{230}Th	7,54x10 ⁴ anos	α
^{226}Ra	1600 anos	α
^{222}Rn	3,8235 dias	α
^{218}Po	3,098 minutos	α
^{214}Pb (99,98%) ^{218}At (0,02%)	26,8 minutos - 1,5 segundos	$\beta - \alpha$
^{214}Bi	19,9 minutos	β
^{214}Po (99,98%) ^{210}Tl (0,02%)	164,3 μs - 1,3 minutos	$\alpha - \beta$
^{210}Pb	22,2 anos	β
^{210}Bi	5,01 dias	β
^{210}Po (~100,00%) ^{206}Tl (0,00013%)	138,376 dias - 4,202 minutos	$\alpha - \beta$
^{216}Pb	Estável	Nenhuma

Fonte: NNDC, 2011

O Rn^{222} não se ioniza na água, dessa forma, ele possui mais mobilidade em relação aos outros elementos da série do decaimento do ^{238}U . Ele pode se dissolver no meio aquoso, mas é facilmente removido através do processo de degaseificação. O radônio dissolve-se na água na forma de pequenas bolhas. Em rios e córregos, a concentração de radônio é baixa, pois há grande agitação devido à correnteza.

O rádio decai do Tório 230 e tem um tempo de meia vida de 1600 anos. De acordo com CORREA (2011), ele está presente, em quantidades que variam, em praticamente todos os solos e rochas. As rochas ígneas possuem concentrações maiores de rádio do que as rochas arenosas e calcárias. CORREA (2011) diz que nas águas, a relevância das quantidades de rádio se dão ao fato de que em diversas pesquisas foi mostrado que, majoritariamente em águas de poços, essas quantidades são maiores do que o limite estabelecido pela EPA (2000).

Após o decaimento do rádio, o radônio 222 é liberado em rochas e solos, e parte de seus átomos é passada para a água contida nas capilaridades presentes das rochas e solos. Nas águas subterrâneas, a concentração de radônio é maior que na superfície. O radônio pode ser transportado através de fraturas e cavernas por até 5km (FIANCO, 2011). Quando trata-se de água para abastecimento público, o gás é liberado no momento em que alcança a superfície, pois a pressão se alivia. Nesses casos a exposição à radiação pode se dar através da inalação do gás que fica presente no ar quando há o alívio de pressão, o que pode acontecer, por exemplo, no banho, ao lavar louça e em outras atividades domésticas.

As propriedades físico-químicas do radônio 222 estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Propriedades físico-químicas do radônio

Propriedades	Valores
Número de massa (A)	86
Número atômico (Z)	222,0175
Diâmetro atômico aproximado	$4,5 \times 10^{-8}$ cm
Meia-vida ($t_{1/2}$)	3,825 dias
Constante de decaimento	$2,097 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
Ponto de ebulição	-61,8 °C
Ponto de fusão	-71 °C
Densidade (gás)	9,73 g/L
Potencial para primeira ionização	10,8 eV
Solubilidade a 1 atm	
na água a 0°C	510 mL
na água a 20°C	230 mL
na água a 40°C	139 mL
na água a 60°C	96 mL

Fonte: Adaptado de DYCK e JONASSON (2000)

3.3. Limites máximos permitidos pela legislação no Brasil e no mundo

As Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEM (2011) propõem que seja adotado um valor limite anual de referência de uma dose efetiva de 20 mSv para indivíduos ocupacionalmente expostos e de uma dose de anual máxima de 1 mSv para indivíduos do público.

A dose limite para indivíduos ocupacionalmente expostos é uma média de 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano. E para indivíduos do público, em circunstâncias especiais, a CNEM autoriza uma dose efetiva de 5 mSv num período de 5 anos, desde que a média anual não exceda 1 mSv por ano.

Para a CNEM (2005), os limites para implementação de ações de intervenção é de 10 mSv por ano, que corresponde em concentração, a 300 Bq/m³, pelos cálculos apresentados pelo ICRP (2008). De acordo com ICRP, os limites para ação e intervenção em residências, foram estabelecidos em uma concentração de 1500 Bq/m³.

Os limites permitidos de radônio 222 pela EPA (2000) para água potável são de 11,1 Bq/L. Este limite relaciona-se com a possível contribuição da água para os ambientes. Para ambientes internos, os limites definidos de concentração do radônio são de 148 Bq/m³ (EPA, 2000).

Para a Comissão Europeia (COMMISSION RECOMMENDATION, 2001), a recomendação adotada é de 100 Bq/L, e os limites para ação e intervenção é de 1000 Bq/L, levando em consideração que a quantidade de radônio presente na água é ingerido ao beber a água e inalado ao ser liberado no ambiente.

Para WHO (2009), o limite de concentração para ambientes internos é de 100 Bq/m³, todavia, é expresso que, caso isso não seja possível, o limite de referência adotado deve ser de 300 Bq/m³.

Observa-se diferenças relevantes entre os limites apresentados por diversas fontes, podendo serem os valores descritos acima ainda discutidos para que se chegue a valores limites aceitáveis mais precisos.

3.4. Fatores naturais de influência na concentração de radônio 222

Um dos principais fatores na distribuição do radônio 222 no ambiente é a geologia. Segundo FIANCO (2011) os altos índices de radônio estão associados a determinados tipos de rocha e depósitos inconsolidados. As rochas que contém urânio emitem constantemente radônio. Tratando-se de rochas ígneas, as rochas graníticas e alcalinas feldspatóidicas formam as principais fontes de urânio, devido às suas propriedades geoquímicas. Os minerais acessórios constituem a maior parte do urânio presente nas rochas ígneas, como por exemplo, thorita, allanita, zircão, apatita, monazita e esfeno. Dentre as rochas metamórficas, as que apresentam as principais fontes de urânio, são a cordierita gnaisse, o granulito e o paragnaisse. Já nas rochas sedimentares, o urânio está mais presente predominantemente nas rochas fosfáticas. A Tabela 4 exhibe as concentrações médias de urânio para determinados tipos de rochas.

Tabela 4- Concentrações médias de urânio em determinados tipos de rocha

Rochas ígneas	U (ppm)	Rochas Sedimentares	U (ppm)
Graníticas	4,19	Arenitos	1,48
Gabróides	0,84	Grauvacas	2,1
Ultramáficas	0,022	Arcóseos	1,5
Eclogitos	0,20	Folhelhos	3,25
Intrusivas alcalinas	9,82	Bauxita	11,4
Extrusivas silicáticas	5,0	Bentonita	5,0
Basálticas	0,43	Calcários	2,19
Rochas Metamórficas		Dolomitos	0,03 - 2,0
Anfibolito	3,5	Fosfáticas	50 - 300
Gnaisse	2,2	Evaporitos	<0,1
Paragneisse	4,5	Sedimentos do Pacífico	
Granulito	4,9	Areias	3,0
Ortogneisse	3,6	Lamas	2,3
Cordierita gnaisse	5,8	Lamas argilosas	2,7
Mármore	0,17	argilas pelágicas	2,0
Filito	1,9		
Xisto	2,5		
Rochas máficas	3,2		

Fonte: Duarte (2002)

Nos solos, a concentração do ^{222}Rn baseiam-se, principalmente das propriedades físicas, como por exemplo, permeabilidade, porosidade e densidade. Solos arenosos facilitam a migração de radônio para a superfície. Por sua vez, os solos argilosos dificultam essa migração e difusão do gás, devido ao seu baixo índice de vazios, em que as partículas do solo estão bem confinadas; funcionando assim, como um selante que impede que o radônio migre para a atmosfera (FIANCO, 2011). Os solos, em geral, liberam mais radônio que as rochas, devido ao fato de seus constituintes serem mais facilmente desagregados um do outro. Segundo Rahman et. al. (2007), 60% do radônio encontrado em ambientes internos são provenientes do solo da fundação e do solo ao redor da construção.

A variação da umidade do solo também é um fator que pode influenciar nas concentrações de radônio. Essa variação torna o solo susceptível ao inchaço ou a contração, abrindo e fechando caminhos através de fissuras. Em meio saturado, o fluxo do radônio é preferencialmente lateral e é controlado pelo fluxo de água subterrânea. Em meio não saturado, prevalecem os processos de difusão gasosa a processos de difusão de vapor e capilaridade (Rebelo et. al., 2003).

De acordo com UNSCEAR (1993), as concentrações de radônio também variam ao longo do dia. Concentrações máximas são medidas nas primeiras horas do dia e concentrações mais baixas são medidas ao fim da tarde, sendo de aproximadamente um terço dos valores de concentração máxima. As estações do ano afetam as concentrações de radônio; os níveis de ^{222}Rn são maiores nos meses de outono e inverno e menores nos meses de primavera. Essa variação ocorre de acordo com os padrões de turbulências atmosférica, que tendem a ser maiores na primavera. Todavia, essas diferenças, na maioria dos casos, não são significativas.

DA SILVA (2005) considera que o fluxo de ventilação de um ambiente é um dos fatores mais importantes nas medidas de concentração de radônio. Dessa forma, embora o clima possa não influenciar direta e significativamente nas concentrações, o comportamento das pessoas, que muda de acordo com o clima, possibilitando maior e menor ventilação nos ambientes, pode ser predominante nas medidas.

Outro fator que altera a concentração de radônio no ambiente é a pressão atmosférica. Com uma menor pressão atmosférica os átomos de radônio se direcionam com mais facilidade para a superfície. E este, por ser um gás cerca de sete a oito vezes mais pesado que o ar, tende a concentrar-se próximo ao solo, no nível do ar respirado pelos seres humanos, facilitando, dessa forma, sua inalação (DEL CLARO, 2013).

Segundo DEL CLARO (2013), a solubilidade do radônio depende de seu coeficiente de partição (K_T), que por sua vez, depende da temperatura. A medida que a temperatura aumenta, a solubilidade do gás ^{222}Rn diminui. Dessa forma, considera-se o ^{222}Rn relativamente insolúvel em água e com alta solubilidade em líquidos orgânicos. Decorrente da característica de pouca solubilidade em água, o transporte do gás radônio para a superfície é facilitado.

3.5. Áreas de elevada concentração – Mapeamento do radônio no Brasil e no mundo

A seguir serão expostos diversos trabalhos realizados para medição da concentração de radônio no Brasil e no mundo. A Tabela 5 mostra os resultados de alguns desses trabalhos.

Tabela 5- Valores de concentração de radônio em alguns locais do Brasil – parte 1

Localidade	N*	Concentração de radônio (Bq/m ³)			Referência
		Média	Mínimo	Máximo	
São Vicente - SP					
Fontes	6	-	8,1	36	Marques <i>et al.</i> (2006)
Solo	6	-	0,41	3,46	
Cavidades	3	-	0,72	5,85	
Leste do Estado de SP					
Poço	1	76±7	-	-	Lucas e Ribeiro (2007)
Poço	1	26±3	-	-	
Poço	1	39±4	-	-	
Águas subterrâneas					
Norte	10	88,6	<2,4	525	Godoy e Godoy (2006)
Nordeste	44	33,3	<1,2	80,6	
Centroeste	23	43,8	<5	51,6	
Sudeste	234	150	<1,2	3542	
Sul	47	229	<1,2	1402	
Aquífero Guarani (poços)					
Bocaina	6	-	1±0,1	40±0,2	Bonotto e Mello (2006)
Catanduva	9	-	0,04±0,01	27±1	
Novo Horizonte	5	-	5±0,3	155±9	
São José do Rio Preto	3	-	6±0,3	11±1	
Região dos Lagos					
Fontes e poços	88	-	3	75	Almeida <i>et al.</i> (2004)

*N – ambientes medidos

Fonte: Correa (2011)

De acordo com GERALDO (2005) e CORRÊA (2006), os níveis de concentração do radônio no Brasil estão, majoritariamente, abaixo dos níveis recomendados pela UNSCEAR, que é de 200Bq/m³, pela ICRP, que é de 1500Bq/m³, e pela OMS, que é de 100 Bq/m³. Entretanto, em algumas regiões a concentração apresentada encontra-se acima do recomendado. Na Tabela 6 pode-se verificar as concentrações de radônio encontradas em outros trabalhos no Brasil.

Tabela 6- Valores de concentração de radônio em alguns locais do Brasil – parte 2

Região	Estado	Concentração de radônio (Bq/m ³)			Número de ambientes medidos	Referência
		Mínima	Média	Máxima		
Poços de Caldas (área rural)	Minas Gerais	50	204	1046	-	Amaral <i>et al.</i> (1992)
Poços de Caldas (área rural)	Minas Gerais	27	220	1024	19	Veiga <i>et al.</i> (2003)
Poços de Caldas (área urbana)	Minas Gerais	12	61	920	68	Veiga <i>et al.</i> (2003)
Monte Alegre (área rural)	Pará	40	116	338	35	Melo (1999)
Monte Alegre (área urbana)	Pará	22	75	188	87	Melo (1999)
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	9	40	200	-	Magalhães (1999)
Campinas	São Paulo	20	80	254	70	Neman (2000)
Santos	São Paulo	124	-	-	25	Geraldo <i>et al.</i> (2005)
São Paulo	São Paulo	33	147	562	170	Da Silva (2005)
São Paulo	São Paulo	31	131	615	170	Da Silva (2005)
Campo Largo (1)	Paraná	6	60	123	69	Corrêa (2006)
Campo Largo (2)	Paraná	2	186	637	69	Corrêa (2006)
Curitiba – Centro (1)	Paraná	6	42	126	69	Corrêa (2006)
Curitiba - Portão	Paraná	5	85	486	69	Corrêa (2006)
Curitiba – Centro (2)	Paraná	5	76	268	69	Corrêa (2006)
Belo Horizonte	Minas Gerais	4	108	1531	540	Santos (2010)

Fonte: Del Claro (2013)

A WHO (2009), executou monitoramento em ambientes internos em países da OECD (Organization for Co-operation and Development). A Tabela 7 apresenta o resultado desse monitoramento.

Tabela 7- Concentração de radônio em ambientes internos em países da OECD

Concentração de radônio (Bq/m³)			
País	Média aritmética	Média geométrica	Desvio padrão geométrico
Alemanha	49	37	2,0
Austrália	11	8	2,1
Áustria	99	15	-
Bélgica	48	38	2,0
Canadá	28	11	3,9
Coréia	53	43	1,8
Dinamarca	59	39	2,2
Eslováquia	87	-	-
Espanha	90	46	2,9
Estados Unidos	46	25	3,1
Finlândia	120	84	2,1
França	89	53	2,0
Grécia	55	44	2,4
Holanda	23	18	1,6
Hungria	82	62	2,1
Irlanda	89	57	2,4
Islândia	10	-	-
Itália	70	52	2,1
Japão	16	13	1,8
Luxemburgo	110	70	2,0
México	140	90	-
Nova Zelândia	22	20	-
Noruega	89	40	-
Polônia	49	31	2,3
Portugal	62	45	2,2
Reino Unido	20	14	3,2
Republica Tcheca	140	44	2,1
Suécia	108	56	-
Suíça	78	51	1,8
Média mundial	39		

Fonte: WHO (2009)

A UNSCEAR apresentou em documento de 2006, que expõe as concentrações médias de radônio em ambientes internos em diversos países. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8- Concentração de radônio em ambientes internos pelo mundo

Concentração de radônio (Bq/m³)				
País	Média aritmética	Média geométrica	Valor máximo	Desvio padrão geométrico
África				
Argélia	30	-	140	-
Egito	9	-	24	-
Gana	-	-	340	-
América do Norte				
Canadá (01)	34	14	1720	36
Canadá (02)	28,35	11,2	1720	3,9
EUA	46	25	-	3,1
México	140	90	1193	-
América do Sul				
Argentina	35	25	211	2,0
Brasil	81,95	-	310	-
Chile	25	-	86	-
Cuba	7,7	5,2	15,3	3,3
Equador	200	-	-	-
Paraguai	28	-	51	-
Peru	32,29	-	50,2	-
Venezuela	52,5	-	346	-
Leste da Ásia				
Cazaquistão	-	-	5000	-
China (01)	43,8	34,4	596	-
China (02)	24	20	380	2,2
Coréia	53,4	43,3	1350	1,8
Filipinas (01)	23	22	62	1,13
Filipinas (02)	23	23	62	±6
Hong Kong	41	-	140	-
Índia	57	42	210	2,2
Indonésia	35,1	35,1	165	1,2
Japão	16	13	310	1,8
Malásia	14	-	20	-
Paquistão	30	-	83	-
Rússia	50-60	-	-	-
Taiwan	10	8,5	63,5	0,6
Tailândia	23	16	480	1,2
Oeste da Ásia				
Arábia Saudita	16	-	36	-

Armênia	104	-	216	1,3
Irã (01)	82	-	3070	-
Irã (02)	2745	-	31000	-
Irã (03)	600	-	1000	-
Kuwait	14	10,6	119,2	0,74
Palestina (Gasa)	34	-	105	-
Síria	44	-	520	-
Norte da Europa				
Dinamarca	59	39	1200	22
Estônia	120	92	1390	-
Finlândia	120	84	20000	2,1
Islândia	10	-	26	-
Lituânia (01)	49	38	1900	-
Lituânia (02)	55	36,5	636	-
Noruega	73	40	50000	-
Suécia	108	56	84000	-
Oeste da Europa				
Alemanha	50	40	>10000	1,9
Áustria	-	15	190	-
Bélgica	48	38	12000	2,0
França	62	41	4690	2,7
Holanda	23	18	380	1,6
Inglaterra	90	50	-	-
Irlanda	89	57	7000	2,4
Listenstaine	80	-	1098	-
Luxemburgo	110	70	2500	2,0
País de Gales	84	48	-	-
Reino Unido	20	14	17000	3,2
Suíça	75	41	10000	-
Leste da Europa				
Bielorrússia	31,8	-	221	-
Bulgária	-	22	250	2,1
Eslováquia	87	-	3750	-
Hungria	107	82	1990	2,7
Polônia (01)	49,1	-	1300	-
Polônia (02)	49	31	3260	2,3
Romênia	25	-	564	-
República Tcheca	118	94,4	70000	1,84
Sul da Europa				
Albânia	120	105	270	2,0
Croácia	35	32	92	-
Chipre	7	7	78	2,6
Eslováquia	87	60	1330	2,2
Espanha (01)	90,38	45,69	15400	-
Espanha (02)	748,5	242,64	15400	-

Espanha (03)	90,4	45,7	15400	2,9
Espanha (04)	610	-	1400	-
Grécia (01)	73	52	490	-
Grécia (02)	55	44	1700	2,4
Itália (01)	75	57	1040	2,0
Itália (02)	70	52	1036	2,1
Iugoslávia	184	110	1128	2,74
Portugal	62	45	2700	2,2
Oceania				
Austrália	11	8	420	2,1
Nova Zelândia	21,5	19,5	80	-

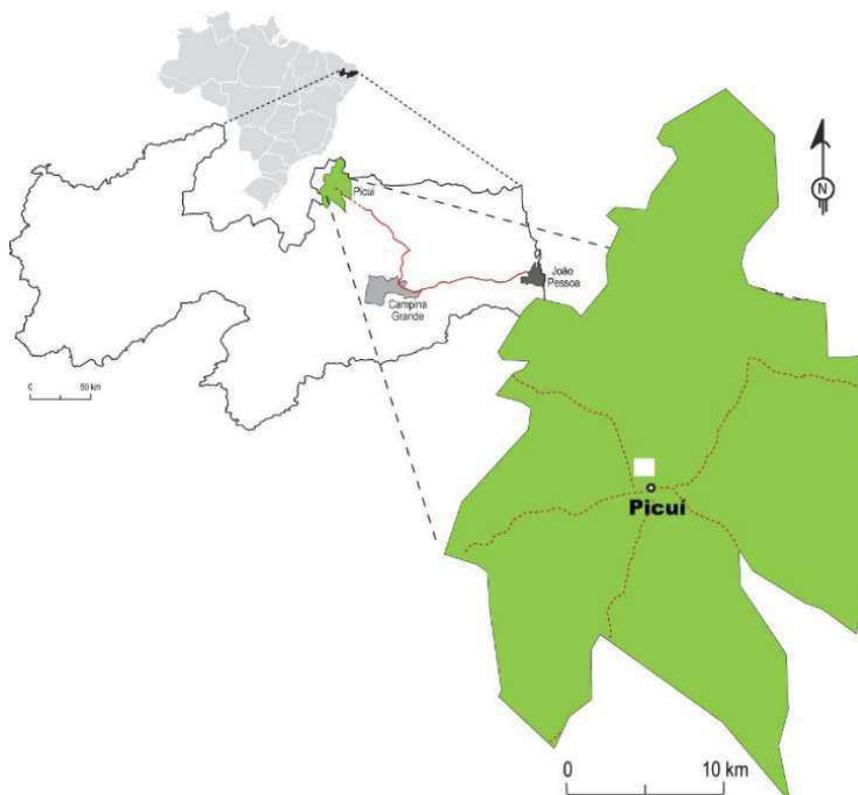
Fonte: UNSCEAR (2006)

4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Picuí está localizado no centro-norte do estado da Paraíba, na Micro-região Seridó Oriental Paraibano e Meso-região Borborema. Possui clima semiárido (desértico) quente e seco, com temperatura média de 26°C (PMGIRS, 2013). Tem seu limite ao norte com três cidades do Rio Grande do Norte, Campo Redondo, Carnaúba dos Dantas e Coronel Ezequiel. Na Paraíba seus limites são com as cidades Nova Floresta, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Cuité e Frei Martinho. De acordo com o último censo do IBGE (2010), possui uma população de 18.222 habitantes; com uma população atual estimada em 18.706 habitantes. Possui área de 651,65km² e, conseqüentemente, densidade demográfica, no ano de 2010, de 27,54 hab/km².

Seu acesso, partindo de João Pessoa, se dá pela rodovia federal BR-230 durante 191km até chegar à cidade de Soledade, passando por Campina Grande e seguindo por 90km pela rodovia estadual PB-177 até chegar à cidade de Picuí. A Figura 4 mostra a localização geográfica do município de Picuí.

Figura 4 - Mapa de localização geográfica e vias de acesso do município de Picuí



Fonte: Santos et. al. (2018)

O município fica localizado nas encostas do Planalto da Borborema e está situado numa região caracterizada por dispor de várias ondulações em seu relevo, com serras, morros e picos (PMGIRS, 2013). As altitudes no Planalto da Borborema estão entre 400 e 700m, em seus pontos mais altos (MEDEIROS *et.al.*, 2016). O relevo da área de estudo, caracteriza-se como de plano a ondulado (FRANCISCO, 2010). De acordo com o censo de 2010 do IBGE, há 5440 domicílios no município, sendo destes 3.715 em zona urbana e 1.724 em zona rural.

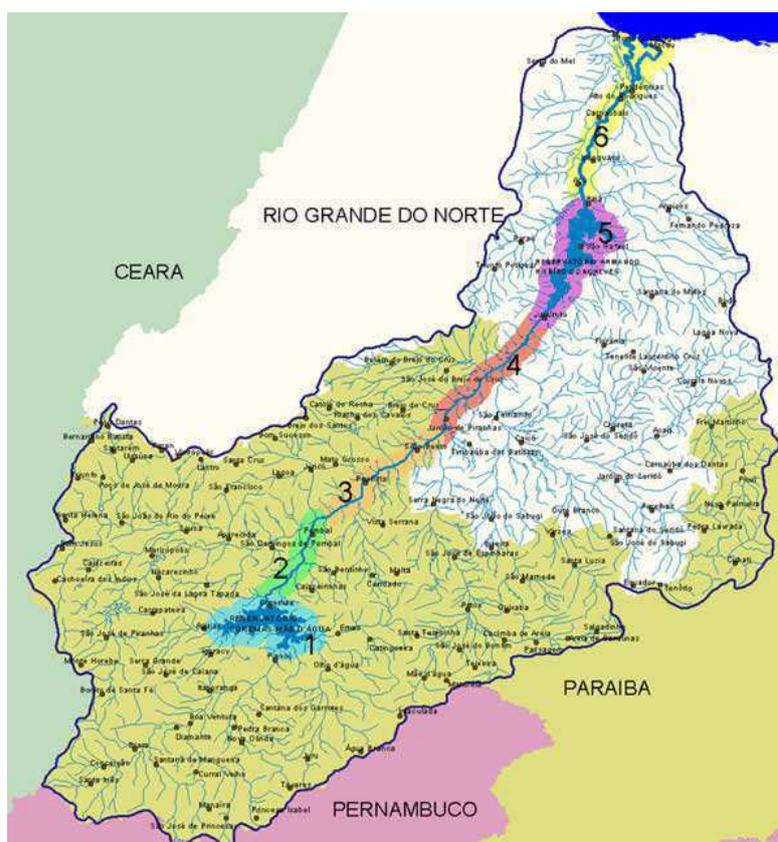
4.1. Características hidrológicas

O município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Piranhas, sub-bacia do Rio Seridó. Seus rios tributários, que são os rios da menor bacia hidrográfica, são: Rio Letreiro, Rio Picuí e Rio da Passagem, além dos riachos: Carrapateira, Quixaba, da Torre, da Grota Funda, Olho d'Água, da Lagoa do André, do Damião, do Cauaçu, da Serrinha, da Serra da Lagoa, da Pimenteira, da Pimenta, Saco do Jirau, do Juazeiro, do Medo, dos Tanques, Maria Lisbânia, Serrote Branco, da Pitombeira, Malhada do Rancho, da Caiçara, Raposa, do Cágado, do Lajedo, da Malhada da Areia, Casa de Pedra, da Volta, da Cobra, da Cachoeira, da Barra, Umburana, do Pedro, Izidro, Batente, da Barra, do Salgado, do Minador, do Tanque de Areia e do Meio (CPRM, 2005).

Além disso, o município ainda apresenta os açudes: Várzea Grande (21.532.560 m³), que é utilizado para abastecimento, Caraibeiras, Carrapateira, Conceição, do Dedo, Carrapato, Picuí e da Jurema; e as lagoas: do Deserto, do Canto, Cercada, de Montevidéo e do Junco.

A bacia hidrográfica do Rio Piranhas, se encontra inserida no clima semi-árido, possui uma área total de drenagem de 43.681,50 km². A Figura 5 mostra a bacia hidrográfica do Rio Piranhas.

Figura 5 - Bacia hidrográfica do Rio Piranhas



Fonte: AESA, 2019

4.2. Atividades econômicas

De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS do município de Picuí, as atividades econômicas locais que fomentam a economia são a agricultura, pecuária, comércio, serviços e indústria com foco na extração mineral através do granito, da mica, do caolin e do tântalo. Picuí ocupa a 10ª posição no ranking estadual de exportação, representando um total de 0,2% nas exportações do Estado (PMGIRS, 2013).

4.3. Abastecimento de água

O município de Picuí, de acordo com dados da Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2000) possui 60,14% das residências com rede de abastecimento de água, englobando zonas urbana e rural; apenas na zona urbana esse valor é de 89,78%. A captação de água para abastecimento é feita através do açude Várzea Grande, que abastece além de Picuí, o município de Frei Martinho e Nova Palmeira.

Todavia, devido à uma grande seca que atinge a região desde o ano de 2012, o açude Várzea Grande se encontra praticamente seco, impossibilitando o fornecimento de água através da rede de abastecimento. A mais de 2 anos o abastecimento de água no município é feito através de poços artesianos e caminhões pipa que atendem pontos de distribuição de água na cidade, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Ponto de distribuição de água



Fonte: Autoria própria

Há 89 poços cadastrados no município, sendo desses um poço escavado e 88 poços tubulares (CPRM, 2005). Sabe-se que há inúmeros outros poços na região, todavia sem cadastro. A Tabela 9 apresenta a situação de funcionamento desses 89 poços cadastrados.

Tabela 9 - Situação dos poços cadastrados

Natureza do Poço	Abandonado	Em Operação	Não Instalado	Paralisado	Indefinido
Comunitário	-	18	1	4	-
Particular	-	2	-	-	-
Indefinido	11	34	7	12	-
Total	11	54	8	16	-

Fonte: CPRM (2005)

4.4. Bairro JK e açude estudado

O bairro JK, do município de Picuí apresenta uma área de aproximadamente 0,18 km². O mesmo foi escolhido por se encontrar próximo ao corpo hídrico que foi estudado. No bairro existem aproximadamente 325 domicílios. De acordo com IBGE (2010), no município de Picuí a média de moradores por residência é de 3,89 pessoas. Considerando uma predisposição a um maior número de pessoas por domicílio quanto menor for a renda, o que o caso da área de estudo, por ser uma região periférica, utilizou-se uma média de 4 pessoas em um domicílio. Assim, estima-se que a população total do bairro é de 1300 habitantes, contendo, dessa forma, 6,95 % da população total do município de Picuí atualmente. A Figura 7 mostra o bairro JK.

Figura 7 - Bairro JK



Fonte: Google Earth (2019)

O açude estudado encontra-se ao sul do bairro JK e é situado numa propriedade privada. Na região o açude é conhecido como “Açude de Jandovi”. O mesmo encontra-se completamente cercado com um muro de alvenaria. A área desse terreno é de aproximadamente 1016 m². Em virtude da difícil visualização desse muro por imagens de satélite, o traçado do mesmo está inserido na Figura 8.

Figura 8 - Açude de pequeno porte estudado

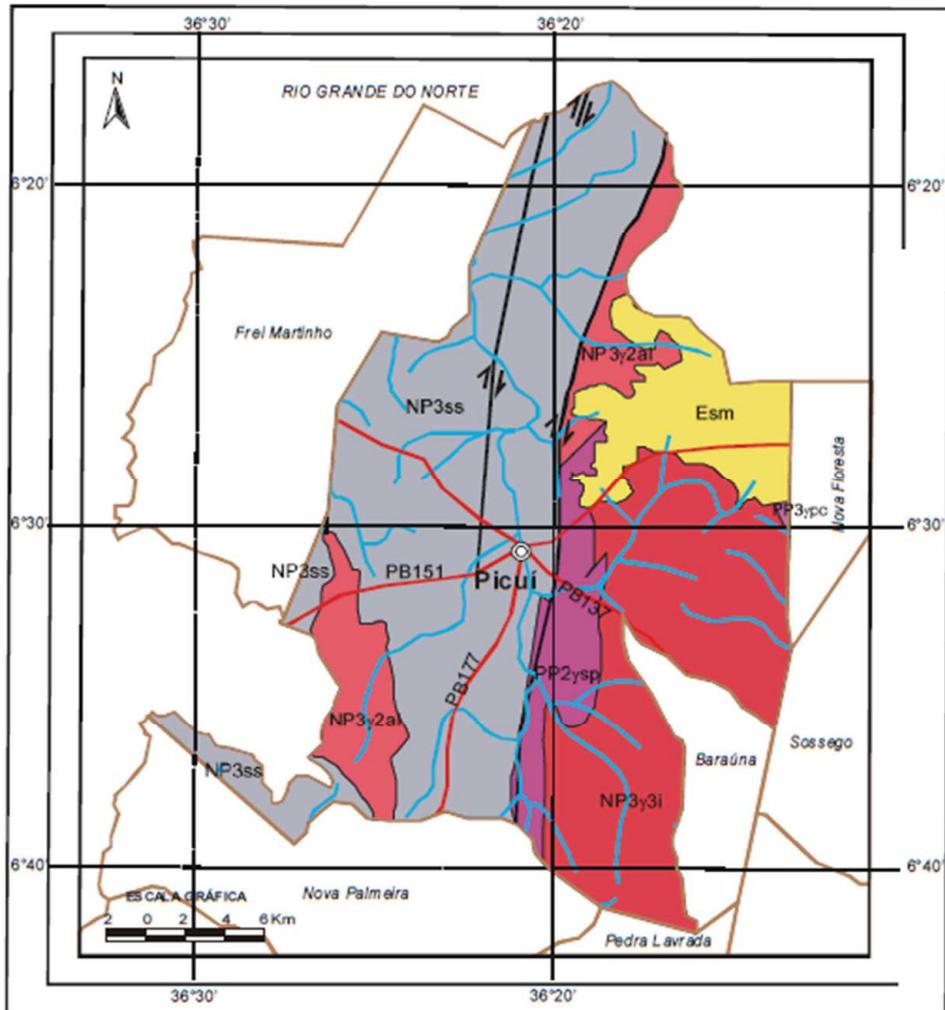


Fonte: Google Earth (2019)

4.5. Formação Geológica

O município de Picuí, está inserido numa região que apresenta majoritariamente unidades litoestratigráficas com formação geológica de quartzo monzonítico, arenito médio a conglomerático, suítes, biotita xisto, metarritmito, clorita-sericita, granitoides diversos e ortognaisse tonalítico a granilítico. Sua zona urbana está inserida na Formação Seridó, possuindo biotita xisto, metarritmito e clorita-sericita (CRPM, 2005). Sabe-se que rochas graníticas são umas das principais fontes de urânio, que conseqüentemente, gera a emissão do radônio 222. Os ortognaisses, paragnaisses, granulito, bentonita e xistos também são rochas nas quais o urânio está presente (Duarte, 2002). Dessa forma, o município de Picuí está localizado numa área que contém uma maior probabilidade de possuir altas concentrações de radônio 222. A geologia do município de Picuí está apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Mapa Geológico do município de Picuí-PB



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Cenozóico

Esm Formação Serra dos Martins (sm): arenito médio a conglomerático

Neoproterozóico

NP3y3i Granitóides de quimismo indiscriminado(i): granitóides diversos (571 Ma U-Pb)

NP3y2cm Suíte calcálcálica de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfirítico associado a diorito (588 Ma U-Pb)

NP3y2al Suíte Peráluminosa (al): granada-muscovita-biotita leuco granito com feição migmatítica

NP3ss Formação Seridó (ss): biotita xisto, metamilito, clorita-seifita xisto (640 Ma U-Pb)

Paleoproterozóico

PP3y3c Suíte Poço da Cruz: augenitise granítico, leuco-ortognaisse quartzo monzonítico a granito (1900 Ma U-Pb)

PP2y5p Complexo Serinha-Pedro Velho: ortognaisse tonalítico-trondhjemítico a granítico migmatizado e migmatito (2189 Ma U-Pb)

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

— Contato geológico

↗↘ Falha ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

⊙ Sede Municipal

— Rodovias

— Limites intermunicipais

— Rios e riachos

Fonte: CPRM (2005)

5. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta medidas de concentração de radônio em residências, com o objetivo de verificar a influência de um açude de pequeno porte nessas concentrações. O radônio 222, por ser um gás, pode estar presente na água, sendo um fator de influência nas concentrações de radônio 222 na área de estudo. Para isso foram avaliadas as concentrações em 13 residências no bairro JK, no município de Picuí. O bairro JK foi escolhido por ser o bairro mais próximo do corpo hídrico, podendo, dessa forma, sofrer maior influência do mesmo que outras localidades.

5.1. Disposição inicial das residências

Para a escolha das residências foi levado em consideração a distância de cada residência do corpo hídrico, possibilitando uma amostra mais estratificada. No geral se tentou criar ao máximo uma linearidade entre as residências, visando uma melhor forma de análise dos resultados. A distância entre as residências nessa disposição é, em sua maioria, entre 70 e 90 metros. Todas as residências escolhidas encontram-se ao norte do corpo hídrico visando a avaliação da influência do mesmo. A Figura 10 mostra como foi feita essa disposição inicial das residências.

Figura 10 - Disposição inicial das residências



Fonte: Autoria própria

5.2. Leitura das concentrações de radônio 222

As leituras das concentrações de radônio 222 foram feitas durante 37 dias, entre 06 de setembro de 2019 e 13 de outubro de 2019, em dois ambientes de cada residência: quarto e banheiro. O número total de residências existentes no bairro estudado é de 325 residências; dessa forma, a amostra escolhida representa um total de 4,00% da população.

Para a execução das leituras nas residências escolhidas, foi necessário o auxílio da Secretaria de Saúde do município, dispondo de agentes de saúde para a medição de dados e transporte do equipamento para leituras, o Corentium Home Radon Detector. O equipamento foi repassado para os agentes de saúde, juntamente com a relação das residências previamente escolhidas para a realização das leituras, assim como um mapa contendo a localização de cada uma delas.

Visando uma maior eficiência na realização das leituras nas residências, foi realizado um treinamento com os agentes de saúde, no qual foi mostrado a maneira correta de se utilizar o equipamento. No local em que são realizadas as leituras, o aparelho deve ser posicionado com o visor para baixo e colocado preferencialmente em um local que crianças não consigam acesso, pois o equipamento não deve sofrer interferência durante as 24 horas necessárias para leitura.

5.3. Disposição final das residências

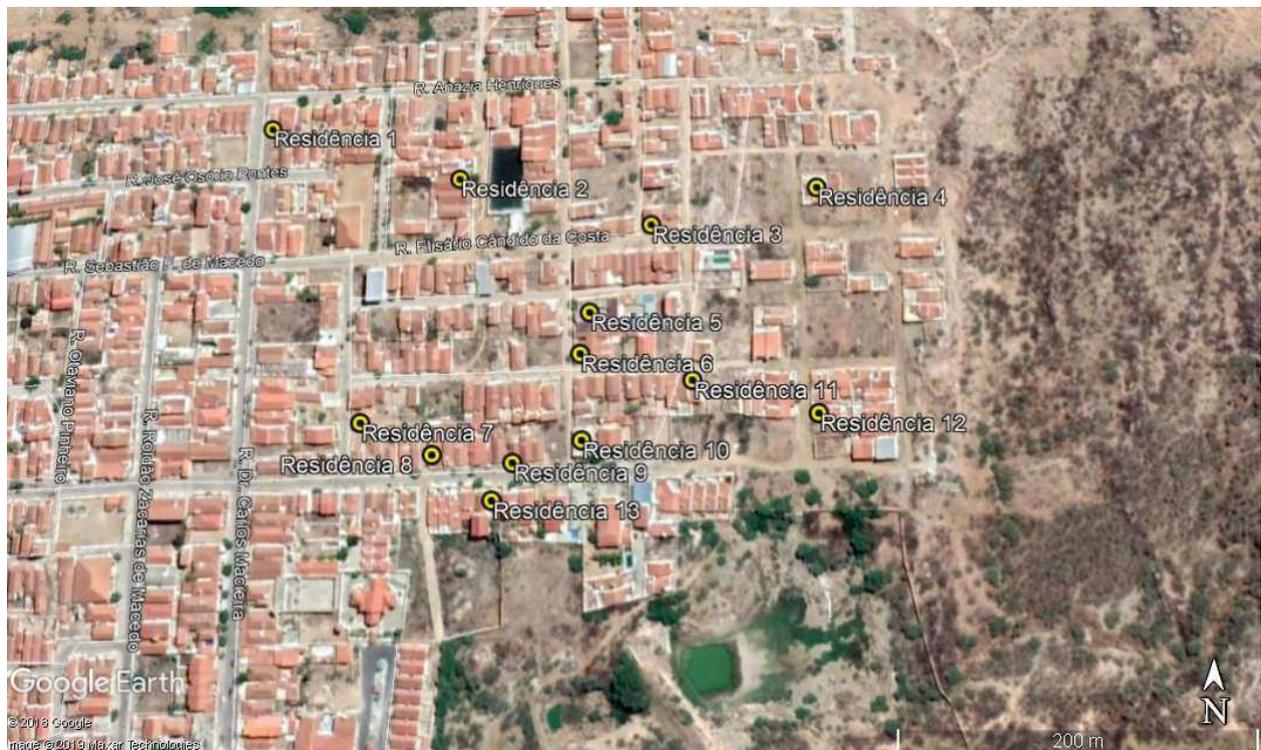
Tendo em vista que talvez não fosse possível a realização das leituras nas residências escolhidas por algum motivo, foi dada aos agentes de saúde a liberdade para poder modificar as residências analisadas para alguma outra residência próxima, mas buscando se manter o mais próximo possível das residências pré-definidas. Foram analisadas 13 residências, representando 4,00% do total da área de estudo. As modificações na escolha das residências estão indicadas na Figura 11, juntamente com a Tabela 10 que mostra a coordenadas das residências analisadas.

Tabela 10 - Coordenadas das residências analisadas

COORDENADAS UTM			
Nº	Zona	E	S
1	24	794015	9280184
2	24	794141	9280147
3	24	794264	9280114
4	24	794368	9280139
5	24	794227	9280058
6	24	794221	9280032
7	24	794086	9279988
8	24	794131	9279969
9	24	794182	9279965
10	24	794223	9279978
11	24	794291	9280016
12	24	794368	9279996
13	24	794170	9279942

Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Residências Analisadas



Fonte: Autoria própria

5.4. Equipamento utilizado

O Corentium Home Radon Detector (Figura 12) é um equipamento portátil que permite a leitura das concentrações de radônio no ar. O equipamento exibe as concentrações médias diárias, semanais e a longo prazo (Air Things). Sua limitação diz respeito ao fato de que com ele é possível realizar apenas uma leitura a cada 24 horas, impossibilitando, dessa forma, um número maior de residências analisadas. Essa limitação tornou indispensável o auxílio dos agentes de saúde para verificação das leituras e mudança de local do equipamento diariamente. A determinação da concentração de radônio se dá através da leitura indicada em seu monitor. A unidade de medida mostrada no equipamento é pCi/L, uma unidade utilizada quase exclusivamente nos Estados Unidos. Utilizou-se para este estudo a unidade global de medição de radioatividade, que é Bq/m³. A relação entre as duas unidades é a seguinte:

$$1 \text{ pCi} = 37 \text{ Bq/m}^3$$

Figura 12 - Corentium Home Radon Detector

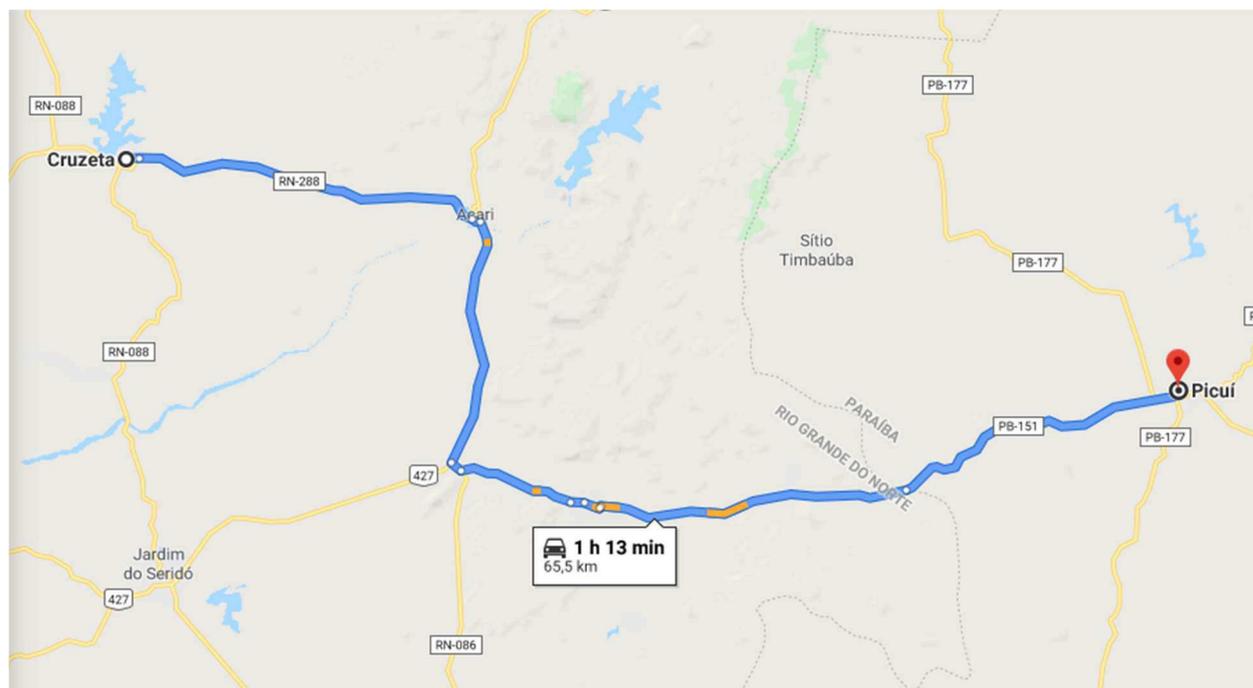


Fonte: Air Things (2019)

5.5. Dados de temperatura

Os dados de temperatura foram retirados do site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, através do BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Não há uma estação meteorológica no município de Picuí, por isso foram utilizados os dados da cidade de Cruzeta, no Rio Grande do Norte, distante 65,5 km da cidade de Picuí.

Figura 13 - Distância entre Picuí/PB e Cruzeta/RN



Fonte: Google Maps (2019)

Foram utilizadas as temperaturas médias no período de leituras nas residências, entre 06 de setembro de 2019 e 13 de outubro de 2019; todavia, alguns destes dias não possuem dados disponível no BDMEP, por esse motivo foram retirados da análise acerca da temperatura os dias de 07, 08, 15 e 22 de setembro de 2019 e 13 de outubro de 2019.

5.6. Análises realizadas

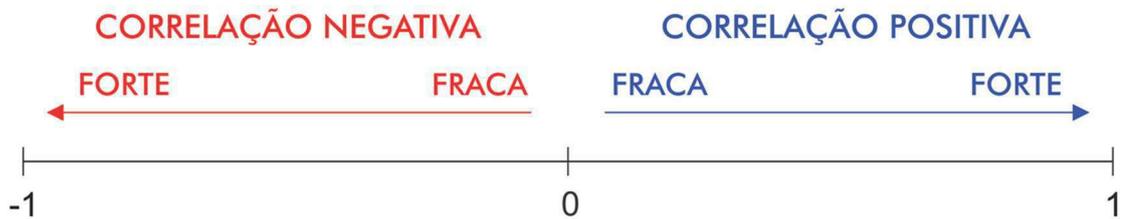
Ao final das medições, foram obtidos 26 dados de concentração de radônio 222 no município, 13 delas em quartos e 13 em banheiros. Com esses dados foram feitas as seguintes análises: análise geográfica utilizando o software Microsoft Excel, versão 2016, através do qual especializou-se os dados obtidos por meio de mapas de calor; análise dos valores de concentração obtidos em relação ao padrão estabelecido pela OMS, de 100 Bq/m³; análises estatísticas utilizando o software XLSTAT, através do qual foram verificadas, correlacionando com os valores de concentrações de radônio 222 obtidos, a temperatura no dia das leituras; a origem da água utilizada nas residências e as características construtivas das residências analisadas.

5.6.1. Análises estatísticas

Com o software XLSTAT foram feitas análises estatísticas de correlação. Para isso foi determinado o coeficiente de correlação (ρ) e o coeficiente de determinação (R^2).

O coeficiente de correlação (ρ) demonstra o grau de correlação com valores situados entre -1 e 1; quão mais próximo do 0, menor é a correlação entre as variáveis (OperData, 2019). A Figura 14 mostra como analisar o coeficiente de correlação.

Figura 14 - Coeficiente de Correlação



Fonte: OperData, 2019

O coeficiente de determinação (R^2) é o quadrado do coeficiente de correlação, varia de 0 a 1 e indica a proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela outra (Portal Action, 2018). Quanto mais próximo de 1, mais de uma variável pode ser explicada pela outra.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Valores de concentração de radônio 222

Os resultados das leituras de radônio 222 no ar estão apresentados na Tabela 11, cujos valores de concentração de radônio 222 obtidos variaram entre 0,74 Bq/m³ e 47,73 Bq/m³. As concentrações nos quartos apresentam desvio padrão de 11,9 e nos banheiros de 8,84.

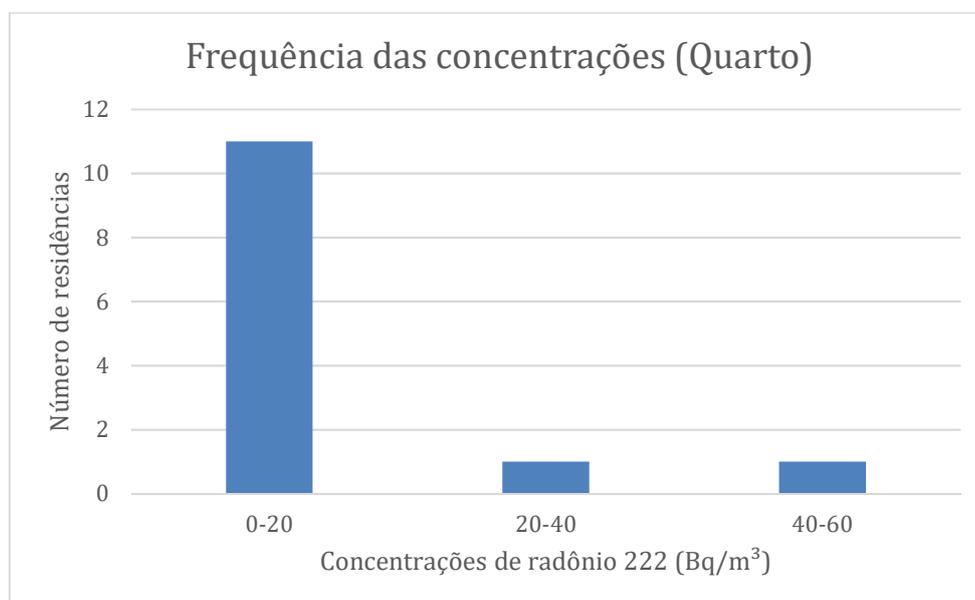
Tabela 11 - Concentração de radônio nas residências

Residência	Concentração (Bq/m ³)	
	Quarto	Banheiro
1	47,73	8,88
2	25,90	32,93
3	5,92	5,92
4	10,73	1,85
5	13,69	8,88
6	17,76	13,69
7	6,66	0,74
8	5,92	21,83
9	17,76	8,88
10	6,66	1,85
11	3,70	9,99
12	17,76	5,92
13	8,88	11,84
Média	14,54 ± 11,9	10,25 ± 8,84

Fonte: Autoria Própria

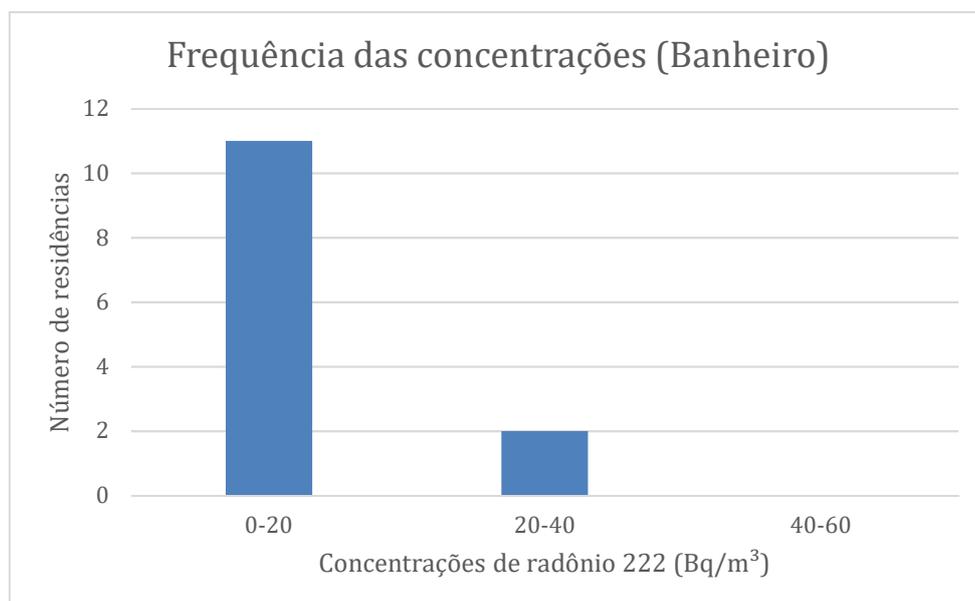
A Figura 15 e 16 exibem gráficos de frequência para as concentrações de radônio 222 nos dois ambientes (quarto e banheiro) das residências analisadas.

Figura 15 - Gráfico de frequência para as concentrações - Quarto



Fonte: Autoria Própria

Figura 16 - Gráfico de frequência para as concentrações - Banheiro



Fonte: Autoria Própria

Nas leituras nos quartos a maior frequência de concentrações foi até 10 Bq/m³, com 6 residências nessa faixa, seguido de 5 residências entre 10 e 20 Bq/m³, 1 residência entre 20 e 30 Bq/m³ e 1 residência entre 40 e 50 Bq/m³. Nas leituras nos banheiros a maior frequência também foi até 10 Bq/m³, com 9 residências nessa faixa, seguido de 2 residências entre 10 e 20 Bq/m³, 1 residência entre 20 e 30 Bq/m³ e 1 residência entre 30 e 40 Bq/m³.

Os ambientes estudados, apresentam dimensões físicas variadas, e tem semelhança no tocante a elementos básicos com portas, janelas, materiais de paredes e pisos. Os quartos, em sua maioria dispõem de uma porta, uma janela e paredes pintadas; já os banheiros, por sua vez, em sua maioria dispõem de uma porta, uma janela e revestimento cerâmicos nas paredes e piso.

Nota-se, com os dados mostrados até aqui, que, no geral, os quartos apresentaram maior concentração de radônio 222 que os banheiros. Relação semelhante pode ser encontrada no estudo de Melo (1999), em que nas análises de diferentes ambientes, os quartos apresentaram uma média de 158,38 Bq/m³, enquanto outros ambientes apresentaram uma média de 62,38 Bq/m³. Isso pode decorrer do fato de que nos quartos é mais provável que a janela passe um maior tempo fechada, prejudicando o fluxo de ar e auxiliando para que ocorra uma maior concentração. Nos banheiros a janela, apesar de pequena, geralmente permanece o tempo todo aberta, auxiliando no fluxo de ar, que faz com que as concentrações diminuam.

6.2. Avaliação das concentrações em relação aos limites recomendados

É necessário salientar que, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2009), o limite recomendado de concentração de radônio 222 para ambientes internos é de 100 Bq/m³. Assim, ao avaliar os dados apresentados na Tabela 11, nota-se que todos os valores de concentração de radônio obtidos encontram-se dentro do limite de referência estabelecido.

6.3. Análise da influência do “Açude de Jandovi” nas concentrações de radônio 222

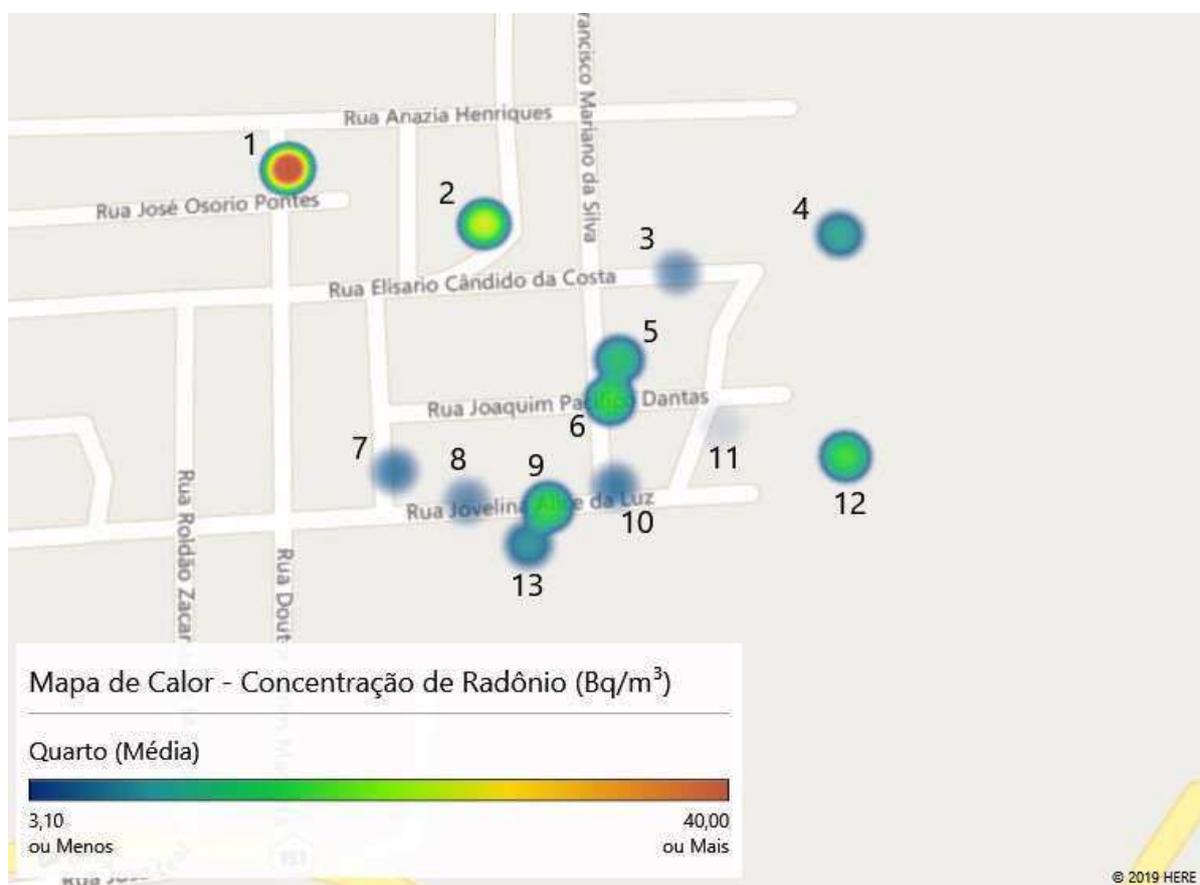
Com os valores de concentrações obtidos foi feita a espacialização dos dados através de mapas de calor. Foram feitos dois mapas, um para os dados dos quartos e um para os dados dos banheiros. A Tabela 12 mostra a distância aproximada de cada residência analisada para o corpo hídrico. As Figuras 17 e 18 mostram a distribuição espacial, em forma de mapa de calor, das concentrações de radônio 222 obtidas.

Tabela 12 - Distância aproximada das residências até o corpo hídrico

Residência	Distância até o corpo hídrico (m)
1	430
2	328
3	261
4	298
5	214
6	191
7	242
8	193
9	154
10	140
11	162
12	168
13	146

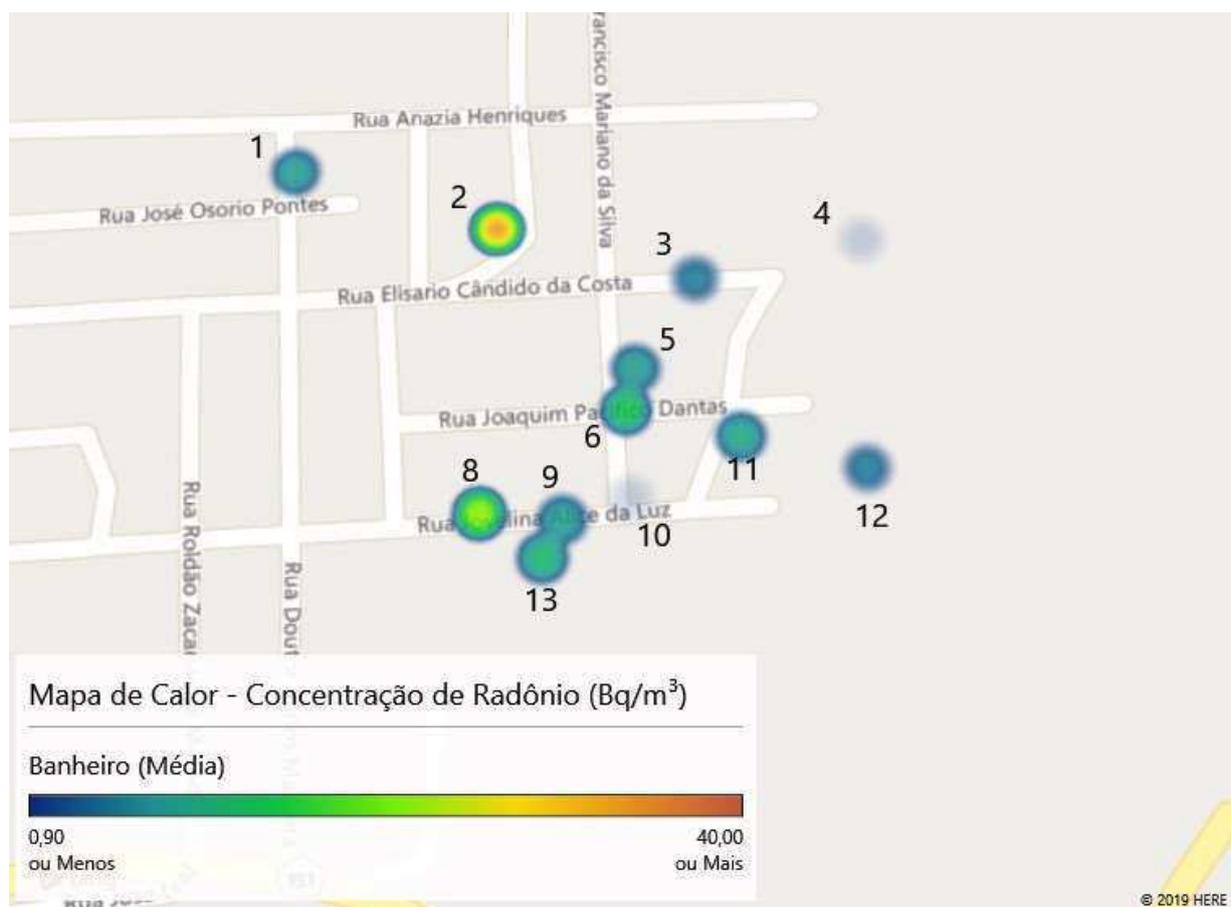
Fonte: Autoria Própria

Figura 17 - Mapa de Calor - Quarto



Fonte: Autoria Própria

Figura 18 - Mapa de Calor - Banheiro



Fonte: Autoria Própria

Observa-se que dois pontos se destacam com as maiores concentrações ao avaliar os dados obtidos nos quartos, sendo exatamente as duas residências mais distantes do corpo hídrico, com aproximadamente 430 m e 328 m do corpo hídrico. Outras cinco residências apresentam uma concentração média nessa escala, todavia em distâncias diferentes do corpo hídrico, e as outras seis residências restantes apresentam um pequeno valor de concentração, estando quatro delas com distâncias menores que 162 metros e duas com distâncias maiores que 242 metros de distância do corpo hídrico.

Já para os banheiros também se destacam dois pontos como sendo os de concentração mais elevada, todavia, uma das residências encontra-se próxima ao corpo hídrico e a outra distante, sendo a distância de 193 m e 328 m, respectivamente. Outras oito residências apresentam uma concentração média nessa escala e apresentam variadas distâncias do corpo hídricos, dentre elas a residência mais próxima e a mais distante do corpo hídrico. As três residências restantes, também com variadas distâncias do corpo hídrico, apresentam uma concentração muito menor que as

outras; uma delas não aparece no mapa de calor por ter uma concentração menor que $0,90 \text{ Bq/m}^3$, que é o valor mínimo para estar representado no mapa.

Assim, percebe-se que não há um padrão crescente ou decrescente nos valores das concentrações a partir do corpo hídrico, o que indica que, para uma distância mínima de 140 m não foi verificada influência nas concentrações de radônio 222 no ar na região.

6.4. Influência da origem da água consumida nas residências nas concentrações

Em virtude da escassez hídrica vivida no município, os moradores dispõem de maneiras distintas para manter o abastecimento nas suas residências; podendo essas maneiras serem fatores que influenciam nos dados de concentração de radônio. Portanto, foram coletadas informações junto aos moradores sobre qual a origem da água consumida nas residências. A Tabela 13 mostra a origem da água nas residências analisadas.

Tabela 13 - Origem da água nas residências analisadas

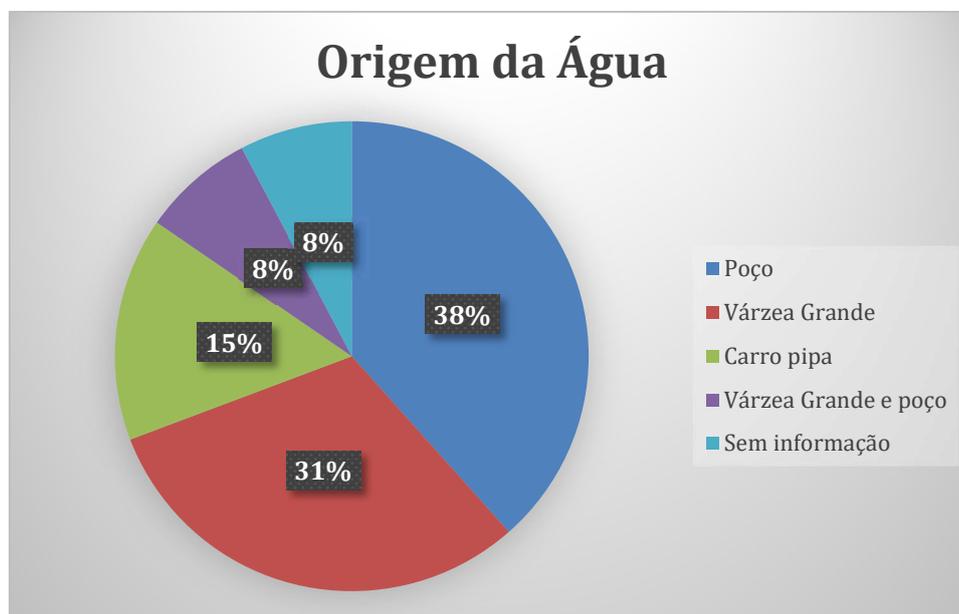
Residência	Origem da Água
1	Várzea Grande
2	Poço
3	Poço
4	Várzea Grande
5	Carro Pipa
6	Poço
7	Várzea Grande e poço
8	Carro Pipa
9	Várzea Grande
10	Sem informação
11	Poço
12	Várzea Grande
13	Poço

Fonte: Autoria Própria

A maior fonte de abastecimento entre as casas analisadas é através de poços e do açude Várzea Grande. Cinco residências são abastecidas apenas por poços; quatro abastecidas pelo açude Várzea Grande. Em uma residência existe uma forma de abastecimento mista, tendo sua água origem tanto de poço quanto do açude Várzea Grande. Duas residências são abastecidas por carros pipa, entretanto não há informações da procedência das águas dos carros pipas. Não há informação

sobre o abastecimento de uma das residências analisadas. A Figura 19 mostra as porcentagens de cada forma de abastecimento nas residências.

Figura 19 - Porcentagem de cada forma de abastecimento



Fonte: Autoria Própria

Com o software XLSTAT foi realizada uma análise de correlação entre os valores de radônio 222 obtidos tanto nos quartos quanto nos banheiros e a origem da água em cada residência. O nível de significância do teste de correlação foi estabelecido em 5%.

Para verificar se há maior relação do uso da água em áreas molhadas que em outros ambientes, foram feitos os testes de correlação entre a origem da água e os valores de radônio 222 tanto nos quartos quanto nos banheiros.

O teste de correlação entre os valores de radônio 222 nos quartos e a origem da água teve um coeficiente de correlação de $\rho = 0,286$ e um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,082$. O resultado indica uma correlação positiva fraca e que, estatisticamente, apenas 8,2% das concentrações de radônio 222 podem ser explicadas pela origem da água nas residências.

O teste de correlação entre os valores de radônio 222 nos banheiros e a origem da água teve um coeficiente de correlação de $\rho = -0,739$ e um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,546$. O resultado indica uma correlação negativa forte e que, estatisticamente, 54,6% das concentrações de radônio 222 podem ser explicadas pela origem da água nas residências.

Dessa forma é possível dizer que, nesse caso, há pouca ou nenhuma influência da origem da água nas residências na concentração de radônio 222 nos quartos; podendo essa influência ser decorrente de outros fatores como temperatura e características relacionadas a construção das

residências. E nos banheiros há uma influência forte da origem da água nas residências na concentração de radônio 222. Dentre as cinco maiores concentrações de radônio 222, quatro delas foram em residências que utilizam poços como fonte de abastecimento. Nas residências onde o abastecimento é feito através do açude Várzea Grande foram medidas apenas concentrações abaixo de 10 Bq/m³. Pode-se perceber então que os poços são a maior fonte de influência, reforçando o que foi dito por CORREA (2011), mostrando que, majoritariamente em águas de poços, as quantidades de rádio apresentam valor elevado, o que, por conseguinte, ocasiona o aumento das concentrações de radônio 222.

A maior influência da origem da água nas concentrações de radônio 222 nos banheiros que nos quartos se dá pelo fato de que o banheiro é um ambiente em que há o uso frequente de água; propiciando assim uma maior parcela de influência da água nas concentrações.

6.5. Influência da temperatura nas concentrações

Para a análise da influência da temperatura nas concentrações, os dados de concentrações obtidos não foram separados por ambiente (quarto e banheiro), mas de acordo com o dia em que foram realizadas as leituras nas residências. Cada dia de leitura apresenta uma temperatura média correspondente, excetuando os dias que não foram encontrados dados de temperatura. A Tabela 14 mostra as concentrações e as respectivas temperaturas nos dias de leitura.

Tabela 14 - Dados de temperatura

Data	Concentrações (Bq/m ³)	Temperatura Média (°C)
06/09/2019	5,92	27,26
07/09/2019	21,83	-
08/09/2019	32,93	-
09/09/2019	25,90	27,16
10/09/2019	6,66	25,66
11/09/2019	1,85	27,68
12/09/2019	3,70	27,66
13/09/2019	9,99	27,92
14/09/2019	6,66	28,34
15/09/2019	0,74	-
17/09/2019	17,76	27,84
18/09/2019	13,69	27,98
21/09/2019	11,84	27,26
22/09/2019	8,88	-
24/09/2019	17,76	28,68
25/09/2019	8,88	28,36
27/09/2019	5,92	28,38
28/09/2019	5,92	28,58
01/10/2019	10,73	28,40
02/10/2019	1,85	28,08
07/10/2019	17,76	28,22
08/10/2019	5,92	28,12
10/10/2019	13,69	29,00
11/10/2019	8,88	28,98
12/10/2019	47,73	28,30
13/10/2019	8,88	-

Fonte: Autoria Própria

A variação da temperatura média durante esse período foi de 3,34 °C. Excetuando a temperatura média do dia 10 de setembro de 2019, a variação torna-se de 1,84 °C. Dessa forma, percebe-se que a temperatura pouco variou durante esse período.

Com o software XLSTAT foi realizada uma análise de correlação entre os valores de radônio 222 obtidos e as temperaturas médias nos dias de leituras. O nível de significância do teste de correlação foi estabelecido em 5%.

O teste de correlação entre os valores de radônio 222 e as temperaturas médias nos dias de leitura teve um coeficiente de correlação de $\rho = 0,111$ e um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,012$. O resultado indica uma correlação positiva muito fraca e que, estatisticamente, apenas 1,2%

das concentrações de radônio 222, neste caso, podem ser explicadas pela temperatura média do local.

Tal resultado contraria o consenso geral acerca do assunto. De acordo com alguns autores, como NEMAN (2000), SANTOS (2010) e WHO (2009), a temperatura, assim como diversos outros fatores, influenciam nos resultados das concentrações de radônio 222. Todavia, existe uma complexa relação entre a temperatura e outros fatores meteorológicos. Mudanças na temperatura também são acompanhadas de alterações na umidade, no fluxo dos ventos e na pressão, o que dificulta separar o efeito exclusivo da temperatura nas concentrações de outros fatores que exercem uma maior influência nas concentrações, como o vento.

6.6. Influência das características construtivas das residências nas concentrações

Foram solicitados aos agentes de saúde que auxiliaram na leitura dos resultados que colhessem informações acerca da quantidade de portas e janelas existentes nos ambientes analisados, assim como também se há revestimento cerâmico ou não nos ambientes. As Tabelas 15 e 16 mostram as quantidades de portas e janelas nos quartos e banheiros e se há revestimento cerâmico nos banheiros. Todos os quartos possuem paredes pintadas.

Tabela 15 - Características do quarto

Residência	Quarto		Concentrações (Bq/m ³)
	Portas	Janelas	
1	2	1	47,73
2	1	1	25,90
3	2	0	5,92
4	2	0	10,73
5	S/ inform.	S/ inform.	13,69
6	1	0	17,76
7	2	1	6,66
8	1	1	5,92
9	2	1	17,76
10	1	1	6,66
11	1	1	3,70
12	1	0	17,76
13	1	1	8,88

Fonte: Autoria Própria

Tabela 16 - Características do banheiro

Residência	Banheiro			
	Portas	Janelas	Revestimento Cerâmico	Concentrações (Bq/m ³)
1	1	1	Sim	8,88
2	1	1	Sim	32,93
3	1	1	Sim	5,92
4	1	0	Sim	1,85
5	1	1	Sim	8,88
6	1	1	Sim	13,69
7	1	0	Não	0,74
8	1	1	Sim	21,83
9	1	1	Sim	8,88
10	1	1	Sim	1,85
11	1	1	Sim	9,99
12	1	1	Sim	5,92
13	1	1	Sim	11,84

Fonte: Autoria Própria

Não há informações sobre o quarto de uma das residências analisadas. Para as análises estatísticas, essa residência foi desconsiderada, utilizando apenas os dados das outras doze residências. Em relação aos quartos, em sete deles há apenas uma porta e em outros cinco há duas portas; e em oito deles há uma janela, enquanto em outros quatro quartos não há nenhuma.

Nos banheiros de todas as residências há apenas uma porta e em onze delas há uma janela, enquanto em outras duas não há janelas. Em apenas um banheiro não há revestimento cerâmico, justamente o banheiro da residência que apresentou a menor concentração dentre todas as residências analisadas. As duas residências em que não há janelas nos banheiros apresentaram as menores concentrações.

Com o software XLSTAT foi realizada uma análise de correlação entre os valores de radônio 222 obtidos tanto nos quartos quanto nos banheiros e suas características em relação ao número de aberturas (portas e janelas) e existência de revestimento cerâmico, no caso dos banheiros. O nível de significância do teste de correlação foi estabelecido em 5%.

O teste de correlação entre os valores de radônio 222 e a quantidade de aberturas nos quartos teve um coeficiente de correlação de $\rho = 0,136$ e um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,019$. O resultado indica uma correlação positiva muito fraca e que, estatisticamente, apenas 1,9% das concentrações de radônio 222, neste caso, podem ser explicadas pela quantidade de aberturas nos quartos.

O teste de correlação entre os valores de radônio 222 e quantidade de aberturas nos banheiros teve um coeficiente de correlação de $\rho = 0,595$ e um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,355$. O resultado indica uma correlação positiva moderada e que, estatisticamente, 35,5% das concentrações de radônio 222, neste caso, podem ser explicadas pela quantidade de aberturas nos banheiros.

Através das análises estatísticas, pode-se observar que nos quartos há pouca ou nenhuma influência da quantidade de aberturas nas concentrações de radônio 222. Possivelmente o que pode interferir nestas variações de concentração são a pintura, o reboco da casa, através da origem dos materiais de construção utilizados, o fluxo de ventilação e influências externas, como o solo. Alguns trabalhos, como BURKE (2003) e MELO (1999) afirmam que o solo tem contribuição na exalação de radônio até 10 vezes maior que materiais de construção.

Nos banheiros, apesar de haver pouca diferença nas quantidades de aberturas, percebe-se uma influência moderada delas nas concentrações de radônio 222; o fluxo de ventilação no ambiente pode ter sido um fator que alterou os valores das concentrações de radônio 222 nos banheiros.

7. CONCLUSÕES

- Com relação a exposição de radônio 222 nas residências do bairro JK, no município de Picuí, os resultados de concentrações obtidos estão de acordo com os padrões estabelecidos pela OMS, de 100 Bq/m³.
- Os valores de concentrações de radônio 222 encontrados foram maiores nos quartos que nos banheiros, indicando, possivelmente, uma possível relação com a ventilação restrita no ambiente, o uso dos materiais de construção utilizados no ambiente e outros fatores não analisados.
- O “Açude de Jandovi” não apresentou influência nas concentrações de radônio 222 no ar, pois não foi encontrado um padrão crescente ou decrescente nos valores de concentrações a partir do corpo hídrico para a distância mínima de 140 m.
- A temperatura média pouco variou durante os dias de leituras. A maior variação entre todos os dias foi 3,34 °C. Através de análise estatística foi avaliado que é fraca a correlação entre a temperatura média e os valores de concentrações obtidos.
- Através de análise estatística, foi identificado que há uma correlação fraca entre os valores de concentrações obtidos nos quartos e a origem da água utilizada, o que já era esperado, visto que não é comum a utilização de água nos quartos.
- Nos banheiros, foi possível identificar uma forte correlação entre os valores de concentrações obtidos e a origem da água utilizada, devido ao frequente uso de água nesse ambiente.
- Através de análise estatística foi identificado que há uma fraca correlação entre a quantidade de aberturas nos quartos e as concentrações de radônio 222 obtidas e moderada correlação entre as quantidades de aberturas nos banheiros e as concentrações de radônio 222.
- Fatores não analisados como a origem dos materiais de construção presentes nas residências, fluxo de ventilação, o solo ou outros elementos podem influenciar nas concentrações de radônio 222 no ar.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- É necessária uma investigação mais acurada em outras localidades do município e, caso preciso, uma elaboração de propostas de mitigação.
- Os maiores valores de concentrações de radônio 222 foram encontrados em residências que utilizam poços com fonte principal de abastecimento, o que pode indicar a necessidade de um estudo aprofundado em residências que façam uso dessa fonte de abastecimento.
- Analisar outros fatores de influência nas concentrações de radônio 222, como materiais de construção, fluxo de ventilação e o solo.

8. REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. **Comitê de bacias – Bacia Hidrográfica Piranhas – Açu**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/piranhas-acu/>>. Acesso em: setembro de 2019

Airthings Home. **Radon Detector**. Disponível em: <<https://www.airthings.com/home>>. Acesso em: junho de 2019.

American Cancer Society – ACS. **Learns About Cancer: Find Information and resources for a specific câncer topic**, 2012. Disponível em: <www.cancer.org/CancerCauses/OtherCarcinogens/Pollution/radon>. Acesso em: junho de 2019.

BURKE, A.K.; STANCATO, A.C.; PAULON, V.A. **Study of radon emanation from polymer-modified cementitious materials**. Building and Environment. V. 38, p. 1291-1295. 2003.

CARDOSO, Domingos D' Oliveira. **Metodologia para Determinação Simultânea do Radônio e Torônio**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997.

CASTRO, C.A.C. et al. **Estudo do comportamento dos gases radônio e torônio presentes no ar em centro comercial do Rio de Janeiro e Poços de Caldas**. INAC, 2005.

CNEM – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Posição Regulatória 3.01/007**. Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

CNM. Confederação Nacional dos Municípios. **Município de Picuí**. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/municipios/picui>>. Acesso em: agosto de 2019.

COMMISSION RECOMMENDATION of the Protection of the Public Against Exposure to Radon in Drinking Water Supplies. **Journal of the European Communities**. Document number 4589, 2001.

CORRÊA, J.N. **Avaliação da concentração de gás radônio em ambientes de convívio humano na região metropolitana de Curitiba.** 2006. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

CORRÊA, J.N. **Avaliação dos níveis de concentração de radônio em ambientes e águas de poços no estado do Paraná.** 2011. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Diagnóstico do município de Picuí.** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2005.

DA SILVA, A. A. R. **Radônio e filhos em residências da Cidade de São Paulo.** São Paulo, 2005. Tese de Doutorado. Instituto de Física, USP.

DEL CLARO, Flávia. **Avaliação da concentração de radônio-222 no ar de postos de trabalho de Curitiba/PR.** 2013. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

DUARTE, C.R. 2002. **Radioelementos naturais na área do projeto Rio Preto (GO).** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade de São Paulo, Rio Claro, 169p.

DYCK, W.; JONASSON, J.R. **Handbook of Exploration Geochemistry.** 1. Ed. Amsterdã: Elsevier Science, v.7, p. 353-394, 2000.

EPA – Environmental Protection Agency. **Building Radon Out: A Step-by-Step Guide on How To Build Radon Resistant Homes.** Office of Air and Radiation, 2001.

EPA – Environmental Protection Agency. **National primary drinking water regulations; radionuclides; final rule.** v.65, n; 236, 2000. Washington, D.C, 2000.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. Dissertação de. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

FIANCO, A.C.B. **Concentrações de radônio nas águas subterrâneas, rochas e solos de Porto Alegre, RS**. 2011. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

GERALDO, L.P.; SANTOS, W.; MARQUES, A.L.; BOTARI, A. **Medidas dos níveis de radônio em diferentes tipos de ambientes internos na região da Baixada Santista, SP**. Radiologia Brasileira, v. 38, n. 4, p. 283 – 286, 2005.

Google Earth. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: julho de 2019.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines**, Safety Reports Series nº 33, 2003. IAEA Library Vienna.

IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: junho de 2019.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **ICRP 106 Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals**. Oxford: Pergamon Press, v. 38, n. 1-2, 2008.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: outubro de 2019.

MEDEIROS, R.M.; FRANCISCO, P.R.M.; TAVARES, A.L.; SILVA, V.M.A.; FILHO, M.F.G. **Variabilidade climática e impactos ambientais no processo de desertificação no município de Picuí-PB**. Universidade Estadual da Paraíba. Departamento de Geografia. Revista Conexão Geográfica, p. 95-96, 2016.

MELO, V.P. **Avaliação da concentração do ²²²Rn nos ambientes internos e externos de residências no município de Monte Alegre, PA**. Centro de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1999.

NEMAN, R.S. **Medida da contaminação radioativa do ar ambiental por radônio-222 e filhos em residências de Campinas – SP, Brasil.** 2000. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

NNDC. National Nuclear Data Center. **Chart of Nuclides from Brookhaven National Laboratory.** Disponível em: www.nndc.bnl.gov/chart. Acesso em: maio de 2019.

NRPB – National Radiological Protection Board. **National Protocol for Patient Dose Measurements in Diagnostic Radiology.** Institute of Physical Sciences in Medicine. College of Radiographers. 1989.

OLIVEIRA, W.H.A. **Exposição ao radônio em ambiente residencial e câncer de pulmão: uma revisão de literatura.** Faculdade de medicina da Bahia. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.

OperData. **Coefficiente de Correlação.** Disponível em: www.operdata.com.br/blog/coeficientes-de-correlacao/. Acesso em: outubro de 2019.

PMGIRS – **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – Picuí/PB.** Diagnóstico do município e ações consorciadas. 2013.

Portal Action. **Análise de Regressão – Coeficiente de Determinação.** Disponível em: www.portalaction.com.br/analise-de-regressao/16-coeficiente-de-determinacao. Acesso em: outubro de 2019.

Radioproteção na Prática. **De onde vem a radiação.** Disponível em: <https://radioprotecaonapratica.com.br/de-onde-vem-radiacao/>. Acesso em: maio de 2019.

RAHMAN, S., MATI, N., MATIULLAH, GHOURI, B. **Radon exhalation rate from the soil, sand and brick samples collected from NWFP and Fata, Pakistan.** Radiation Protection Dosimetry. V.124, n. 4. p. 392-399. 2007.

REBELO, A.M.A.; BITTENCOURT, A.V.K.; MANTOVANI, L.E. 2003. **Modelos de exalação de radônio em paisagens tropicais úmidas sobre granitos**. Boletim Paranaense de Geologia. UFPR. 52, 61-76.

SANTOS, R. Y. O.; LISBOA, V. A. C.; OLIVEIRA, J.R.S.; BARROS, T.S.C. **Mapeamento geológico do Pegmatito Alto do Urubu, município de Picuí (PB), Faixa Seridó, Província Pegmatítica da Borborema**. Revisa Príncipia. Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB. 2018

SANTOS, T.O. Distribuição da concentração de radônio em residências e outras construções da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação do Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2010.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, anexo A, 1993. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, anexo I, 2000. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, annex E, v. II, 2006. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and effects of Ionizing Radiation**, annex B, v. I, 2008. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1999. **Radon in drinking water health risk reduction and cost analysis**. Washington, Federal Register 64, pp. 9559-9599.

WHO – World Health Organization. **Handbook on Indoor Radon.** A Public Health Perspective, Switzerland: WHO press, 2009.