

CENTRO UNIVERSITÁRIO ESTADUAL DA ZONA OESTE
Colegiado de Computação e Matemática Aplicada
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

DIOGO FERREIRA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA ANÁLISE DE
RISCO RADIOLÓGICO**

RIO DE JANEIRO, BRASIL.
2018

DIOGO FERREIRA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA ANÁLISE DE
RISCO RADIOLÓGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado de Computação
e Matemática Aplicada do Centro
Universitário Estadual da Zona Oeste
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Maurício Quelhas Antolin

DIOGO FERREIRA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA ANÁLISE DE
RISCO RADIOLÓGICO**

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação do Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, foi aprovado com a nota final 9,0 (nove).

Prof. Dr. Maurício Quelhas Antolin
Examinador / Orientador / Presidente

Prof. Dr. Giancarlo Cordeiro da Costa
Examinador

Prof. Dr. Mauro César Cantarino Gil
Examinador

Rio de Janeiro, 17 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido chegar até aqui.

À minha família pelo incentivo e apoio constantes.

Àqueles que contribuíram para a formulação deste trabalho.

Ao meu professor e orientador, Maurício Quelhas Antolin, pelo convite, auxílio, incentivo e toda ajuda necessária para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

RESUMO

Como consequência de um acidente radiológico ou nuclear, um estado de contínuo dano social, econômico, político e de saúde pública pode ocorrer, sendo conveniente não só a capacidade adequada de prontidão e resposta como também uma avaliação de riscos futuros (ROTHER, 2018, p. 9).

A coleta de dados do cenário em questão deve ser feita, a fim de medir os níveis de radiação. A partir do levantamento do conjunto de dados por equipamentos e pessoal especializados, são necessários cálculos para estimar consequências de efeitos estocásticos causadas em indivíduos (vítimas do acidente ou atentado e também socorristas) que estiveram no ambiente contaminado.

Este projeto propõe a criação de uma aplicação *desktop* (com interface *web* para se comunicar com um aplicativo *mobile*) com o objetivo de organizar, avaliar e tratar dados coletados de eventos radiológicos, através de equações e cálculos que ajudem a produzir estimativas visuais (por meio de gráficos) de desenvolvimento de câncer em indivíduos que estiveram em áreas de contaminação radiológica. As estimativas geradas têm como papel ajudar na tomada de decisão em caso de acidente nuclear ou atentado com um dispositivo de dispersão radiológico.

Palavras-chave: Análise de Risco. Estimativas Visuais. Processamento de Dados. Risco Radiológico.

ABSTRACT

As a consequence of a radiological or nuclear accident, a state of continuous social, economic, political, and public health harm can occur, being appropriate not only the adequate capacity of readiness and response but also an evaluation of future risks (ROTHER, 2018, p.9).

The data collection of the scenario in question should be done in order to measure the levels of radiation. From the collection of data by specialized equipment and personnel, calculations are necessary to estimate the consequences of stochastic effects on individuals (victims of the accident or attack and also first responders) who have been in the contaminated environment.

This project proposes the creation of a desktop application (with a web interface to communicate with a mobile application) in order to organize, evaluate and treat data collected from radiological events, through equations and calculations that help to produce visual estimates (by means of charts) of cancer development in individuals who were in areas of radiological contamination. The generated estimates have the role of assisting in decision making in case of nuclear accident or attack with a radiological dispersion device.

Key words: Data Processing. Radiological Risk. Visual Estimates. Risk Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do cenário proposto para este trabalho	16
Figura 2. Radiação ionizante	18
Figura 3. Blindagem mínima para radiações α , β e γ	22
Figura 4. Fases do efeito biológico produzido pela radiação ionizante	23
Figura 5. Diferentes níveis de radiação e seus efeitos	26
Figura 6. Trecho do arquivo feito pelo <i>software</i> SPIR a partir do levantamento radiométrico aéreo com uso do aparelho de detecção SpiR-ID em 2016	33
Figura 7. Trecho das colunas de interesse que serão usadas como fonte de dados	34
Figura 8. Exemplo de visualização dos resultados no aplicativo Análise de Risco	39
Figura 9. Visualização das estimativas de um componente da lista de leituras no aplicativo ERR	41
Figura 10. Diagrama de Caso de Uso do sistema	42
Figura 11. Diagrama de Pacotes da aplicação Análise de Risco	46
Figura 12. Atributos do Diagrama de Classe da classe FormJanelaPrincipal do pacote ViewProject ..	47
Figura 13. Métodos do Diagrama de Classe da classe FormJanelaPrincipal do pacote ViewProject ...	48
Figura 14. Diagrama de Classe das classes do pacote ModelProject	49
Figura 15. Diagrama de Classe da classe PersistenciaDados do pacote PersistenceProject	50
Figura 16. Diagrama de Pacotes da aplicação ERR	51
Figura 17. Diagrama de Classe das classes do pacote views	52
Figura 18. Diagrama de Classe das classes do pacote data	53
Figura 19. Diagrama de Classe da classe CustomChart do pacote entities	54
Figura 20. Diagrama de Classe da classe ChartListAdapter do pacote adapter	54
Figura 21. Diagrama de Classe da classe ConstantsCharts do pacote constants	55
Figura 22. Diagrama de Classe da interface OnListClickInteractionListener do pacote listener	55
Figura 23. Diagrama de Classe da classe ChartViewHolder do pacote viewholder	55
Figura 24. Tela inicial do aplicativo Análise de Risco	56
Figura 25. Diálogo de abertura do arquivo de levantamento radiométrico aéreo	57
Figura 26. Mensagem em caso de cancelamento da busca do arquivo	57
Figura 27. Mensagem de erro caso o arquivo escolhido seja inválido	58
Figura 28. Mensagem de erro caso o arquivo de levantamento radiométrico contenha algum erro	59
Figura 29. Mensagem de sucesso após abrir o arquivo correto	60
Figura 30. Mensagem de aviso caso o arquivo já tenha seus resultados salvos no Firebase	61
Figura 31. Diálogo para visualização dos resultados após cálculo das estimativas de ERR/Sv	62

Figura 32. Tela de Resultado em branco.....	63
Figura 33. Tela de Resultado com dados visíveis	63
Figura 34. Diálogo para envio das estimativas para o Firebase	64
Figura 35. Mensagem de sucesso caso os dados tenham sido enviados para a base de dados do Firebase	65
Figura 36. Diálogo para gravação da dose absorvida D em um arquivo externo.....	66
Figura 37. Diálogo para armazenamento e criação do arquivo com dados de dose gravados	66
Figura 38. Mensagem de sucesso ao gravar os dados no arquivo externo	67
Figura 39. Equações de dosimetria da Tela Equações	68
Figura 40. Equações do BEIR VII da Tela de Equações.....	68
Figura 41. Diálogo para abertura de um novo arquivo de levantamento radiométrico aéreo	69
Figura 42. Tela inicial do aplicativo ERR.....	70
Figura 43. Visualização dos resultados de uma leitura escolhida na tela inicial.....	71
Figura 44. Trecho das doses calculadas na aplicação <i>desktop</i> Análise de Risco	72
Figura 45. Resultado das estimativas de ERR em função da dose (D)	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Unidades de dose de radiação e definições clássicas	25
Tabela 2. Valores de cada variável referente à equação (5)	29
Tabela 3. Funções específicas para indivíduos do sexo masculino.....	38
Tabela 4. Funções específicas para indivíduos do sexo feminino.....	39
Tabela 5. Descrição do Caso de Uso Escolher arquivo de levantamento radiométrico	43
Tabela 6. Descrição do Caso de Uso Calcula Estimativas de Excesso de Risco Relativo	43
Tabela 7. Descrição do Caso de Uso Visualiza Resultados	44
Tabela 8. Descrição do Caso de Uso Grava Resultados de dose absorvida em arquivo	44
Tabela 9. Descrição do Caso de Uso Envia estimativas de ERR/Sv para o Firebase	44
Tabela 10. Descrição do Caso de Uso Atualiza Lista de Leituras a partir de consulta ao Firebase.....	45
Tabela 11. Descrição do Caso de Uso Escolhe uma leitura	45
Tabela 12. Descrição do Caso de Uso Visualiza Resultados no App	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEIR VII	<i>Biological Effects of Ionizing Radiation committee VII</i>
ERR	<i>Excess Relative Risk</i> - Excesso de Risco Relativo
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> – Protocolo de Transferência de Hipertexto
BaaS	<i>Backend as a Service</i> – <i>Backend</i> como serviço
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i> – Ácido desoxirribonucleico
CGS	<i>Centimetre-Gram-Second system of units</i> – sistema de unidades Centímetro-Grama-Segundo
LET	<i>Linear Energy Transfer</i> – Transferência Linear de Energia
LSS	<i>Life Span Study</i>
RERF	<i>Radiation Effects Research Foundation</i>
RR	<i>Relative Risk</i> – Risco Relativo
POO	Programação Orientada a Objetos
UML	<i>Unified Modeling Language</i> – Linguagem de Modelagem Unificada
BAvEx	Batalhão de Aviação do Exército Brasileiro
RDD	<i>Radiological Dispersal Device</i> – Dispositivo de Dispersão Radiológico
VB	<i>Visual Basic</i>
COOL	<i>C-Like Object Oriented Language</i>
CLR	<i>Common Language Runtime</i>
SO	Sistema Operacional
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> – Linguagem de Marcação de Hipertexto
JVM	<i>Java Virtual Machine</i> – Máquina Virtual Java
API	<i>Application Programming Interface</i> – Interface de Programação de Aplicativos
SDK	<i>Software Development Kit</i> – Kit de Desenvolvimento de <i>Software</i>
UX	<i>User Experience</i> – Experiência do Usuário
NoSQL	<i>Not Only Structured Query Language</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i> – Linguagem de Marcação Extensível
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> – Ambiente de Desenvolvimento Integrado

LISTAS DE SÍMBOLOS

γ	Radiação gama
eV	Elétron-volt
α	Radiação alfa
β	Radiação beta
J	Joule
erg	Unidade de energia e trabalho igual a 10^{-7} Joules
rad	<i>Radiation absorbed dose</i> – dose absorvida de radiação
D	Dose absorvida
$d_{\bar{\epsilon}}$	Energia média depositada pela radiação num meio
dm	Massa do meio que recebe a energia média depositada pela radiação
H	Dose equivalente
Q	Fator de ponderação da radiação
β_s	ERR/Sv por sexo
Sv	Sievert
<i>rem</i>	<i>Roentgen equivalent man</i>
Gy	Gray
λ_E	Taxa de incidência de grupos expostos
λ_N	Taxa de incidência de grupos não expostos

SUMÁRIO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
1.1 Radiação Ionizante	17
1.2 Radiações nucleares	18
1.3 Fontes naturais e artificiais de radiação ionizante	18
1.3.1 Fontes naturais.....	18
1.3.1.1 A radiação cósmica	19
1.3.2 Fontes artificiais	19
1.4 Efeitos biológicos provocados pela radiação	20
1.4.1 Efeitos Estocásticos.....	21
1.4.2 Efeitos Determinísticos	21
1.4.3 Exposição à radiação	21
1.4.4 Danos celulares	23
1.5 Dosimetria	24
1.5.1 Dose absorvida (<i>Absorbed dose</i>), <i>D</i>	24
1.5.2 Dose equivalente (<i>Dose equivalent</i>), <i>H</i>	25
1.5.2.1 Sievert	26
1.6 Fatores de influência	26
1.7 Leucemia	27
1.8 Modelo BEIR VII.....	27
1.8.1 Excesso de Risco Relativo para a Leucemia	28
1.9 Programação Orientada a Objetos	30
1.10 UML.....	30
METODOLOGIA	32
2.1 Tecnologias	34
2.1.1 C#	34
2.1.2 Java.....	35
2.1.3 <i>Backend as a Service</i> (BaaS).....	35
2.1.4 Firebase	36
2.1.5 Json.NET	37
2.1.6 MPAndroidChart.....	37
2.2 Descrição do Sistema	37
2.2.1 Aplicação <i>desktop</i> Análise de Risco	37
2.2.2 Aplicativo <i>mobile</i> ERR	40

MODELAGEM DO SISTEMA	42
3.1 Diagrama de Caso de Uso do sistema	42
3.1.1 Descrição de caso de uso	43
3.2 Diagrama de Classes da aplicação <i>desktop</i> Análise de Risco	46
3.2.1 Visão em Pacotes (arquitetura lógica)	46
3.2.2 Visão detalhada das classes	47
3.2.2.1 Classe do pacote ViewProject	47
3.2.2.1.1 Atributos da classe FormJanelaPrincipal	47
3.2.2.1.2 Métodos da classe FormJanelaPrincipal	48
3.2.2.2 Classes do pacote ModelProject	49
3.2.2.3 Classe do pacote PersistenceProject	50
3.3 Diagrama de Classes da aplicação <i>mobile</i> ERR	51
3.3.1 Visão em Pacotes (arquitetura lógica)	51
3.3.2 Visão detalhada das classes	52
3.3.2.1 Classes do pacote views	52
3.3.2.2 Classes do pacote data	53
3.3.2.3 Classe do pacote entities	54
3.3.2.4 Classe do pacote adapter	54
3.3.2.5 Classe do pacote constants	55
3.3.2.6 Interface do pacote listener	55
3.3.2.7 Classe do pacote viewholder	55
GUIA DE USO DO SISTEMA	56
4.1 Guia de uso da aplicação <i>desktop</i> Análise de Risco	56
4.1.1 Tela Inicial Abrir Arquivo	56
4.1.2 Tela Resultado	62
4.1.3 Tela Equações	67
4.1.4 Outras opções	69
4.2 Guia de uso da aplicação <i>mobile</i> ERR	70
CONCLUSÃO	72
5.1 Resultados	72
5.2 Conclusão e Trabalhos Futuros	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

INTRODUÇÃO

Com a coleta de dados de diversos tipos e em quantidades significativas, surge a necessidade de interpretá-los e extrair resultado relevante destes. Um dos desafios da humanidade nos dias de hoje é de encontrar meios de tornar cada vez mais eficiente o manuseio, armazenamento, processo e visualização de dados em massa.

Como consequência do crescimento do volume de dados, a visualização de dados se faz necessária em qualquer tipo de aplicação que detenha grandes volumes de informações (como exemplos, dados financeiros de bolsas de valores e levantamentos demográficos). Após coletar, tratar e compilar dados de determinado tipo através de algoritmos, um dos meios de interpretar os resultados é com o uso de gráficos, que têm como objetivo expressar visualmente os dados e seus valores, a fim de facilitar a compreensão de forma mais “natural” do conjunto de informações. Este tipo de representação facilita a leitura e a verificação da relação entre os dados expostos.

Junto à visualização e interpretação dos dados, o processamento de dados também vem se tornando cada vez mais complexo e eficiente, para lidar com dados de qualquer tipo. Cabe ao *software* de geração visual de dados ser o mais especializado possível (em determinado tipo de dados), aplicando cálculos e técnicas sofisticadas para garantir a confiabilidade nos resultados obtidos por ele.

A disponibilização e visualização de dados é um fator decisivo para uma análise de risco, ou seja: definir respostas a partir do uso sistemático de informação disponível para determinar quão frequentemente eventos especificados pode ocorrer e a magnitude de suas consequências.

Por muitas vezes, é necessário ter uma resposta rápida a um evento, como por exemplo, catástrofes naturais - descobrir uma rota de fuga para vítimas, ou pontos de maior e menor intensidade da catástrofe; infecção de grandes servidores por vírus computacionais com o objetivo de roubar informações sigilosas - traçar caminhos e endereços que podem ser os próximos alvos para evitar reprodução do vírus e proteger as informações; eventos radiológicos (acidentais ou ataques nucleares) - medir níveis de radiação e números de expostos a ela para tomar uma decisão com base nas informações a fim de tratar adequadamente cada vítima e de impedir o crescimento de vítimas ao longo dos anos; entre muitos outros casos.

Entretanto, o processo de análise de risco também pode considerar resultados potenciais positivos. Explorando o espaço completo de resultados possíveis para uma dada situação, uma boa análise de risco pode identificar tanto as armadilhas quanto apontar novas oportunidades.

Para um evento de natureza radiológica, a análise de risco pode favorecer na descoberta e criação de conjuntos de medidas que visam proteger o homem e o ecossistema de possíveis efeitos indesejáveis causados pelas radiações ionizantes. Quando se faz uma avaliação dos níveis de radioatividade natural, de dispersão de material radioativo por instalações do ciclo do combustível nuclear, ou de eventos nucleares propositais, a preocupação sempre foi os níveis de exposição ou contaminação a que as pessoas poderiam ser expostas, direta ou indiretamente, causando doses de radiação e riscos adicionais de dano à saúde. Por isso, a análise de risco é uma etapa importante da tomada de decisões: pois podemos assim detectar por meio da observância e tratamento das informações, consequências dos eventos que já aconteceram ou que estão para acontecer.

Com a finalidade de ajudar na tomada de decisões em situações críticas, como exemplos os acidentes radiológicos de Chernobyl em 1986, de Goiânia em 1987 e mais recentemente de Fukushima em 2014, a visualização de dados permite que os órgãos competentes atuem de maneira mais rápida e eficaz.

Este trabalho propõe um sistema de análise de risco baseada no documento *Biological Effects of Ionizing Radiation committee VII* (BEIR VII), para identificar a incidência de câncer em indivíduos atingidos por radiações ionizantes. A probabilidade de ocorrência de um câncer radioinduzido depende do número de clones de células modificadas no tecido ou órgão, uma vez que depende da sobrevivência de pelo menos um deles para garantir a progressão. O período de aparecimento do câncer após a exposição pode chegar até 40 anos. No caso da leucemia, a frequência passa por um máximo entre 5 a 7 anos, com período de latência de 2 anos. Por conta da rapidez no surgimento dos efeitos biológicos da leucemia, esta é escolhida como possível patologia resultante das estimativas geradas a partir das equações propostas pelo BEIR VII.

O sistema desenvolvido terá a capacidade de armazenar temporariamente dados já coletados de eventos radiológicos para calcular as estimativas de excesso de risco relativo para o surgimento de leucemia, e, gerar gráficos que simplifiquem os resultados obtidos. Além disto, a aplicação *desktop* do sistema (denominada “Análise de Risco”) poderá enviar as estimativas para outra aplicação *mobile* (denominada “ERR”), que será responsável por gerar a mesma visualização dos resultados através de gráficos.

Por ser específico para eventos radiológicos, o sistema dará apoio a pessoas especializadas (como técnicos e pesquisadores) que estejam envolvidas direta ou indiretamente em busca das consequências provocadas pelos eventos, permitindo o acesso aos resultados e estimativas, a fim de produzirem soluções e tomarem decisões mais eficazes como resposta aos eventos radiológicos, sejam acidentes ou atentados.

A aplicação *desktop* armazenará os dados (já coletados previamente) em uma base de dados própria, organizando-os, para posteriormente calcular as estimativas de desenvolvimento de leucemia em indivíduos expostos diretamente a um evento de radiação ionizante. Seguindo as regras impostas pelo documento BEIR VII, as estimativas são calculadas de acordo com a divisão dos indivíduos expostos por sexo e tempo após exposição. As estimativas serão retornadas ao usuário por meio de gráficos, que visam facilitar o entendimento dos resultados.

A mesma aplicação ainda possui uma pequena interface *web* que permite o envio (através de requisições HTTP) dos resultados das estimativas para uma base de dados *online*. As estimativas armazenadas nessa base de dados *online* alimentarão o aplicativo ERR que será responsável por exibir os gráficos que representam as estimativas já calculadas. Este sistema permite, por exemplo, que um especialista que tenha acesso aos dados radiológicos coletados de um ambiente contaminado, possa calcular as estimativas e enviá-las (através da aplicação Análise de Risco) para pessoas diretamente interessadas nos resultados do evento, bastando que tenham o aplicativo ERR instalado em seus *smartphones*. Assim, poderão visualizar rapidamente as estimativas de desenvolvimento de leucemia em indivíduos que tenham sido expostos a radiação.

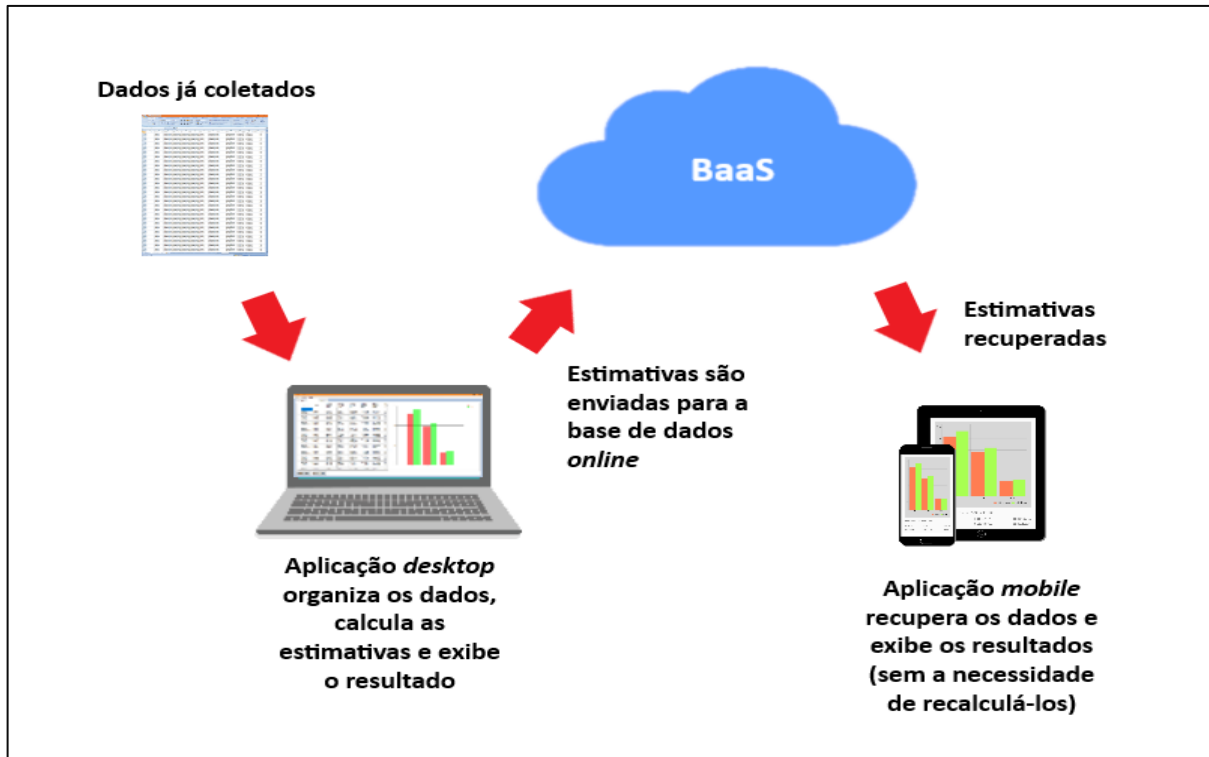


Figura 1. Ilustração do cenário proposto para este trabalho

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Radiação Ionizante

Uma radiação eletromagnética pode ser explicada como uma perturbação onde campos elétricos e magnéticos estão conjugados e defasados no espaço. É uma vibração simultânea de campos magnético e elétrico, perpendiculares entre si, originados durante uma transição atômica, pela movimentação da carga e momento magnético da partícula, que pode ocorrer quando uma entidade quântica modifica seu estado de energia, podendo ser caracterizado pelo momento angular, spin e paridade (TAUHATA, 2014).

Assim, uma radiação ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas, ou seja, é capaz de arrancar um elétron de um átomo ou de uma molécula, transformando-o em um par de íons. São partículas capazes de produzir ionização em um meio, sendo diretamente ionizantes as partículas carregadas, como elétrons, pósitrons, prótons, partículas-alfa e, indiretamente ionizantes aquelas partículas sem carga, como fótons (raios X e raios gama (γ)) e nêutrons. Estas últimas partículas não produzem ionização, mas a mesma é gerada pela partícula carregada (elétron) que se origina da interação das partículas sem carga com a matéria.

Conceitualmente, radiação ionizante é a radiação eletromagnética ou partícula de alta energia que, ao interagir com o meio absorvedor, tem a propriedade de transferir, integral ou parcialmente, energia para o meio, resultando no fenômeno de ionização (ROTHER, 2018).

Por apresentarem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, as radiações ionizantes são capazes de alterar conformações eletroquímicas, resultando em elétrons livres de alta energia, íons positivos ou radicais livres, que são responsáveis por produzir quebras de ligações químicas das mais variadas. Os efeitos de maior ou menor importância biológica, conforme o tipo de organismo ou tecido irradiado, serão consequências das alterações físico-químicas no meio biológico exposto à ação da radiação (ROTHER, 2018).

Pode-se definir ainda radiação ionizante como aquela que apresenta comprimento de onda menor que 1000 ângstrons ou energia mínima acima de 12,4 eV (elétron-volt) (BIRAL, 2002).

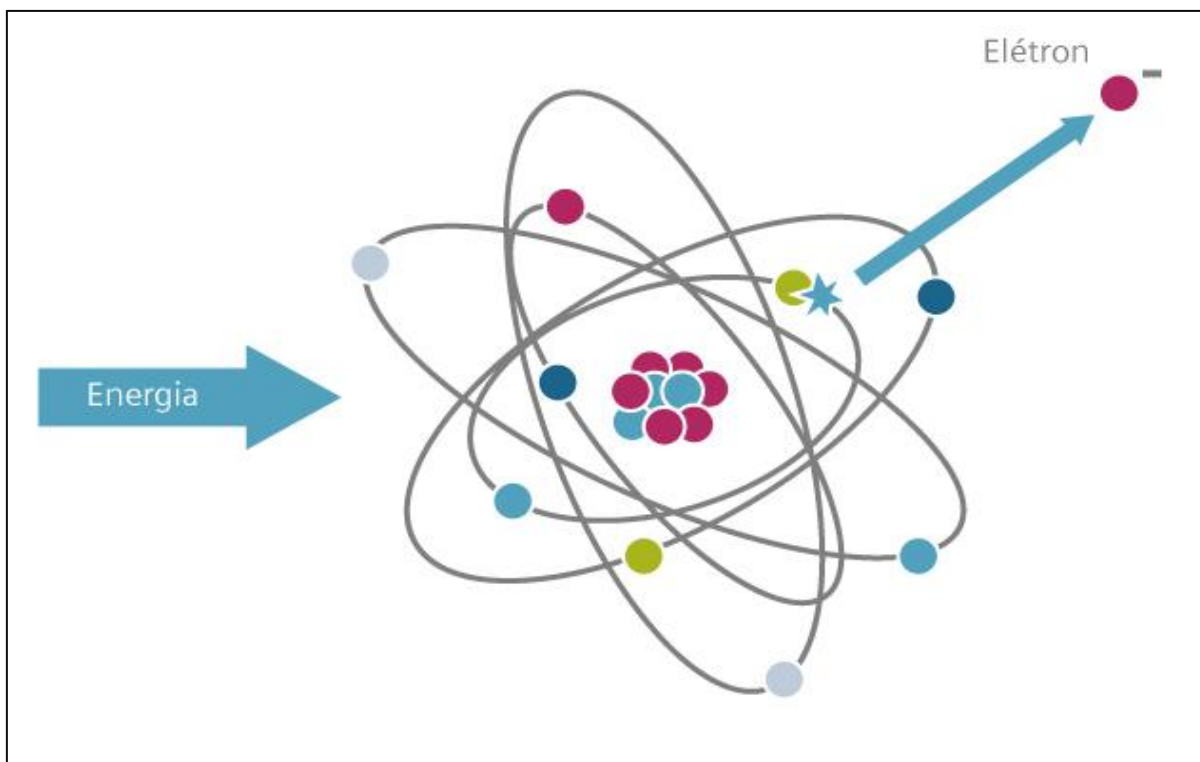


Figura 2. Radiação ionizante

Fonte: Adaptado de <http://www.radiacao-medica.com.br/dados-sobre-radiacao/o-que-e-radiacao/radiacao-ionizante/>

1.2 Radiações nucleares

A radiação nuclear é composta por partículas ou ondas eletromagnéticas emitidas pelo núcleo durante o processo de reestruturação interna, para atingir a estabilidade. Devido à intensidade das forças atuantes dentro do núcleo atômico, as radiações nucleares são altamente energéticas quando comparadas com as radiações emitidas pelas camadas eletrônicas. As radiações não são produtos da desintegração nuclear, como se os núcleos instáveis estivessem se “quebrando”. Pelo contrário, elas são indicadores das transformações do núcleo instável, na busca de estados de maior estabilidade e perfeição, ou seja, as radiações são produtos da otimização da estrutura e dinâmica do núcleo.

1.3 Fontes naturais e artificiais de radiação ionizante

1.3.1 Fontes naturais

As teorias sobre a origem dos elementos químicos no Universo e na Terra indicam as estrelas como os locais de onde se desenvolveram e desenvolvem os processos de síntese. As

estrelas, compostas inicialmente de hidrogênio, nos diversos estágios de sua evolução, conseguem formar muitos elementos químicos por meio de reações nucleares de fusão, induzidas por temperaturas altíssimas provocadas por contrações gravitacionais de suas massas e pela energia liberada nas reações. A produção em “larga escala” de elementos químicos ocorre na fase de explosão de supernova, que algumas estrelas atingem. Neste evento catastrófico, de duração média de 2 segundos, é sintetizada a maioria dos núcleos conhecidos.

Os núcleos sintetizados são dispersos no espaço sideral após a explosão, e acabam se incorporando ou são depositados em planetas, asteroides e até outras estrelas, por atração gravitacional.

Devido ao processo de captura rápida de nêutrons durante o processo de explosão da supernova, a maioria dos núcleos dos elementos químicos sintetizados é instável. Num intervalo pequeno de tempo muitos deles se tornam estáveis ao emitir radiação, por terem a meia-vida muito pequena (OKUNO, 2010).

1.3.1.1 A radiação cósmica

Raios cósmicos são partículas altamente energéticas, principalmente prótons, elétrons, nêutrons, mésons, neutrinos, núcleos leves e radiação gama, provenientes do espaço sideral. A energia destas radiações é muito alta, da ordem de centenas de MeV (mega elétron-volt) a GeV (giga elétron-volt). Muitas são freadas pela atmosfera terrestre ou desviadas pelo cinturão magnético de Van Allen. Além de interagir com os raios cósmicos, a atmosfera terrestre exerce um papel de blindagem para os habitantes, atenuando e absorvendo bastante essas radiações. A quantidade de radiação aumenta ou diminui de acordo com a altitude e latitude, ou seja, os habitantes das montanhas recebem mais radiação do que os habitantes que vivem ao nível do mar, e, os habitantes das regiões próximas aos polos são mais expostos que os da região equatorial.

1.3.2 Fontes artificiais

As fontes artificiais de radiação mais importantes são os dispositivos de diagnóstico e terapia utilizados na medicina, os aparelhos de controle, medidores e radiografias usados na indústria e comércio, as instalações do ciclo de combustível nuclear e as máquinas utilizadas nas pesquisas científicas. O ciclo de combustível nuclear compreende todos os processos e

manuseios pelos quais o combustível nuclear tem que passar, desde a mineração até a disposição do rejeito radioativo (TAUHATA, 2014).

1.4 Efeitos biológicos provocados pela radiação

A correlação entre a exposição à radiação ionizante e os efeitos biológicos induzidos no homem foi estabelecida, inicialmente, pela observação de efeitos danosos em pessoas nas primeiras exposições com raios X, e em exposições com radionuclídeos sofridas pelos pioneiros das descobertas sobre radioatividade (como exemplo Marie Curie, que, junto de seu marido, Pierre Curie, descobriu o polônio e o rádio, e que faleceu por conta de uma leucemia gravíssima devido à exposição maciça a radiação de seus trabalhos (OKUNO, 2010)).

Entretanto, para o seu detalhamento, foi necessária a adoção de modelos de exposição e hipóteses baseadas em extrapolações, uma vez que dependia claramente da quantidade, forma e período de exposição, bem como de expectativas de concretização dos efeitos, em termos de sua observação, no tempo. Isto porque os dados experimentais disponíveis eram relacionados a exposições com doses elevadas, a acidentes radiológicos, às observações das vítimas de Hiroshima e Nagasaki ou a experiências com cobaias.

Um modelo conservativo em termos de proteção radiológica seria a correlação linear entre dose e efeito, mesmo para baixos valores de dose. Este modelo, utilizado até hoje, se baseia numa extrapolação para doses muito baixas, do ajuste da curva obtida entre dose e efeitos biológicos observados em valores elevados (ROTHER, 2018).

A reação de um indivíduo exposto à radiação depende de diversos fatores como:

- Quantidade total de radiação recebida (acumulativa no organismo).
- Quantidade total de radiação (acumulativa) recebida anteriormente pelo organismo, sem recuperação.
- Textura orgânica individual.
- Dano físico recebido simultaneamente com a dose de radiação (queimadura devido ao calor gerado).
- Intervalo de tempo durante o qual a quantidade total de radiação foi recebida.

Os efeitos radioinduzidos podem receber denominações em função do valor da dose e forma de resposta, em função do tempo de manifestação e do nível orgânico atingido.

Assim, em função da dose e forma de resposta, são classificados em estocásticos e determinísticos.

1.4.1 Efeitos Estocásticos

São aqueles cuja probabilidade de ocorrência é em função da dose, não existindo limiar, como é o caso do câncer. Assim, para qualquer indivíduo irradiado há uma chance de que certos efeitos atribuíveis à radiação se manifestem, mas só depois de um período de tempo longo (dezenas de anos) a partir do momento que ocorreu o evento de irradiação (ROTHER, 2018).

1.4.2 Efeitos Determinísticos

São efeitos causados por irradiação total ou localizada de um tecido, provocando um grau de morte celular não compensada pela reposição, com prejuízos detectáveis no funcionamento do tecido ou órgão. Isto pode significar que os efeitos determinísticos são produzidos por doses elevadas, acima de um limiar, onde a severidade do dano aumenta com a dose aplicada (ROTHER, 2018).

1.4.3 Exposição à radiação

A exposição do homem ou parte de seus tecidos à radiação, pode ter resultados bem diferentes, se ela ocorreu de uma única vez (exames radiológicos, como uma tomografia), de maneira fracionada (tratamento radioterápico) ou se periodicamente (como certas rotinas de trabalho com material radioativo em instalações nucleares).

Os fótons (raios X e gama) e nêutrons constituem as radiações mais penetrantes e causam danos biológicos diferentes conforme a taxa de dose, energia e tipo de irradiação.

A radiação alfa (α) é constituída por núcleos de hélio (sem elétrons) e pode ser detida por uma folha de papel. A radiação beta (β) é constituída pelo envio de apenas um elétron rápido e pode ser detida por uma folha de alumínio, por um pedaço de plástico e até mesmo pelo tecido humano. A radiação gama é constituída por ondas eletromagnéticas e é absorvida ao penetrar em um material mais denso (como alguns centímetros de concreto ou chumbo). Já as partículas de nêutron podem atravessar o mesmo concreto que barra as partículas gama

(TAUHATA, 2014). A figura 3 exemplifica os tipos de radiação e a blindagem mínima para cada uma.

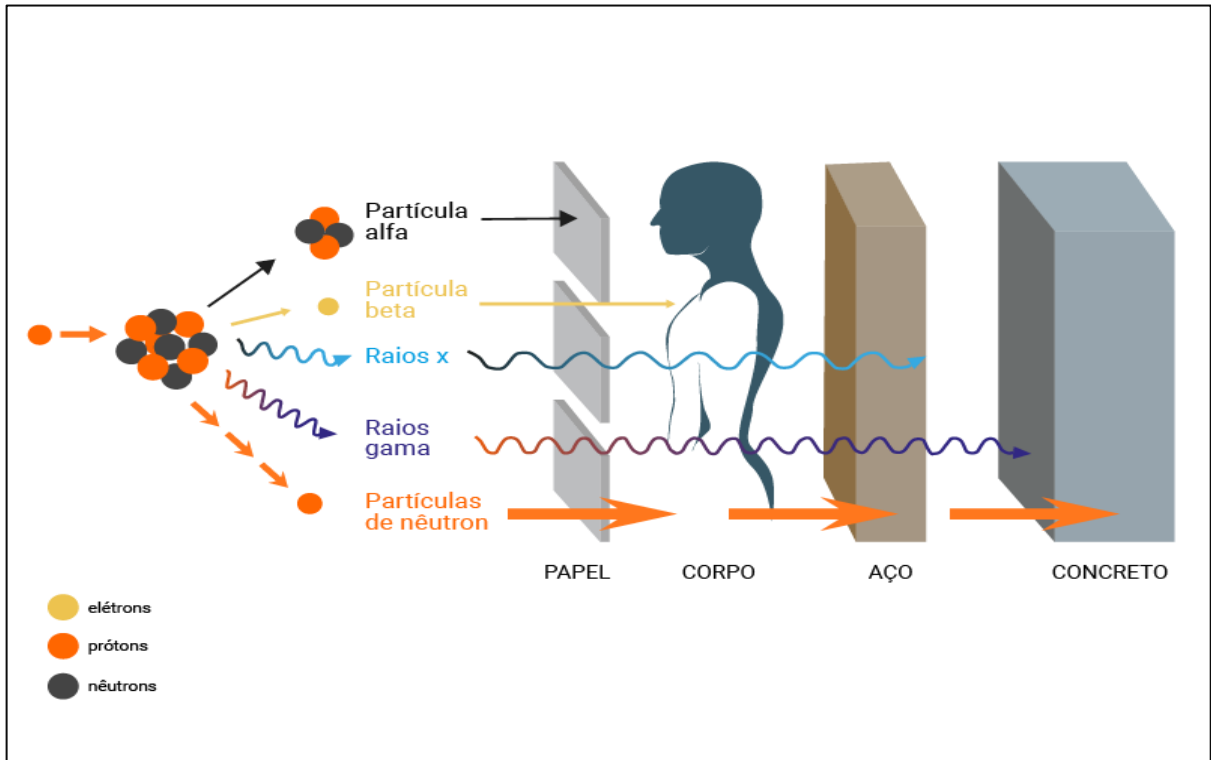


Figura 3. Blindagem mínima para radiações α , β e γ

Fonte: Adaptado de <https://radioprotecaonapratica.com.br/radiacao-entenda-de-uma-vez-por-todas/>

Quando a quantidade de efeitos biológicos é pequena, o organismo pode se recuperar, sem que a pessoa perceba. Por exemplo, numa exposição à radiação X ou gama, pode ocorrer uma redução de leucócitos, hemácias e plaquetas e, após alguns dias, tudo retornar aos níveis normais de contagem no sangue. Isto significa que houve irradiação, efeito biológico sob a forma de morte celular e, posteriormente, os elementos foram repostos por efeitos biológicos reparadores (OKUNO, 2010).

Quando a quantidade ou a frequência de efeitos biológicos produzidos pela radiação desequilibra o organismo humano ou o funcionamento de um órgão, surgem sintomas clínicos denunciadores da incapacidade do organismo de superar ou reparar tais danos, que são as doenças. Assim, o aparecimento de um tumor cancerígeno radioinduzido, significa já quase o final de uma “história” de danos, reparos e propagação, de vários anos após o período de irradiação. A ocorrência de leucemia nos japoneses, vítimas das bombas atômicas, teve um período máximo de cinco anos após os bombardeios.

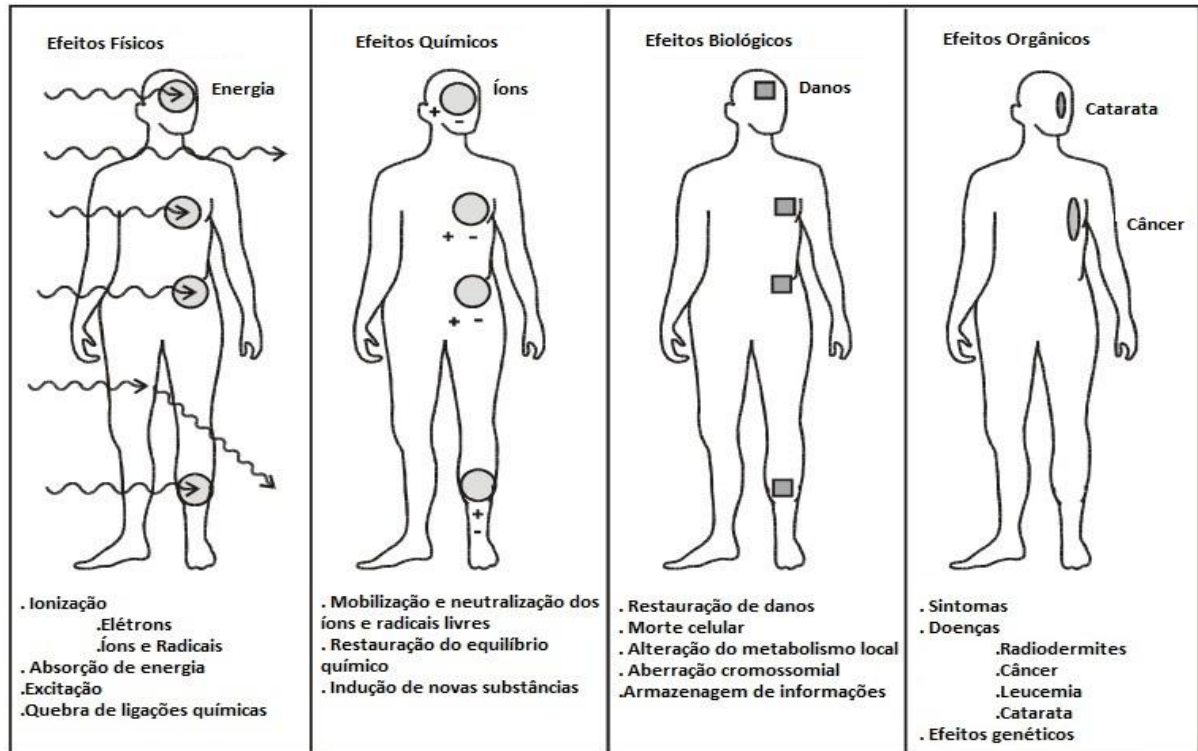


Figura 4. Fases do efeito biológico produzido pela radiação ionizante

Fonte: Adaptado de TAUHATA (2014)

1.4.4 Danos celulares

O processo de ionização, ao alterar os átomos, pode alterar a estrutura das moléculas que os contêm. Se a energia de excitação ultrapassar a energia de ligação entre os átomos, pode ocorrer quebra das ligações químicas e consequentes mudanças moleculares. Se as moléculas alteradas compõem uma célula, esta pode sofrer as consequências de suas alterações, direta ou indiretamente, com a produção de radicais livres, íons e elétrons. Os efeitos da radiação dependem da dose, taxa de dose, do tipo de radiação e do tipo de célula ou tecido. Tais alterações nem sempre são nocivas ao organismo humano. Se a substância alterada possui um papel crítico para o funcionamento da célula, pode resultar na alteração ou na morte da mesma. Em todos os órgãos e tecidos o processo de perda e reposição celular, faz parte de sua operação normal. Quando a mudança tem caráter deletério, ela significa um dano.

Dos danos celulares, os mais importantes são os relacionados à molécula do DNA. As células danificadas podem morrer ao tentar se dividir, ou conseguir realizar reparos mediados por enzimas. Se o reparo é eficiente e em tempo curto, o DNA pode voltar à sua composição original, sem consequências. Num reparo propenso a erros, pode dar origem a mutações na sequência de bases ou rearranjos mais grosseiros, podendo levar à morte reprodutiva da célula

ou a alterações no material genético das células sobreviventes, com consequências em longo prazo (TAUHATA, 2014).

No caso de exposição de seres humanos a altas doses de radiação, como em acidentes nucleares, uma grande parte das células do corpo é afetada, geralmente impossibilitando a sustentação da vida. Por outro lado, há ainda, muita incerteza quanto aos efeitos da exposição de pessoas a baixas doses de radiação, uma vez que, caso haja efeitos, estes são mascarados pela ocorrência natural de doenças que podem ou não ser provocadas pela exposição à radiação, como é o caso do câncer. Entretanto, existe grande dificuldade de se encontrar evidências de que uma alteração orgânica é consequência exclusiva da exposição à radiação ionizante (ROTHER, 2018).

1.5 Dosimetria

Historicamente, as grandezas utilizadas para quantificar a radiação ionizante basearam-se no número total de eventos ionizantes ou, ainda, na quantidade total de energia depositada, geralmente em uma massa definida de material. O conceito de dose foi introduzido em proteção radiológica em analogia ao seu uso em farmacologia, uma vez que se deseja determinar o efeito causado por uma dose de radiação ionizante. O termo “dose” utilizado na farmacologia para humanos, significa a quantidade de uma substância aplicada por unidade de massa corpórea do indivíduo para obter um determinado efeito biológico (ROTHER, 2018).

1.5.1 Dose absorvida (*Absorbed dose*), D

Um efeito da interação da radiação com a matéria é a transferência de energia. Esta nem sempre é absorvida totalmente, devido à variedade de modos de interação e à natureza do material. A relação entre a energia absorvida e a massa do volume de material atingido é a base da definição da grandeza. Dose absorvida de radiação ou simplesmente dose (D), corresponde à energia que a radiação deposita por unidade de massa, medida em erg/g (no sistema de unidades Centímetro-Grama-Segundo (CGS)) ou Joule/kg (no Sistema Internacional de Unidades (SI)). Seguindo o sistema CGS a dose absorvida é medida em uma unidade chamada *radiation absorbed dose (rad)*, onde 1 rad é equivalente a 100 erg/g,

considerada a unidade padrão até 1975. Após 1975, optou-se pela adoção da respectiva unidade do SI, denominada *Gray*, equivalente a 1 Joule/kg (ROTHER, 2018).

A dose absorvida é definida como uma função num ponto P, de interesse, ou seja:

$$D = \frac{d_{\varepsilon}^-}{dm} \quad (1)$$

Onde d_{ε}^- é a energia média depositada pela radiação no ponto P de interesse, num meio de massa dm (TAUHATA, 2014).

1.5.2 Dose equivalente (*Dose equivalent*), H

A Dose absorvida leva em conta a energia absorvida no ar e no tecido humano, entretanto, ainda não dá uma ideia mais concreta dos efeitos biológicos no homem. A Dose equivalente é obtida multiplicando-se a dose absorvida D pelo fator de qualidade (*Qualify Factor*), Q , ou seja:

$$H = D * Q \quad (2)$$

Onde Q é o fator de ponderação da radiação. Seu valor representa o poder de ionização dos diferentes tipos de radiação ionizante no meio biológico. A unidade da dose equivalente, no SI, é o *Sievert* (Sv) equivalente a 1 Joule/kg (TAUHATA, 2014).

A unidade antiga da dose equivalente é o *rem* (*roentgen equivalent man*). Assim, 1 Sv equivale a 100 *rem* (ROTHER, 2018). A tabela 1 mostra um resumo das unidades utilizadas em radioproteção e definições.

Tabela 1. Unidades de dose de radiação e definições clássicas

	Unidade Especial	SI	Relações
Dose absorvida	<i>Rad</i>	<i>Gray</i> (Gy)	1 Gy = 100 rad
Dose equivalente	<i>Rem</i>	<i>Sievert</i> (Sv)	1 Sv = 100 rem

Fonte: ROTHER (2018)

1.5.2.1 Sievert

O *Sievert* (Sv) é a unidade do SI usada para medir os efeitos biológicos da radiação ionizante sobre os seres humanos – os efeitos físicos são mensurados por outra unidade, chamada *Gray* (Gy). A dose de radiação no tecido humano, em Sv, é encontrada pela multiplicação da dose medida em *Gray* por outros fatores que dependem do tipo de radiação, parte do corpo atingida, tempo, intensidade de exposição e outros fatores. O nome da unidade é uma homenagem ao médico e físico sueco Rolf Maximillian Sievert, pioneiro na medição das doses de radiação para o tratamento de câncer. 1 Sv carrega com ele uma chance de 5.5% de eventual desenvolvimento de câncer.



Figura 5. Diferentes níveis de radiação e seus efeitos

Fonte: <https://veja.abril.com.br/ciencia/entenda-os-diferentes-niveis-de-radiacao-e-seus-efeitos/>

1.6 Fatores de influência

Pessoas que recebem a mesma dose de radiação não apresentam os mesmos danos e nem sempre respondem em tempos semelhantes. A relação dose-resposta é o resultado estatístico obtido de vários experimentos, e em acidentes com radiação. Existem alguns

fatores que modificam a resposta ou o efeito biológico, como por exemplo, a idade e sexo (TAUHATA, 2014).

- **Idade:** O indivíduo é mais vulnerável à radiação quando criança ou quando idoso. Na infância, os órgãos, o metabolismo e as proporções ainda não se estabeleceram definitivamente e, assim, alguns efeitos biológicos podem ter resposta com intensidade ou tempo diferentes de um adulto.
- **Sexo:** As mulheres são mais sensíveis e devem ser mais protegidas contra a radiação que os homens. Isto porque possuem órgãos reprodutores internos e os seios são constituídos de tecidos muito sensíveis à radiação. Além disso, existe o período de gestação, onde o feto apresenta a fase mais vulnerável à radiação e a mãe tem o organismo bastante modificado em forma, composição hormonal e química.

1.7 Leucemia

Os primeiros indícios de que a exposição à radiação ionizante ocasionava o desenvolvimento de leucemia foram objetos de estudos realizados com sobreviventes dos bombardeios atômicos de Hiroshima e Nagasaki durante a 2ª guerra mundial. Foi o primeiro tipo de câncer a ser associado à exposição à radiação em sobreviventes da bomba atômica e tem o maior risco relativo entre todos os tipos de câncer (ROTHER, 2018).

Embora seja possível estabelecer uma análise e avaliação de risco para diversos tipos de cânceres, a leucemia foi selecionada como morbidade de interesse em função do baixo período de latência apresentado e por ser originada nos leucócitos (glóbulos brancos) que são grupos de células considerados muito sensíveis à radiação ionizante (BEIR VII, 2006).

É uma doença que afeta diretamente a medula óssea, sangue e o sistema linfático, causando um número elevado de glóbulos brancos anormais (não totalmente desenvolvidos).

1.8 Modelo BEIR VII

O relatório denominado BEIR VII, é um modelo de estimativas de risco de cânceres em indivíduos expostos a radiações ionizantes de baixas doses e baixa transferência linear de energia, como os raios X e raios gama. Estes raios são ditos esparsamente ionizantes, pois produzem elétrons rápidos, que causam apenas algumas dezenas de ionizações quando atravessam uma célula. Devido a essa condição de ionização, os raios X e gama possuem a

chamada *Linear Energy Transfer (LET)*, ou ainda, transferência linear de energia, e consequentemente são denominados como radiações *low-LET*.

Ainda, as partículas pesadas são denominadas de radiações *high-LET*, porque transferem mais energia por unidade de comprimento ao atravessarem uma célula (BEIR VII, 2006).

O BEIR VII toma como princípio o *Life Span Study (LSS)*, que são as estatísticas obtidas a partir do estudo feito pela *Radiation Effects Research Foundation (RERF)* com um grupo de cerca de 120,000 sobreviventes das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, em 1945 (BEIR VII, 2006). Essas estatísticas da RERF produzem as mais atualizadas e completas estimativas de riscos para câncer e outros efeitos na saúde.

O BEIR VII limita como baixas doses valores até 100 mSv (0,1 Sv) para radiações *low-LET* (BEIR VII, 2006).

1.8.1 Excesso de Risco Relativo para a Leucemia

Riscos e taxas são as medidas básicas utilizadas para comparar a ocorrência de doenças em indivíduos expostos e não expostos. O risco é definido como a probabilidade de um indivíduo desenvolver uma doença específica durante um intervalo de tempo definido, dado que o indivíduo está vivo e livre de doenças no início do período de tempo (BEIR VII, 2006).

Alguns indivíduos expostos à radiação ionizante desenvolvem câncer e outros não, o mesmo se aplica aos indivíduos não expostos. Logo, o câncer não é uma consequência necessária da exposição, e a exposição não é necessária para o desenvolvimento de câncer. No entanto, a maior taxa de incidência de câncer em indivíduos expostos a radiação indica que há uma relação casual (ROTHER, 2018).

Em um caso simples de duas categorias de exposição, exposto e não exposto, assumindo $\lambda_E(t)$ e $\lambda_N(t)$, que indicam as taxas de incidência dos grupos expostos e não expostos, respectivamente, se, a ocorrência da doença não está relacionada com a exposição, espera-se que $\lambda_E(t) = \lambda_N(t)$ enquanto que a falta de igualdade entre essas duas taxas de incidências indicam associação entre a ocorrência da doença e exposição (BEIR VII, 2006).

Assim, uma medida de discrepância, chamada de Risco Relativo, é definida:

$$RR(t) = \frac{\lambda_E(t)}{\lambda_N(t)} \quad (3)$$

Onde, havendo um aumento na taxa de ocorrência da doença no grupo exposto, o $RR(t)$ será > 1 , havendo uma diminuição na taxa de ocorrência devida à exposição têm-se $RR(t) < 1$, e se não apresenta nenhuma relação, os valores serão iguais. Caso se tenha um aumento da taxa de ocorrência, pode-se descrever o comportamento por meio do seu incremento (ROTHER, 2018). Assim é definida a grandeza Excesso de Risco Relativo (ERR):

$$ERR(t) = RR(t) - 1 \quad (4)$$

A função proposta pelo BEIR VII para leucemia é expressa como uma função linear-quadrática da dose que depende de sexo, idade de exposição e tempo desde a exposição:

$$ERR(D, s, e, t) = \beta_s(D + \theta D^2) \exp [\gamma e^* + \delta \log\left(\frac{t}{25}\right) + \varphi e^* \log\left(\frac{t}{25}\right)] \quad (5)$$

Onde β_s representa ERR/Sv , diferenciado em β_M e β_F , para homens e mulheres, respectivamente; D é a dose absorvida, em Sv, por determinado órgão (no caso da leucemia é a medula vermelha). A constante γ é expressa por aumento de década na idade desde a exposição; δ indica uma dependência desde a exposição do indivíduo; e φ é uma constante independente (de sexo (s), idade (e) e tempo (t)), relacionada ao grau de curvatura da função (ROTHER, 2018). Assim, sabemos que a equação é dependente apenas de D , já que as outras constantes são definidas pelo BEIR VII. A tabela abaixo organiza as variáveis e especifica seus valores, utilizadas na equação (5):

Tabela 2. Valores de cada variável referente à equação (5)

Parâmetro	Modelo ERR
β_M	1,1 por Sv
β_F	1,2 por Sv
γ	-0,40 por década
δ	-0,48
φ	0,42
Θ	0,87 por Sv
e	Para $e < 30 \rightarrow e^* = (e - 30) / 10$
e^*	R $e \geq 30 \rightarrow e^* = 0$

Fonte: Adaptado de BEIR VII (2006)

1.9 Programação Orientada a Objetos

A Programação Orientada a Objetos (POO) é um modelo de análise, projeto e programação de *software* baseado na composição e interação entre diversas unidades (objetos). Diferente da Programação Estruturada, que por sua vez, permite criar programas por meio de procedimentos, sequenciais e que não são úteis para representar problemas do mundo real, a POO se baseia no conceito de que os objetos se comunicam, trocando dados por meio de métodos. Ao contrário de outros paradigmas de programação, a POO permite criar conexão entre informações e funcionalidades e retratar problemas do mundo real com mais facilidade, mantendo o código mais flexível e, com isso, mais fácil de evoluir através de um programa de computador.

Algumas vantagens da POO em relação a outros paradigmas de programação são:

- Escrever menos código.
- Concentrar responsabilidades nos locais certos, o que facilita a manutenção do código e evolução.
- Flexibilizar a aplicação.
- Encapsular a lógica de negócio.
- Permitir a variação de comportamento para objetos de mesma origem (classe), através do conceito chamado Polimorfismo.

1.10 UML

A *Unified Modeling Language* (UML) é uma notação gráfica utilizada para modelar e documentar sistemas orientados a objetos. A UML Permite a especificação e documentação de um sistema a partir dos requisitos levantados para desenvolvê-lo, permitindo que desenvolvedores visualizem os produtos de seu trabalho em diagramas padronizados.

Criada com foco no paradigma orientado a objetos, a UML possui um conjunto de diagramas que facilitam o desenvolvimento de *softwares* e aplicações de técnicas em padrões de projeto, onde cada tipo de diagrama representa algum aspecto de um sistema. Estes diagramas não são rígidos, ou seja, elementos de um diagrama podem ser utilizados em outro diagrama.

Existem duas categorias de diagramas:

- Diagramas de Estrutura, onde a visão da modelagem e descrição do sistema é estática (apenas representam a estrutura do sistema e/ou projeto).
- Diagramas de Comportamento, que representam as mudanças e os resultados obtidos a partir da interação com o sistema que possam ocorrer.

Não sendo uma linguagem de programação, mas sim uma linguagem de modelagem, tem como objetivo auxiliar a Engenharia de *Software* a definir as características do sistema ou projeto a ser desenvolvido, tais como: requisitos (inclusive as necessidades físicas, como o *hardware* mínimo para comportar o sistema), estrutura lógica e dinâmica de processos.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

Para que este estudo seja aplicado, será usado um levantamento radiométrico real feito para a composição da tese de doutorado “**Metodologia de integração de dados e geração de interface dinâmica em tempo real para ações de respostas a eventos radiológicos utilizando veículo aéreo não tripulado**” (ROTHER, 2018). Os dados foram coletados em 2016 a partir de um monitoramento aéreo na cidade do Rio de Janeiro com um helicóptero do Batalhão de Aviação do Exército Brasileiro (BAvEx) utilizando um equipamento especializado na análise e detecção de radiação: SpiR-ID, o qual é um dispositivo portátil projetado para procurar de forma eficiente materiais radioativos e instantânea discriminação de ameaça, como o tráfico ilícito e dispositivos de dispersão radiológica (RDDs).

Os dados coletados são então enviados para um computador que contenha o *software* SPIR, que os organiza em um arquivo de texto (com valores separados por ponto-e-vírgula) contendo colunas com cada tipo de dado capturado, como por exemplo, contagem de nêutrons, taxa de dose cósmica, taxa de dose gama terrestre, latitude e longitude, pressão atmosférica entre muitas outras informações (onde cada coluna contém aproximadamente 4500 linhas de dados). A figura 6 mostra um trecho do arquivo de levantamento radiométrico gerado em 2016, e que será usado neste trabalho como fonte de dados radiológicos.

Para que seja possível comparar os resultados gerados pelo *software* aqui proposto, serão usados também arquivos de dados com valores fictícios, a fim de diversificar os resultados de situações de eventos radiológicos possíveis.

M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Channel alarm	Latitude(°)	Longitude(°)	Altitude(m)	Atmospheric pressure(hPa)	Speed(km/h)	Heading(°)	Height(m)	External Temperature(°C)	Neutron counts(cps)	Neutron BKG counts(cps)	Gamma dose rate(μ Sv/h)
Background	-23,01193428	-43,55971146	11	1013	1	99	2	0	0,20845	0,27343	0,06889
Background	-23,01193428	-43,55971146	11	1013	0	99	2	0	0,18761	0,27289	0,07108
Background	-23,01193619	-43,55971146	11	1013	1	99	2	0	0,16885	0,27234	0,05735
Background	-23,01193619	-43,55971146	11	1013	2	99	2	0	0,25196	0,2738	0,07613
Background	-23,01193619	-43,55971146	11	1013	0	99	2	0	0,22677	0,27325	0,06942
Background	-23,01193619	-43,55971146	11	1013	0	99	2	0	0,20409	0,2727	0,06982
Background	-23,0119381	-43,55971527	11	1013	1	99	2	0	0,18368	0,27216	0,06259
Background	-23,01194382	-43,5597229	12	1013	1	99	2	0	0,16531	0,27161	0,06506
Background	-23,01194763	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,24878	0,27307	0,06773
Background	-23,01194763	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,2239	0,27252	0,06454
Background	-23,01194763	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,30151	0,27398	0,0698
Background	-23,01194763	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,27136	0,27343	0,06845
Background	-23,01194763	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,24423	0,27288	0,07605
Background	-23,01194763	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,2198	0,27234	0,0675
Background	-23,01194572	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,19782	0,27179	0,07275
Background	-23,01194572	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,17804	0,27125	0,06503
Background	-23,01194572	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,16024	0,27071	0,06956
Background	-23,01194382	-43,55972672	12	1013	1	99	2	0	0,14421	0,27016	0,06531
Background	-23,01194382	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,12979	0,26962	0,06436
Background	-23,01194572	-43,55972672	12	1013	1	99	2	0	0,11681	0,26909	0,06341
Background	-23,01194572	-43,55972672	12	1013	1	99	2	0	0,10513	0,26855	0,06551
Background	-23,01194382	-43,55972672	12	1013	0	99	2	0	0,09462	0,26801	0,06637
Background	-23,01194382	-43,55973053	12	1013	1	99	2	0	0,08516	0,26747	0,06899
Background	-23,01194572	-43,55973053	12	1013	1	99	2	0	0,07664	0,26694	0,06536
Background	-23,01194572	-43,55973053	12	1013	1	99	2	0	0,06898	0,26641	0,0646
Background	-23,01194572	-43,55973053	11	1013	1	99	2	0	0,06208	0,26587	0,06269
Background	-23,01194572	-43,55973053	11	1013	1	99	2	0	0,05587	0,26534	0,07381
Background	-23,01194191	-43,55973434	11	1013	0	99	2	0	0,25028	0,26881	0,07035
Background	-23,01194572	-43,55973816	11	1013	1	99	2	0	0,22526	0,26827	0,06554
Background	-23,01194572	-43,55973816	10	1013	2	99	2	0	0,20273	0,26774	0,06462
Background	-23,01194572	-43,55974197	10	1013	2	99	2	0	0,18246	0,2672	0,06524

Figura 6. Trecho do arquivo feito pelo *software* SPIR a partir do levantamento radiométrico aéreo com uso do aparelho de detecção SpiR-ID em 2016

As colunas do arquivo utilizadas para este projeto são: *Date*, *Gamma ground dose rate*(μ Sv/h) e *Cosmic dose rate*(μ Sv/h).

	A	B	AB	AC	BS	BT
1	#	Date	Gamma ground dose rate(μ Sv/h)	Cosmic dose rate(μ Sv/h)		
2	1	12/04/2016 11:20	0,02058	0,03842		
3	2	12/04/2016 11:20	0,02278	0,03842		
4	3	12/04/2016 11:20	0,00899	0,03842		
5	4	12/04/2016 11:20	0,02787	0,03841		
6	5	12/04/2016 11:20	0,02113	0,03841		
7	6	12/04/2016 11:20	0,02154	0,03841		
8	7	12/04/2016 11:20	0,01425	0,03841		
9	8	12/04/2016 11:20	0,01671	0,03844		
10	9	12/04/2016 11:20	0,01937	0,03847		
11	10	12/04/2016 11:20	0,01617	0,03846		
12	11	12/04/2016 11:20	0,02145	0,03846		
4497	4496	12/04/2016 12:35	0,02888	0,03853		
4498	4497	12/04/2016 12:35	0,03639	0,03854		
4499	4498	12/04/2016 12:35	0,03261	0,03854		
4500	4499	12/04/2016 12:35	0,03397	0,03854		
4501	4500	12/04/2016 12:35	0,024	0,03855		
4502	4501	12/04/2016 12:35	0,02262	0,03854		
4503	4502	12/04/2016 12:35	0,02522	0,03854		
4504	4503	12/04/2016 12:35	0,0312	0,03854		
4505	4504	12/04/2016 12:35	0,02696	0,03854		
4506	4505	12/04/2016 12:35	0,03508	0,03854		
4507	4506	12/04/2016 12:35	0,04024	0,03854		
4508	4507	12/04/2016 12:35	0,02835	0,03854		
4509						

Figura 7. Trecho das colunas de interesse que serão usadas como fonte de dados

2.1 Tecnologias

2.1.1 C#

O C# (lê-se “C Sharp”) é uma linguagem de programação orientada a objetos, que foi desenvolvida pela Microsoft e faz parte da plataforma .NET. A linguagem teve seu *design* baseado em diversas outras linguagens já existentes no mercado como Java, C, C++, Smalltalk, Delphi e VB. A ideia de sua criação era estudar os problemas existentes e incorporar soluções numa nova linguagem.

No início, o projeto do C# era chamado de COOL (*C-Like Object Oriented Language*) e, em 2002, data de seu lançamento, o projeto foi lançado como C# 1.0, junto com o ambiente .NET 1.0. Atualmente, a linguagem C# está em sua versão 7.0 (e o .NET na versão 4.7).

O C# utiliza o conceito de máquina virtual (assim como o Java): entre o sistema operacional e a aplicação existe uma camada responsável por “traduzir” – mas não apenas isso – o que a aplicação deseja fazer para as respectivas chamadas do sistema operacional onde ela está rodando no momento. A aplicação roda sem nenhum envolvimento com o sistema operacional, sempre conversando apenas com a máquina virtual do C#, a *Common Language Runtime* (CLR). Uma máquina virtual permite que um mesmo código escrito

apenas uma vez, possa ser executado em diferentes sistemas operacionais, sem a necessidade de interpretá-lo para um Sistema Operacional (SO) específico (e desde que exista a máquina virtual naquele SO onde o código deve ser executado).

2.1.2 Java

Java é uma linguagem de programação orientada a objetos criada pela Sun Microsystems em 1995 já com o conceito de utilização de máquina virtual. Sua ideia inicial (de 1992) era de criar um interpretador para pequenos dispositivos, facilitando a reescrita de *software* para aparelhos eletrônicos, como vídeos cassete, televisão, aparelhos de TV a cabo e muitos outros. Com o fracasso desse possível interpretador e o advento da *web*, a Sun Microsystems percebeu que poderia utilizar a ideia de 1992 para rodar pequenas aplicações (*applets*) dentro dos navegadores (*browsers*).

A vantagem para o Java foi que, com a internet, já começam a existir diferentes sistemas operacionais e navegadores, dando a possibilidade de se programar numa única linguagem, independente da plataforma. Foi aí que o Java 1.0 foi lançado: focado em transformar o *browser* de apenas um *thin client* (terminal burro) em uma aplicação que possa também realizar operações avançadas, e não apenas renderizar HTML. Atualmente o Java está na versão 11, e com sua máquina virtual (*Java Virtual Machine - JVM*) presente em praticamente todos os sistemas operacionais (inclusive móveis), permite a criação de diferentes aplicações e com diversos fins, atendendo qualquer tipo de solução.

2.1.3 Backend as a Service (BaaS)

O BaaS é um modelo de serviço de computação em nuvem que serve basicamente como um *middleware* que fornece aos desenvolvedores diversas maneiras de conectar aplicativos da *web* e móveis a serviços em nuvem por meio de interfaces de programação de aplicativos (API) e kits de desenvolvimento de *software* (SDK).

Os recursos do BaaS incluem:

- Armazenamento em nuvem.
- Notificações por *push*.
- Gerenciamento de usuários e arquivos.
- Integração de redes sociais.

- Serviços de localização.

Esses serviços têm suas próprias APIs, permitindo que eles sejam integrados em aplicativos com relativa facilidade. Fornecer uma maneira constante de gerenciar os dados de *back-end* significa que os desenvolvedores não precisam desenvolver outro *backend* para cada serviço que os aplicativos usam ou acessam. O BaaS possibilita aos desenvolvedores *mobile* e *web* a abstrair completamente a infraestrutura do lado do servidor, se preocupando apenas com a experiência do usuário (UX) em vez de lidar com a codificação do *backend*.

2.1.4 Firebase

O Firebase é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações *mobile* e *web* criada pela empresa de mesmo nome, em 2011. Foi adquirida pela Google em 2014 e possui diversos tipos de serviços, sendo que seu principal objetivo é a possibilidade de desenvolvimento rápido de aplicativos sem a necessidade de desenvolver e gerenciar a infraestrutura (o *backend*).

Alguns de seus serviços são:

- Google Analytics: permite que a aplicação desenvolvida tenha análise gratuita e ilimitada.
- Cloud Messaging: permite enviar mensagens e notificações segmentadas.
- Authentication: permite autenticação de usuários para a aplicação desenvolvida.
- Realtime Database: permite o armazenamento e sincronização de dados de aplicativos em milissegundos.

Para este trabalho, na persistência das estimativas enviadas pela aplicação *desktop*, o serviço do Firebase utilizado é o Realtime Database que facilita consideravelmente a sincronização dos dados em diversos dispositivos móveis que tenham acesso à aplicação.

O Realtime Database é um banco de dados NoSQL (tendo otimizações e funcionalidades diferentes de um banco de dados relacional) hospedado na nuvem. Os dados são armazenados como JSON e sincronizados em tempo real com todos os clientes conectados. Para toda aplicação móvel criada em plataformas cruzadas (iOS, Android e JavaScript) com o SDK do Firebase, todos os clientes compartilham uma instância do Realtime Database e recebem automaticamente atualizações com os dados mais recentes.

2.1.5 Json.NET

É um versátil *framework* feito para a plataforma .NET que possui alta *performance* em operações que utilizam arquivos JSON. Seu diferencial, se comparado com outros *frameworks* disponíveis, é na otimização de serialização e deserialização de objetos .NET e JSON. Além de ter suporte a diversas plataformas de desenvolvimento que utilizam o .NET (como Windows, Windows Store, Windows Phone, Mono e Xamarin), possui suporte também a conversões entre arquivos XML e JSON.

Este *framework* possui facilidades na sintaxe utilizada na construção de objetos JSON, quando comparado com outras ferramentas que possuem função similar.

É utilizado neste trabalho com o objetivo de ajudar na implementação da interface *web* que permitirá conexão entre a aplicação *desktop* e o aplicativo ERR (intermediados pela base de dados *online*).

2.1.6 MPAndroidChart

É uma poderosa biblioteca para desenvolvimento de gráficos para aplicações móveis provenientes das plataformas Android e iOS, e que possui suporte a diversos tipos de gráficos “desenháveis”, bem como suporta interações por gestos e animações em tempo real (PHILJAY, 2014). Neste trabalho, são usados apenas os gráficos em barra (*bar charts*), mas a mudança de tipo de visualização é viável e simples de se implementar.

2.2 Descrição do Sistema

2.2.1 Aplicação *desktop* Análise de Risco

O *software desktop* é desenvolvido com a utilização da linguagem C#, em conjunto com o *Windows Forms* através do ambiente de desenvolvimento integrado - *Integrated Development Environment* (IDE) - *Visual Studio*.

Este programa tem o seguinte objetivo: após a escolha do arquivo de dados ter sido efetuada pelo usuário, armazenar temporariamente os dados das colunas específicas, e em seguida aplicar os cálculos apropriados para as linhas de cada coluna. Os valores contidos na coluna de data e hora do levantamento dos dados radiológicos (coluna *Date*), servirão como uma chave de identificação para que, caso o mesmo arquivo seja lido novamente, as

estimativas calculadas não sejam enviadas novamente para a base de dados do Firebase, o que acabaria criando um novo grupo de dados duplicados para o aplicativo ERR recuperar.

Na prática, apenas o valor da última linha da coluna de data e hora deve ser utilizado como identificador do arquivo lido naquele momento, já que só pode ser lido um arquivo por vez (limite definido na aplicação).

Com o identificador criado, este será armazenado numa base de dados própria do *software*, para que possa ser consultada em novas leituras de outros arquivos de levantamento radiológico. Em uma nova leitura, caso o arquivo já tenha sido lido pela aplicação (ou seja, já possui seu identificador armazenado na base de dados), a opção de enviar as estimativas calculadas é desabilitada, justamente para evitar a duplicação de dados iguais na base de dados *online*.

Os valores das duas outras colunas (*Gamma ground dose rate*($\mu\text{Sv/h}$) e *Cosmic dose rate*($\mu\text{Sv/h}$)), são então coletadas pelo *software* e seus valores são ordenados e aplicados na equação (5).

Porém, antes da equação (5) ser utilizada, primeiro há um somatório entre cada valor da coluna *Gamma ground dose rate*($\mu\text{Sv/h}$) com cada valor da coluna *Cosmic dose rate*($\mu\text{Sv/h}$), o qual gerará os valores da dose absorvida, que definem a constante D utilizada na equação (5), aplicada para gerar as estimativas de ERR.

Após a geração dos resultados de dose absorvida (D) pela aplicação, serão então aplicados nas funções específicas da equação (5), que são determinadas pelo sexo dos indivíduos e tempo após exposição à radiação (10, 20, 30 anos ou mais). O sexo e tempo após exposição dos indivíduos por sua vez também determinam outras constantes numéricas que são utilizadas nas funções. As tabelas 3 e 4 abaixo demonstram as funções específicas para cada grupo de análise, onde os parâmetros de cada caso são substituídos pelas constantes indicadas pelo documento BEIR VII na equação de estimativa de ERR para leucemia.

Tabela 3. Funções específicas para indivíduos do sexo masculino

Tempo após exposição	Função
10 anos	$ERR(D, s, e, t) = 1,1(D + 0,87D^2)5,59$
20 anos	$ERR(D, s, e, t) = 1,1(D + 0,87D^2)4,17$
30 anos ou mais	$ERR(D, s, e, t) = 1,1(D + 0,87D^2)1,40$

Fonte: BEIR VII (2006).

Tabela 4. Funções específicas para indivíduos do sexo feminino

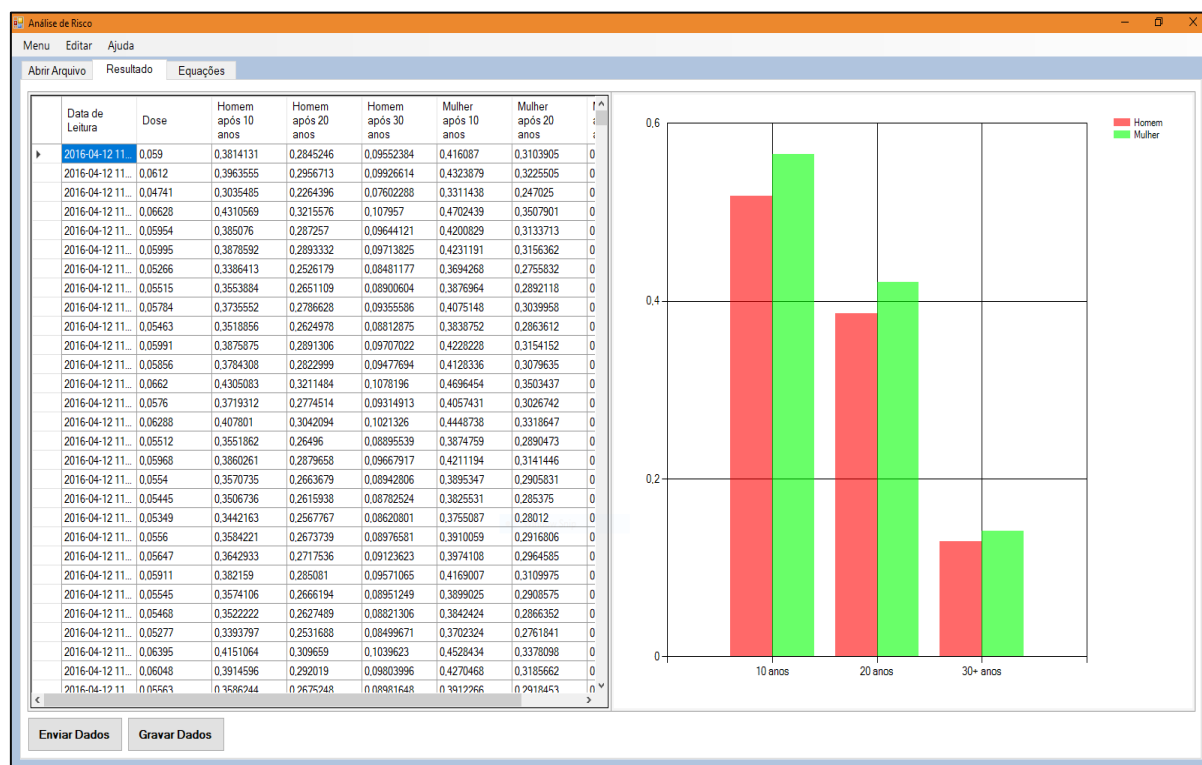
Tempo após exposição	Função
10 anos	$ERR(D, s, e, t) = 1,2(D + 0,87D^2)5,59$
20 anos	$ERR(D, s, e, t) = 1,2(D + 0,87D^2)4,17$
30 anos ou mais	$ERR(D, s, e, t) = 1,2(D + 0,87D^2)1,40$

Fonte: BEIR VII (2006).

Onde s significa o sexo do indivíduo, e a idade em que o indivíduo foi exposto e t o tempo após a exposição. A partir destas funções derivadas da equação (5) é possível calcular o ERR em função da dose.

Após os cálculos serem feitos pelo programa, as estimativas podem ser visualizadas através de gráficos em barra com as informações detalhadas (dose, sexo e tempo após exposição) para facilitar o entendimento.

Ainda, caso o usuário queira, é possível salvar os valores de dose (separados por sexo e tempo após exposição) em um arquivo de texto (com valores separados por ponto-vírgula) que poderá ser salvo em qualquer diretório que o usuário desejar, além de poder ser visualizado como uma planilha (o arquivo possuirá extensão .csv).

**Figura 8.** Exemplo de visualização dos resultados no aplicativo Análise de Risco

Através do *framework* Json.NET para serialização de objetos .NET no formato JSON, o *software desktop* possui a capacidade de organizar as estimativas calculadas e o identificador em um arquivo JSON e enviá-lo através de uma requisição HTTP para a base de dados (*Realtime Database*) NoSQL do Firebase, bastando ter apenas o endereço *web* do projeto de dados do Firebase configurado na aplicação.

2.2.2 Aplicativo *mobile* ERR

Nesta etapa, é desenvolvido um aplicativo móvel para o sistema operacional Android, utilizando a linguagem Java, com o objetivo de fornecer visualização rápida e em tempo real das estimativas do desenvolvimento de leucemia a partir de gráficos que seguem o mesmo esquema de geração da aplicação Análise de Risco.

No aplicativo ERR é utilizada a biblioteca *MPAndroidChart* que permite desenvolver gráficos sofisticados e possibilita interação com seus elementos. A IDE utilizada para o desenvolvimento do aplicativo é o *Android Studio*.

O aplicativo possui acesso à base de dados do Firebase que contém as estimativas salvas pela aplicação *desktop*, sendo necessárias apenas algumas rotinas assíncronas para recuperar estas estimativas uma vez salvas na base de dados *online*.

Como existe a possibilidade de leituras de diversos arquivos de levantamento radiológico por parte da aplicação Análise de Risco, as estimativas são armazenadas em grupos identificados pela data e hora de leitura dos levantamentos radiológicos. Assim, a aplicação organiza devidamente cada grupo em uma lista acessível pelo usuário, onde cada um determina um componente da lista, sendo diferidos pelo identificador gerado na aplicação Análise de Risco. Cada componente desta lista contém um resultado visual das estimativas pertinentes à leitura de mesmo identificador.

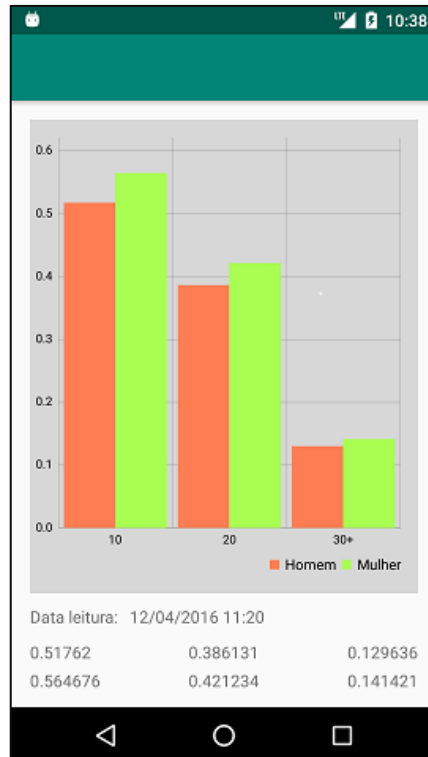


Figura 9. Visualização das estimativas de um componente da lista de leituras no aplicativo ERR

Como as estimativas recuperadas pelo aplicativo constituem um tamanho de dados praticamente desprezível (o que provoca um consumo ínfimo de dados pelo aplicativo), a cada inicialização do mesmo será feita uma nova busca por novos grupos de estimativas que estejam salvas na base de dados do Firebase.

E mesmo em situações em que não haja conexão com a internet pelo aplicativo, as estimativas anteriormente recuperadas continuarão de modo *offline* na lista de leituras. Sendo que esta facilidade é propriedade do próprio Firebase, que permite salvar a maioria dos dados localmente nos dispositivos onde um aplicativo que utilize esta plataforma esteja instalado.

A diferença entre as versões *desktop* e *mobile* é que a aplicação para *desktop*, Análise de Risco, é alimentada com os dados e faz todos os cálculos necessários (utilizando as equações exemplificadas neste trabalho) para retornar as estimativas de leucemia em indivíduos expostos à radiação. Ainda, mantém a persistência dos resultados gerados armazenando-os em um serviço na nuvem, mantendo as estimativas salvas para posterior recuperação pela aplicação móvel. Por sua vez, a aplicação móvel ERR apenas recupera as estimativas da base de dados para gerar automaticamente os gráficos com os resultados agrupados por sexo, tempo após exposição e dose.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM DO SISTEMA

3.1 Diagrama de Caso de Uso do sistema

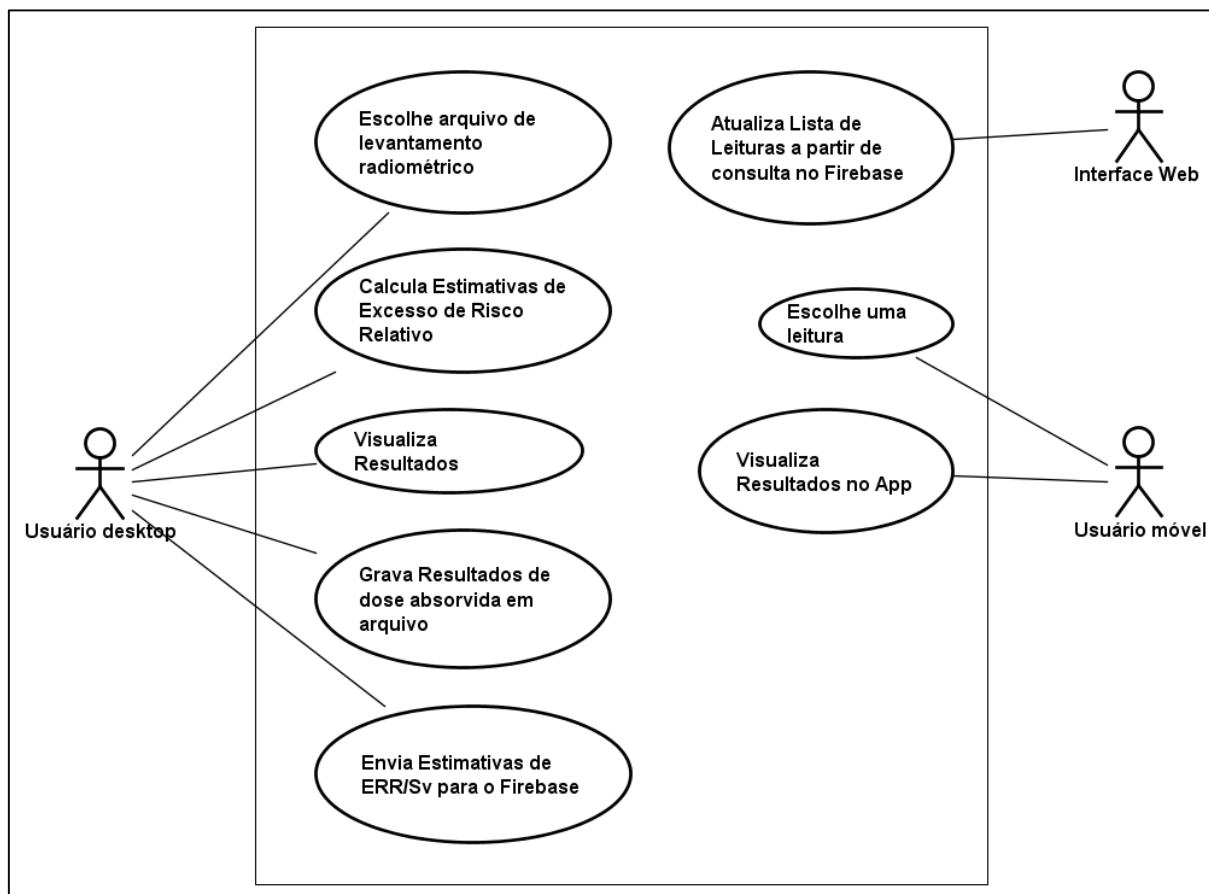


Figura 10. Diagrama de Caso de Uso do sistema

3.1.1 Descrição de caso de uso

Tabela 5. Descrição do Caso de Uso **Escolher arquivo de levantamento radiométrico**

Escolher arquivo de levantamento radiométrico
1. O usuário desktop escolhe o arquivo de levantamento radiométrico a partir de um diretório em uma máquina local.
2. O programa Análise de Risco carrega o arquivo, coletando as colunas de interesse.
3. O programa permite o cálculo das estimativas de Excesso de Risco Relativo.
Extensões
2.1. O arquivo de levantamento radiométrico possui algum erro ou dado em branco.
2.2. O arquivo procurado não segue o esquema de um arquivo de levantamento radiométrico.
2.3. O usuário cancela a busca pelo arquivo de levantamento radiométrico.

Tabela 6. Descrição do Caso de Uso **Calcula Estimativas de Excesso de Risco Relativo**

Calcula Estimativas de Excesso de Risco Relativo
1. O usuário calcula as estimativas de ERR/Sv.
2. O programa Análise de Risco preenche todos os campos da tela inicial com as estimativas.
3. O programa pega a data de leitura do arquivo aberto e verifica em sua base de dados se o arquivo já teve suas estimativas calculadas enviadas para o Firebase.
4. O programa cria diálogo perguntando se o usuário deseja visualizar os resultados.
5. O programa habilita o envio das estimativas de ERR/Sv para a base de dados <i>online</i> NoSQL do Firebase.
6. O programa habilita a gravação dos dados de dose absorvida (D) em um arquivo externo.
Extensões
1.1. O usuário cancela o cálculo das estimativas, procurando por um novo arquivo de levantamento radiométrico.
3.1. O programa exibe mensagem informando que as estimativas daquele arquivo aberto já foram enviadas para o Firebase.
4.1. O usuário não aceita visualizar os resultados no momento.
4.2. O usuário procura por um novo arquivo de levantamento radiométrico.
5.1. O programa não habilita o envio das estimativas de ERR/Sv, pois o arquivo lido já teve suas estimativas enviadas ao Firebase.

Tabela 7. Descrição do Caso de Uso **Visualiza Resultados**

Visualiza Resultados
1. O usuário <i>desktop</i> visualiza os resultados
Extensões
1.1. O usuário não visualiza os resultados, pois procura por um novo arquivo de levantamento radiométrico.

Tabela 8. Descrição do Caso de Uso **Grava Resultados de dose absorvida em arquivo**

Grava Resultados de dose absorvida em arquivo
1. O usuário <i>desktop</i> escolhe um diretório e um nome para o novo arquivo.
Extensões
1.1. O usuário cancela a gravação dos dados de dose absorvida em um arquivo externo.
1.2. O usuário procura por um novo arquivo de levantamento radiométrico.

Tabela 9. Descrição do Caso de Uso **Envia estimativas de ERR/Sv para o Firebase**

Envia estimativas de ERR/Sv para o Firebase
1. O usuário <i>desktop</i> envia as estimativas para a base de dados <i>online</i> NoSQL do Firebase.
2. O programa Análise de Risco se conecta ao Firebase persistindo as estimativas em sua base de dados.
3. O programa armazena a data de leitura do arquivo lido como identificador em uma base de dados própria.
4. O programa exibe mensagem de sucesso após enviar as estimativas de ERR/Sv ao Firebase.
Extensões
1.1. O usuário não envia as estimativas para o Firebase.
1.2. O usuário procura por um novo arquivo de levantamento radiométrico.
1.3. O usuário não envia as estimativas para o Firebase, pois a ação está indisponível, onde o arquivo lido no momento já teve suas estimativas enviadas em outra operação anterior.
2.1. O programa não se conecta ao Firebase, devido à falta de conexão com a internet.
3.1. O programa não armazena a data de leitura do arquivo como identificador, pois o arquivo já teve suas estimativas enviadas ao Firebase.

Tabela 10. Descrição do Caso de Uso **Atualiza Lista de Leituras a partir de consulta ao Firebase**

Atualiza Lista de Leituras a partir de consulta ao Firebase
1. O aplicativo ERR se conecta ao Firebase e busca por leituras salvas na sua base de dados <i>online</i> .
2. O aplicativo recupera as leituras e preenche a tela inicial com uma lista contendo as leituras.
3. O aplicativo exibe uma <i>Toast Notification</i> indicando quantas leituras foram recuperadas.
Extensões
1.1. O aplicativo ERR não se conecta, devido à falta de conexão com a internet.
2.1. O aplicativo não preenche a lista com leituras, pois não existe ainda leitura alguma salva na base de dados <i>online</i> do Firebase.
2.2. O aplicativo exibe apenas uma leitura padrão e sem valores. Pois não existem leituras recuperadas no momento.

Tabela 11. Descrição do Caso de Uso **Escolhe uma leitura**

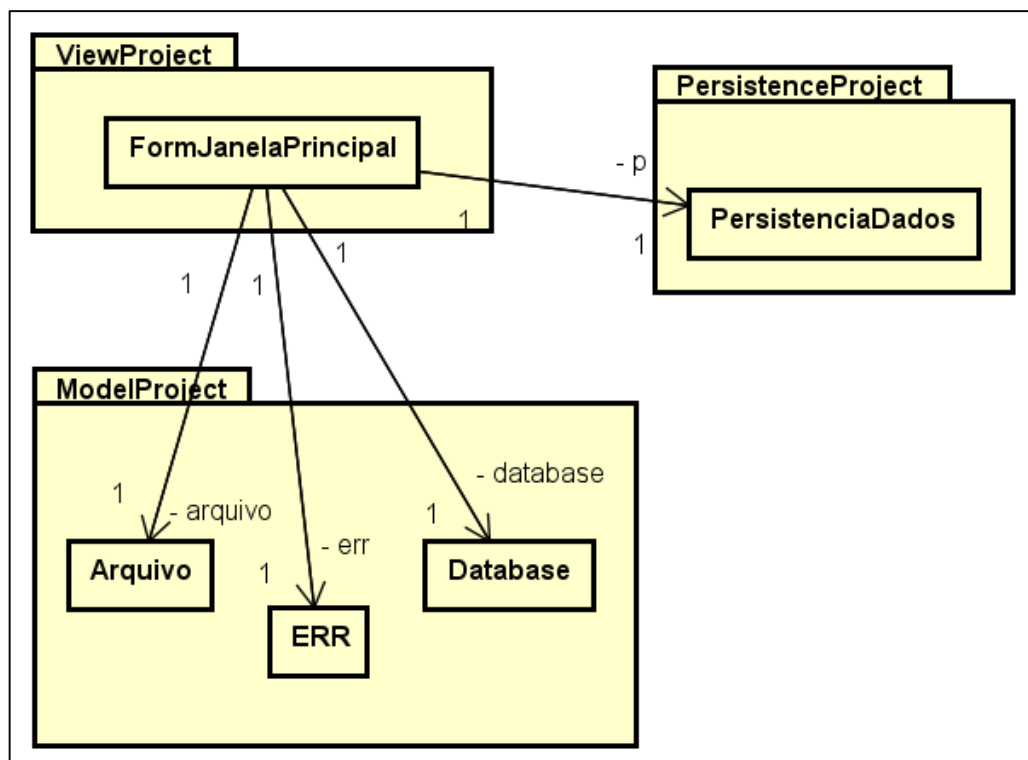
Escolhe uma leitura
1. O Usuário móvel escolhe uma leitura a partir da lista de leituras disponível na tela inicial do aplicativo ERR.
2. O aplicativo exibe uma nova tela com detalhes da leitura escolhida pelo usuário.
Extensão
1.1. O usuário não escolhe uma leitura.
1.2. O usuário é impedido de escolher uma leitura, pois não há ainda leitura alguma salva e/ou recuperada da base de dados do Firebase.

Tabela 12. Descrição do Caso de Uso **Visualiza Resultados no App**

Visualiza Resultados no App	
1.	O aplicativo ERR inicia animação do gráfico com resultados das estimativas de ERR/Sv.
2.	O usuário móvel interage através de toque com cada barra que compõe o gráfico de resultados. Exibindo assim o valor exato que construiu a barra selecionada.
Extensões	
1.1	O aplicativo não inicia a animação do gráfico, pois a leitura selecionada foi padrão, que contém valores zerados para os resultados visuais das estimativas de ERR/Sv.
1.2.	O aplicativo não inicia a animação, pois o usuário retorna à tela inicial do aplicativo para escolher uma nova leitura.
2.1.	O usuário não interage com os elementos de interface do gráfico exibido.

3.2 Diagrama de Classes da aplicação *desktop* Análise de Risco

3.2.1 Visão em Pacotes (arquitetura lógica)

**Figura 11.** Diagrama de Pacotes da aplicação Análise de Risco

3.2.2 Visão detalhada das classes

3.2.2.1 Classe do pacote ViewProject

3.2.2.1.1 Atributos da classe FormJanelaPrincipal

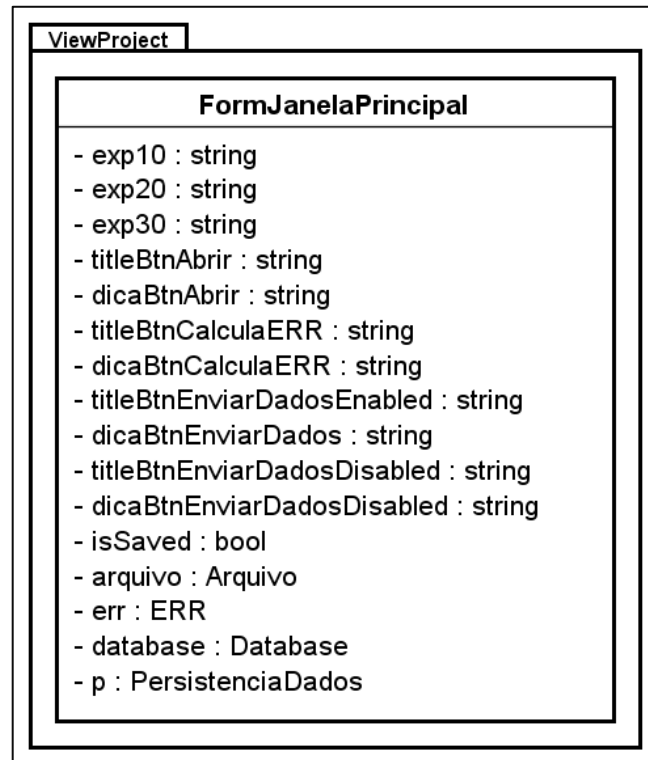


Figura 12. Atributos do Diagrama de Classe da classe **FormJanelaPrincipal** do pacote **ViewProject**

3.2.2.1.2 Métodos da classe FormJanelaPrincipal

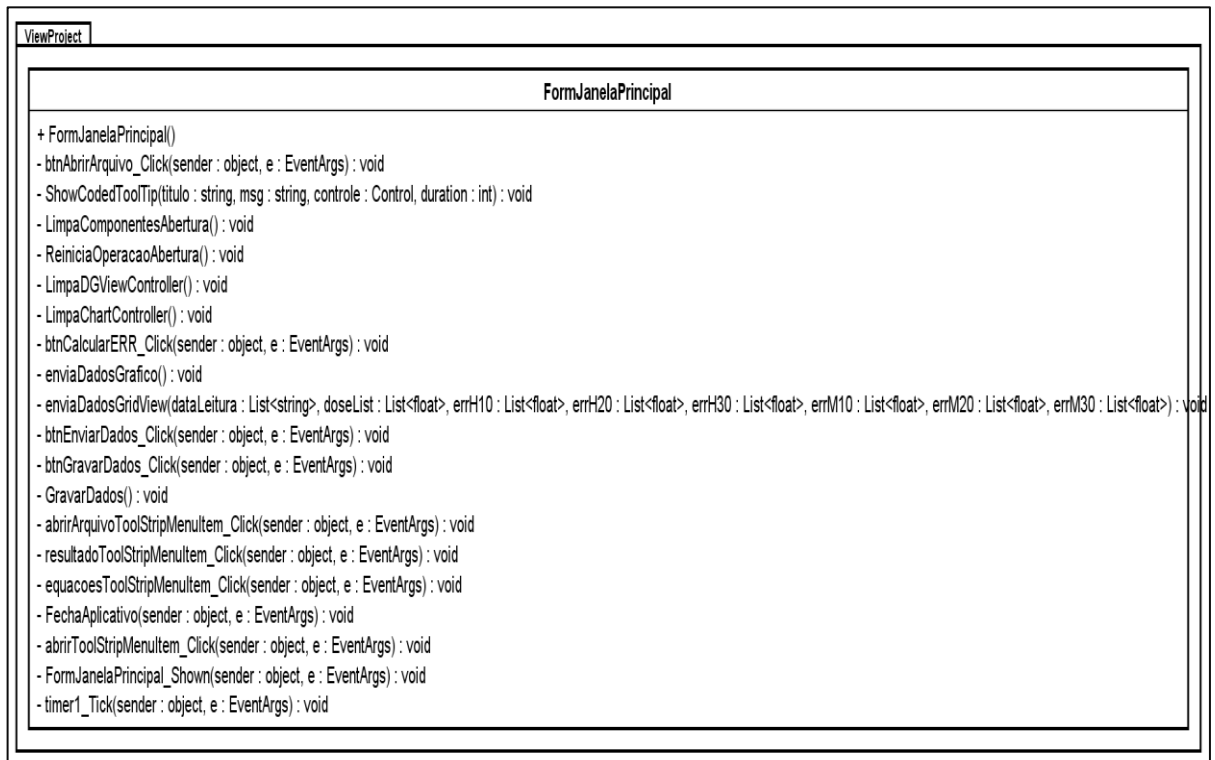


Figura 13. Métodos do Diagrama de Classe da classe **FormJanelaPrincipal** do pacote **ViewProject**

3.2.2.2 Classes do pacote ModelProject

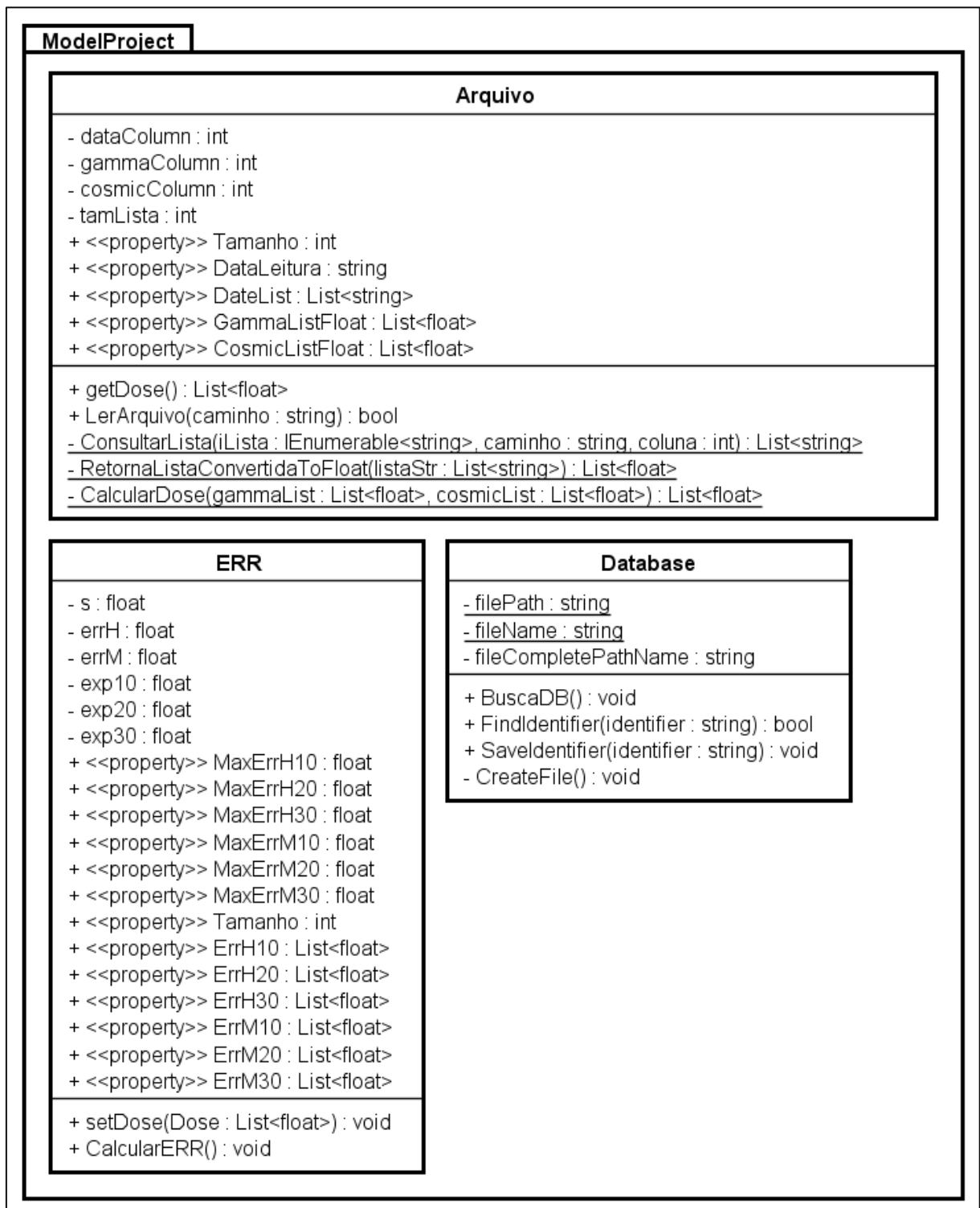


Figura 14. Diagrama de Classe das classes do pacote **ModelProject**

3.2.2.3 Classe do pacote PersistenceProject

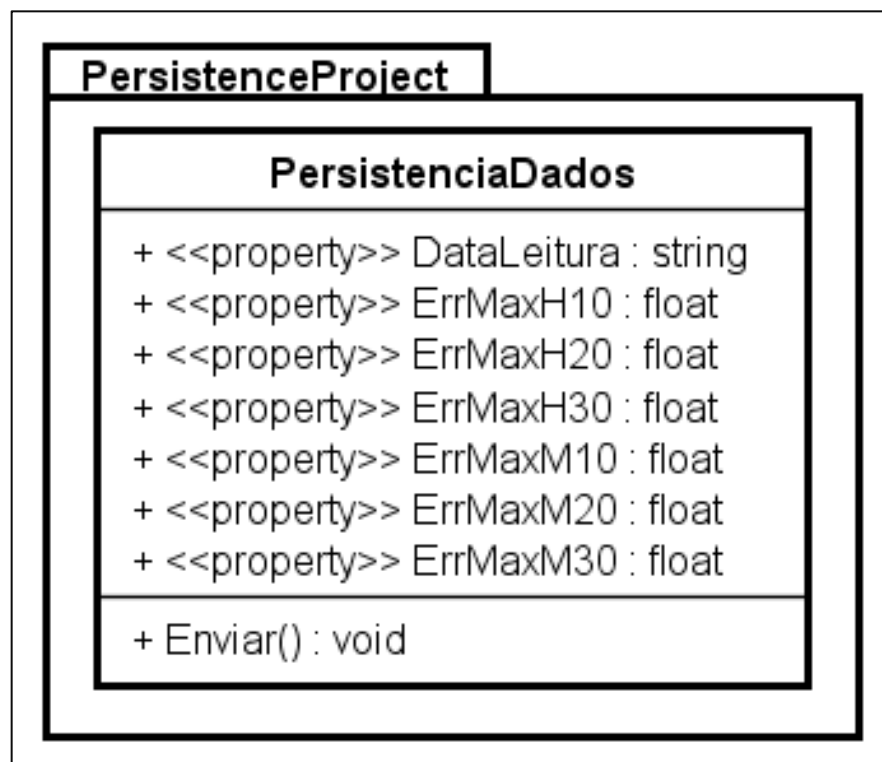


Figura 15. Diagrama de Classe da classe **PersistenciaDados** do pacote **PersistenceProject**

3.3.2 Visão detalhada das classes

3.3.2.1 Classes do pacote views

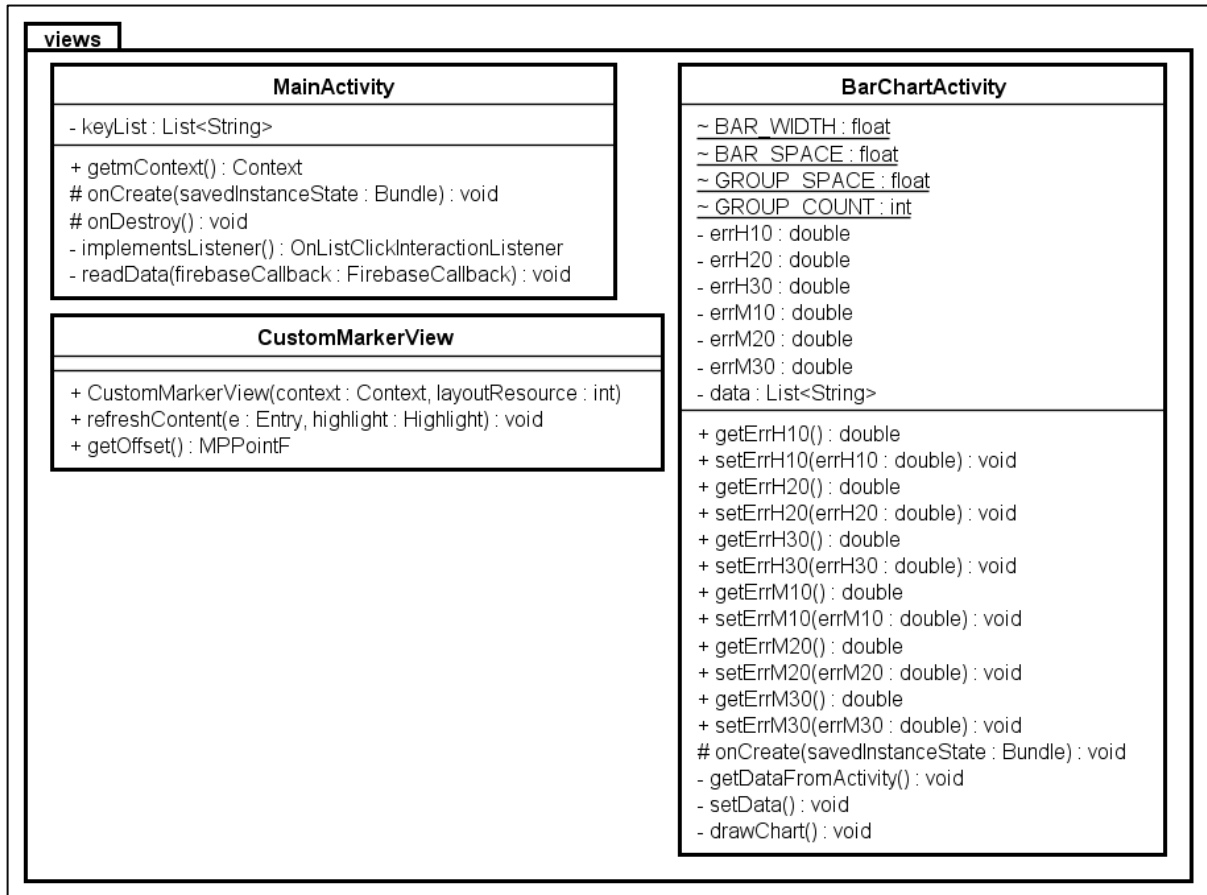


Figura 17. Diagrama de Classe das classes do pacote **views**

3.3.2.2 Classes do pacote data

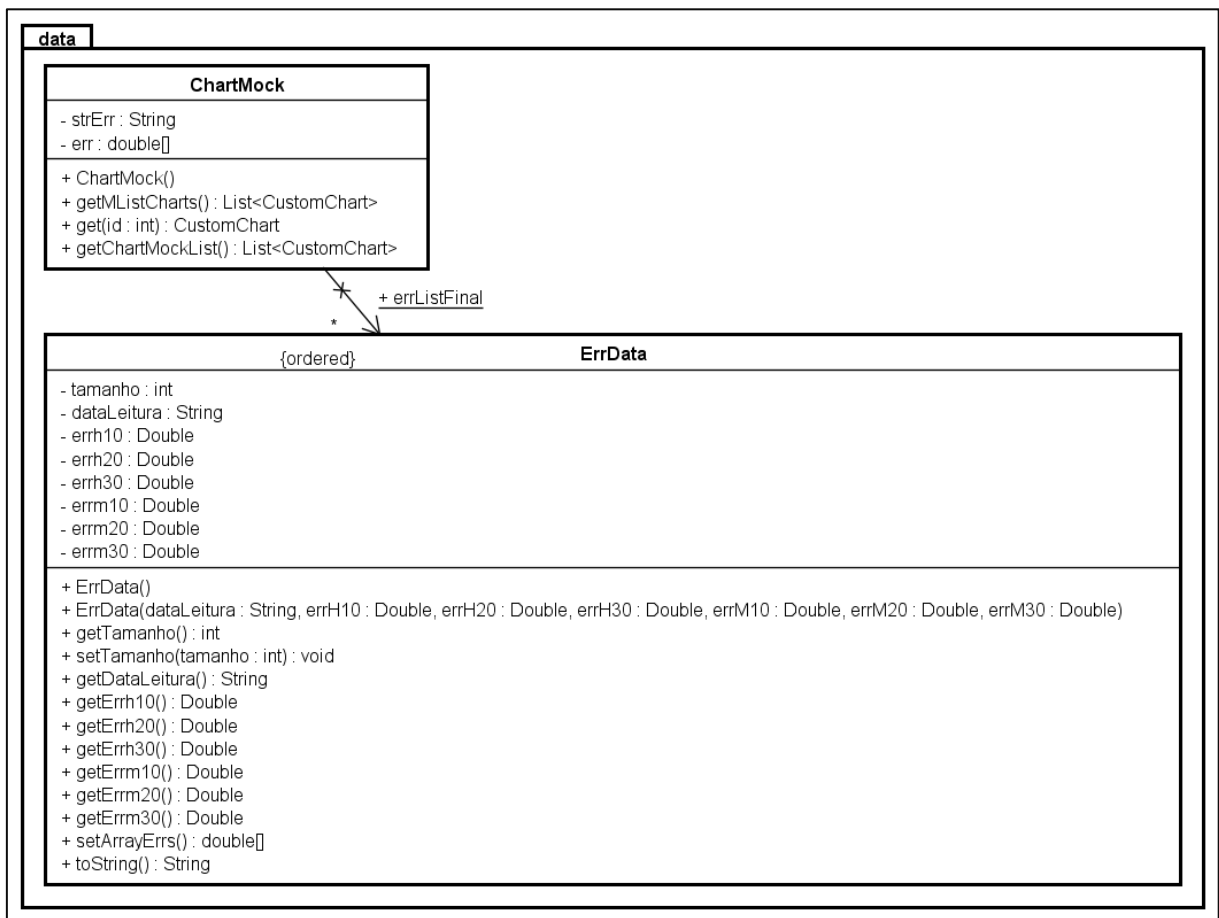


Figura 18. Diagrama de Classe das classes do pacote **data**

3.3.2.3 Classe do pacote entities

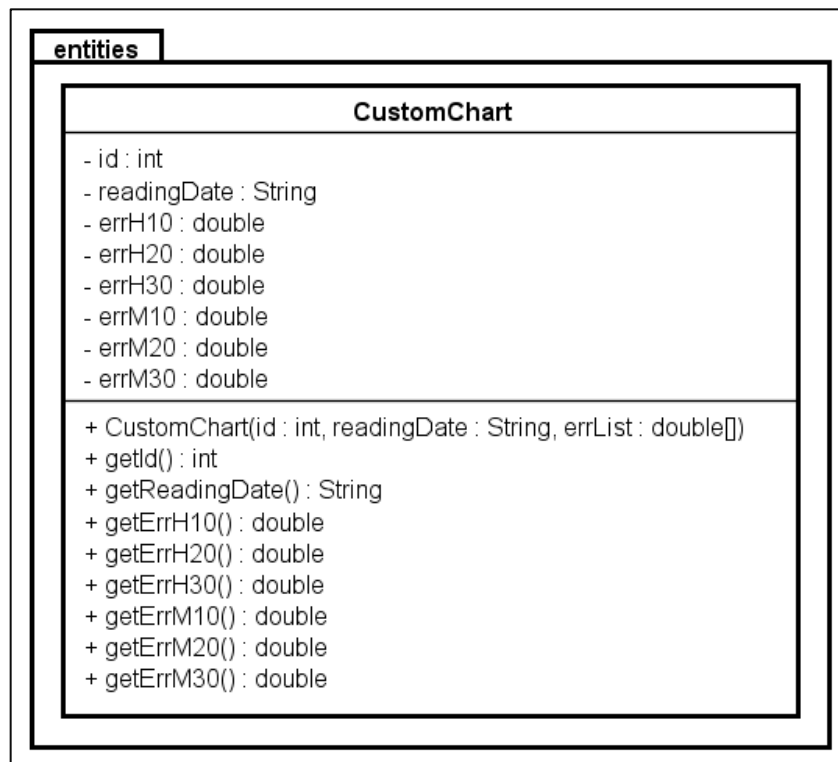


Figura 19. Diagrama de Classe da classe **CustomChart** do pacote **entities**

3.3.2.4 Classe do pacote adapter

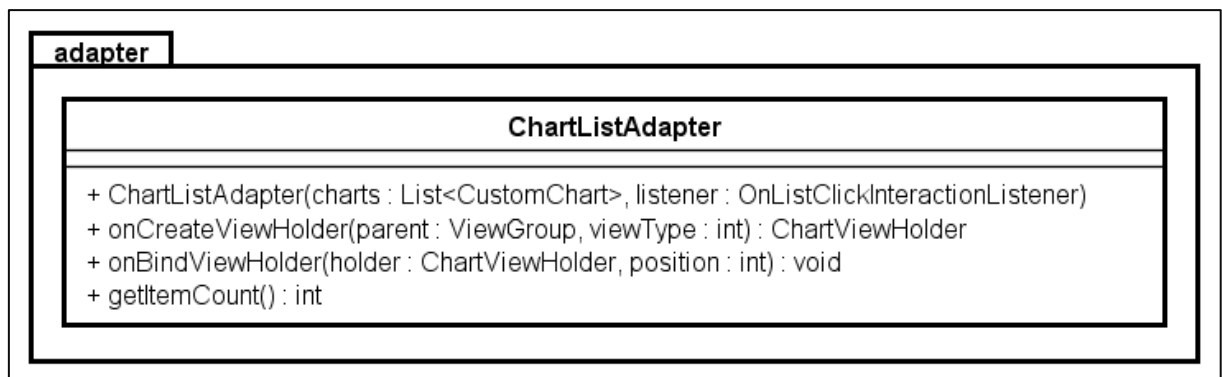


Figura 20. Diagrama de Classe da classe **ChartListAdapter** do pacote **adapter**

3.3.2.5 Classe do pacote constants

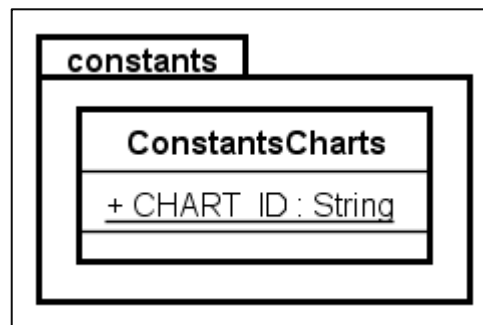


Figura 21. Diagrama de Classe da classe **ConstantsCharts** do pacote **constants**

3.3.2.6 Interface do pacote listener

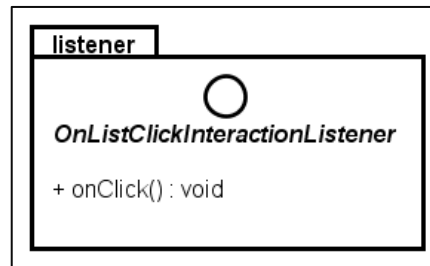


Figura 22. Diagrama de Classe da interface **OnListClickInteractionListener** do pacote **listener**

3.3.2.7 Classe do pacote viewholder

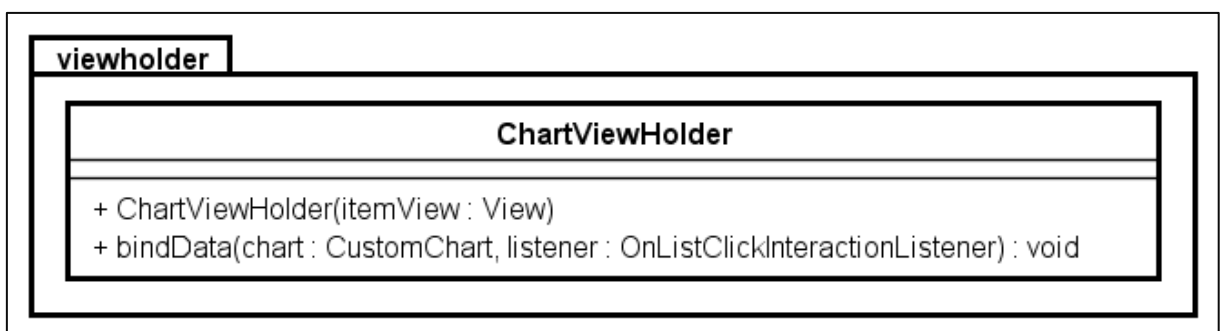


Figura 23. Diagrama de Classe da classe **ChartViewHolder** do pacote **viewholder**

CAPÍTULO 4

GUIA DE USO DO SISTEMA

4.1 Guia de uso da aplicação *desktop* Análise de Risco

4.1.1 Tela Inicial Abrir Arquivo

A figura 24 abaixo representa a tela inicial do aplicativo:

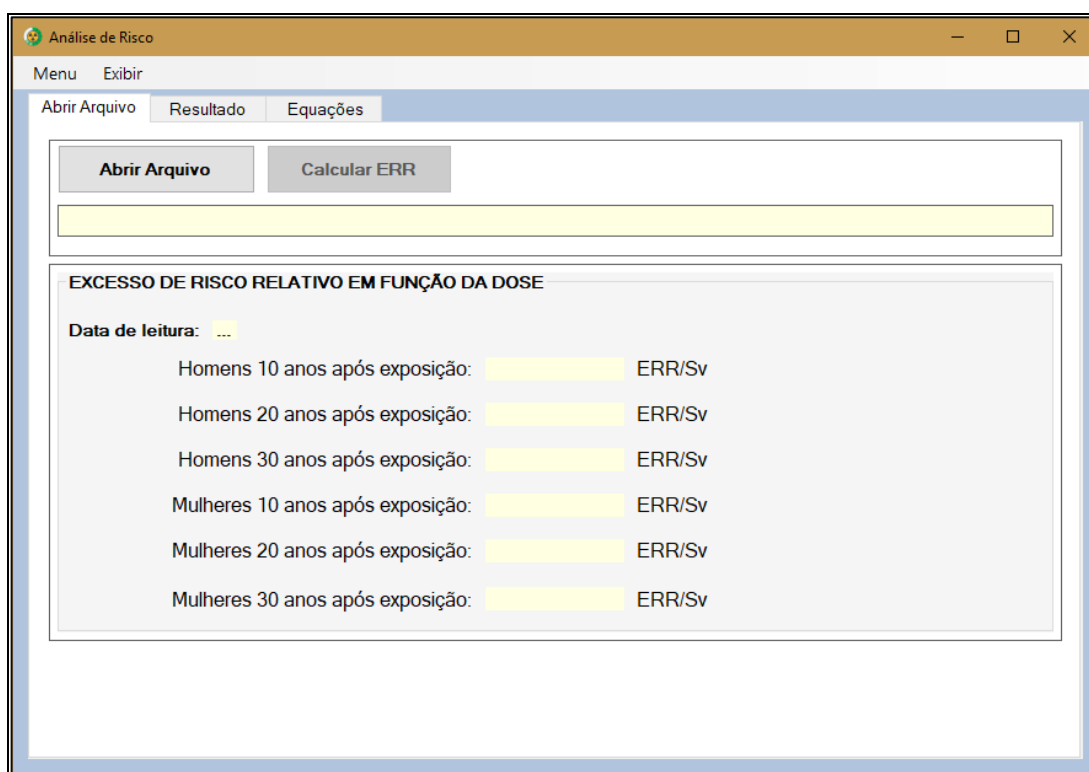


Figura 24. Tela inicial do aplicativo Análise de Risco

A única interação disponível no momento de abertura do aplicativo é o clique do botão “Abrir Arquivo”. Ao clicá-lo, será aberto um diálogo para busca do arquivo de levantamento radiométrico esperado – representado pela figura 25 abaixo:

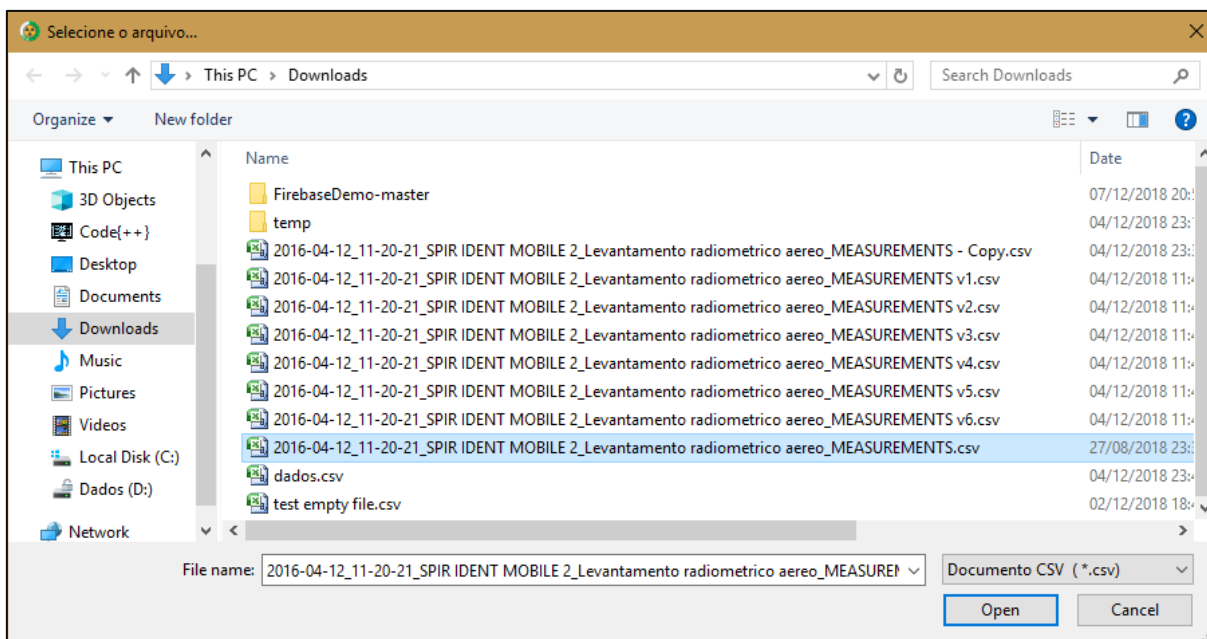


Figura 25. Diálogo de abertura do arquivo de levantamento radiométrico aéreo

Caso o usuário clique no botão “Cancel” para cancelar a operação de busca do arquivo, a seguinte mensagem é apresentada (figura 26 abaixo):

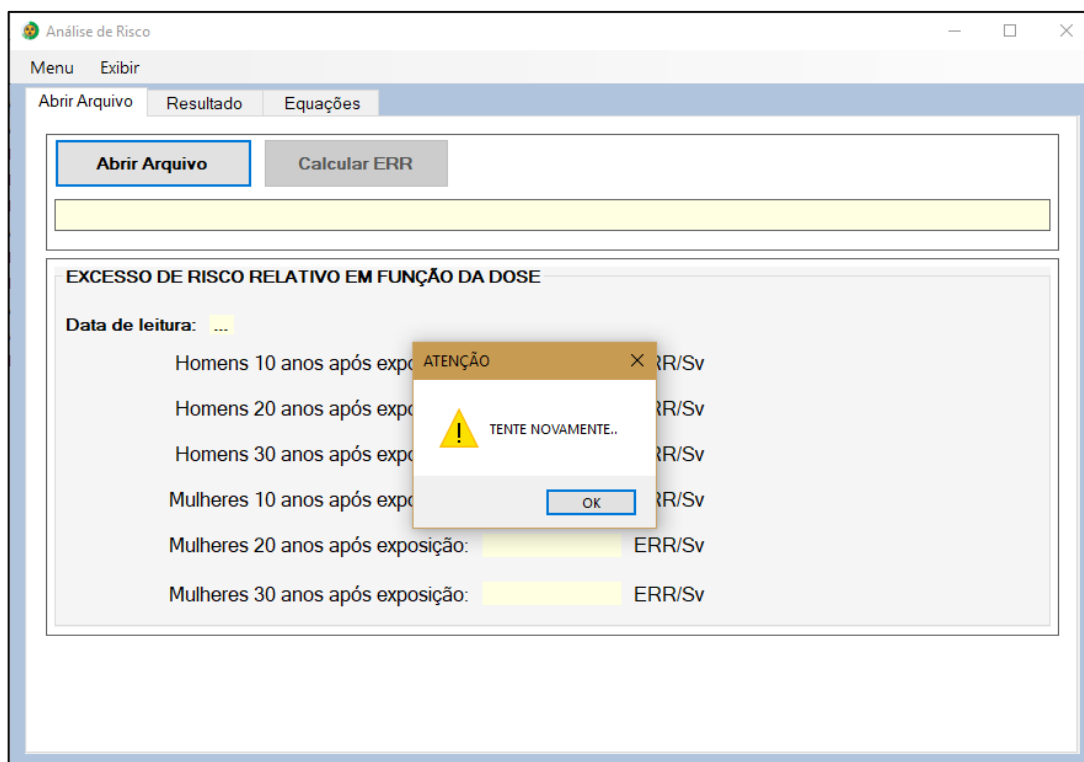


Figura 26. Mensagem em caso de cancelamento da busca do arquivo

Se o usuário ao invés de clicar em “*Cancel*”, clicar em “*Open*”, dependendo do conteúdo do arquivo de levantamento radiométrico, alguns resultados podem ser exibidos para o usuário; se o arquivo aberto tiver algum dado em branco, não seguir o esquema de organização das colunas (exemplificada pelas figuras 6 e 7 do capítulo 2), ou for outro tipo de arquivo que não um levantamento radiométrico feito pelo SpiR-ID, será apresentada uma mensagem – exemplificada na figura 27 abaixo:

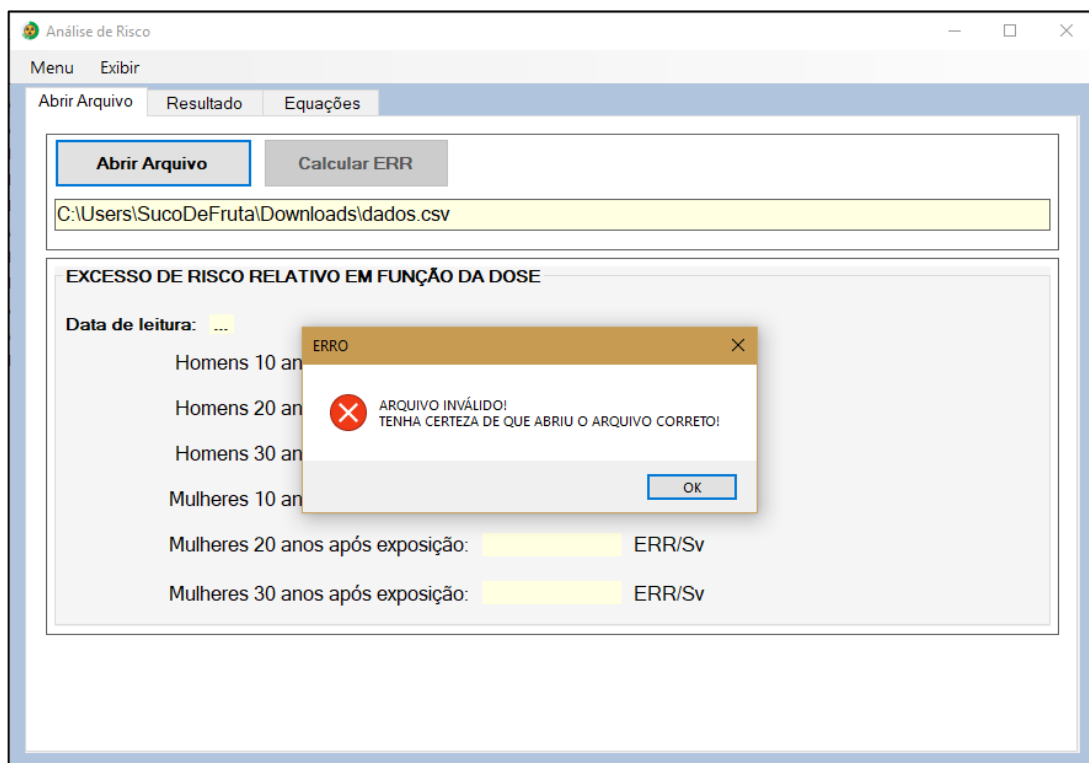


Figura 27. Mensagem de erro caso o arquivo escolhido seja inválido

Caso o arquivo aberto esteja vazio, ou com alguma coluna faltando, a seguinte mensagem será apresentada ao usuário (figura 28 abaixo):

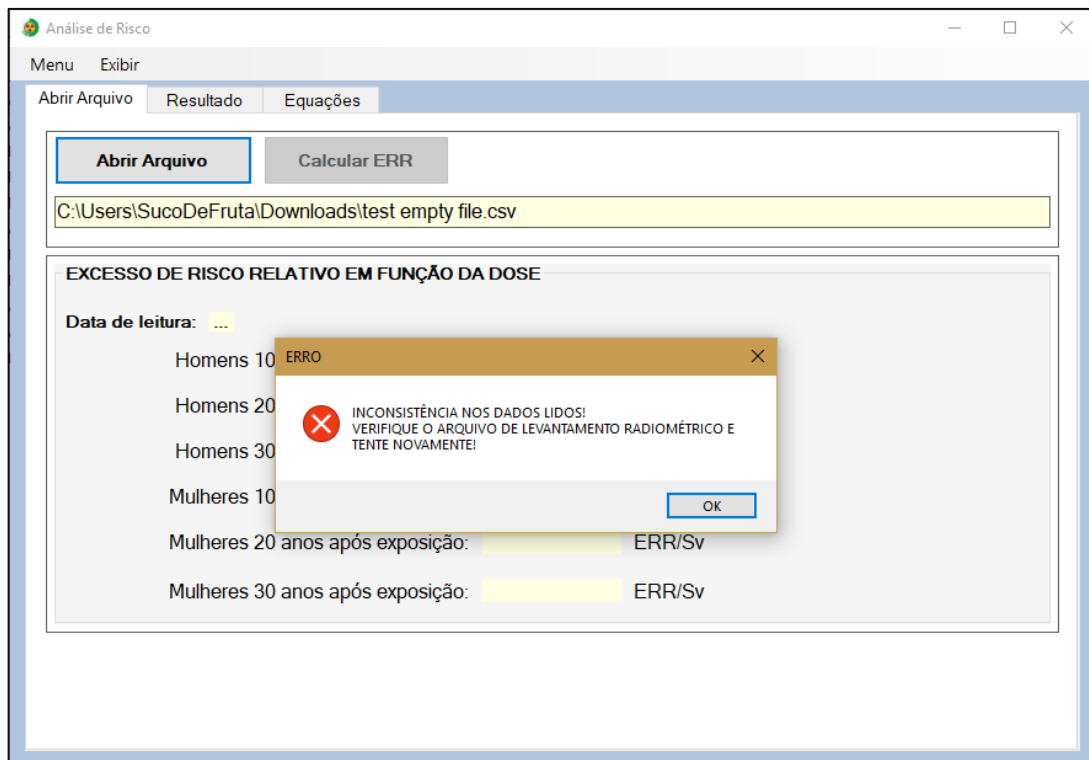


Figura 28. Mensagem de erro caso o arquivo de levantamento radiométrico contenha algum erro

Agora, caso o arquivo seja um levantamento radiométrico esperado, será apresentada a seguinte mensagem de sucesso ao usuário:

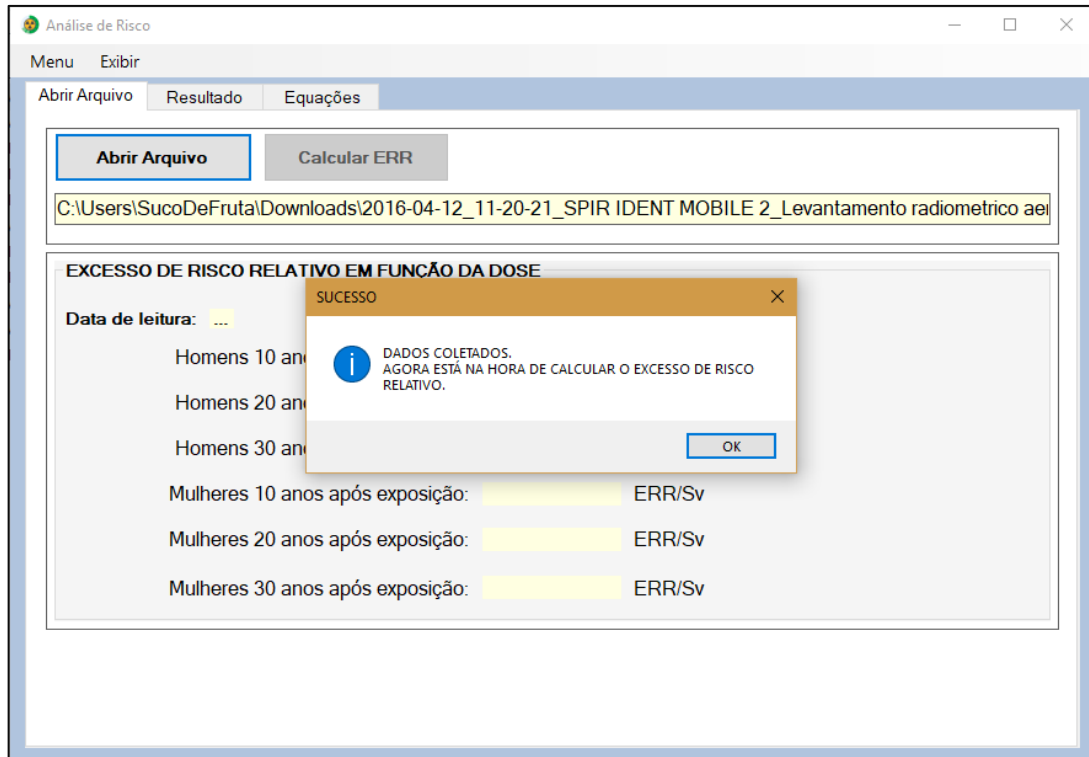


Figura 29. Mensagem de sucesso após abrir o arquivo correto

Ainda, se o arquivo já foi lido em alguma operação anterior, e seus dados tenham sido enviados para a base de dados do Firebase, será apresentada outra mensagem informando que a leitura já foi realizada:

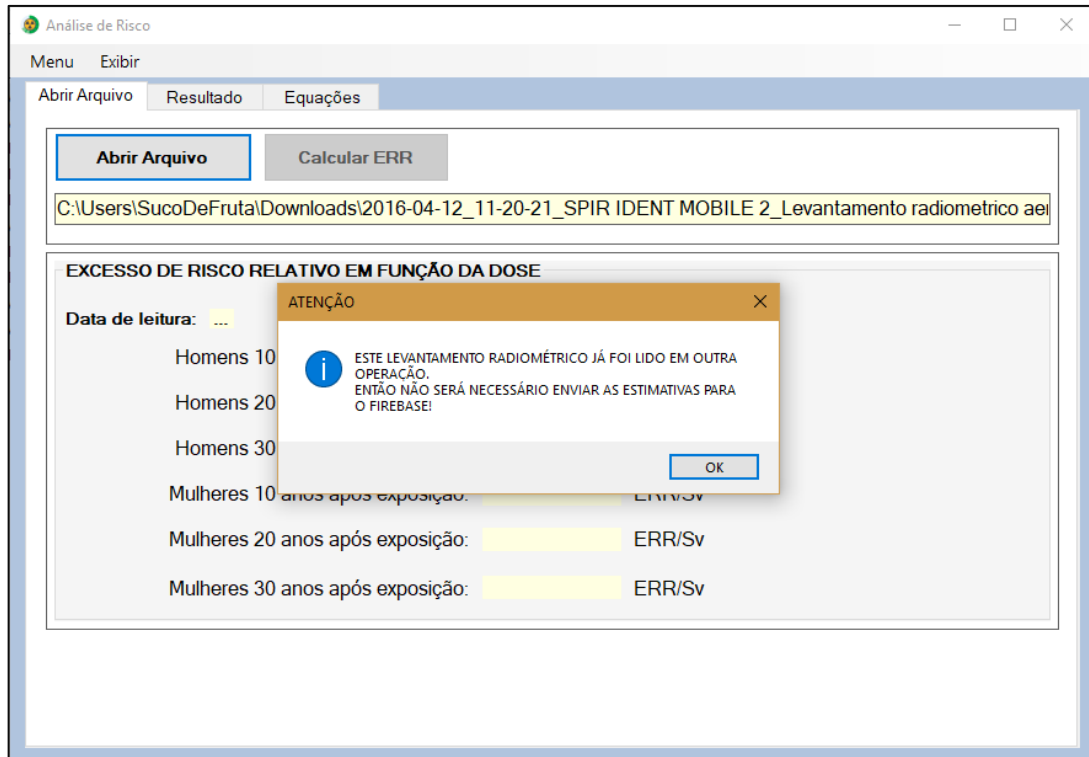


Figura 30. Mensagem de aviso caso o arquivo já tenha seus resultados salvos no Firebase

Após a mensagem de sucesso, o usuário deve clicar em “Calcular ERR” (ficará disponível apenas após a abertura com sucesso do arquivo), o qual irá preencher os campos de data de leitura e de ERR/Sv. Logo em seguida, será exibida outra mensagem ao usuário perguntando se deseja visualizar os resultados dos cálculos. A figura 31 apresenta a mensagem questionando a visualização dos dados:

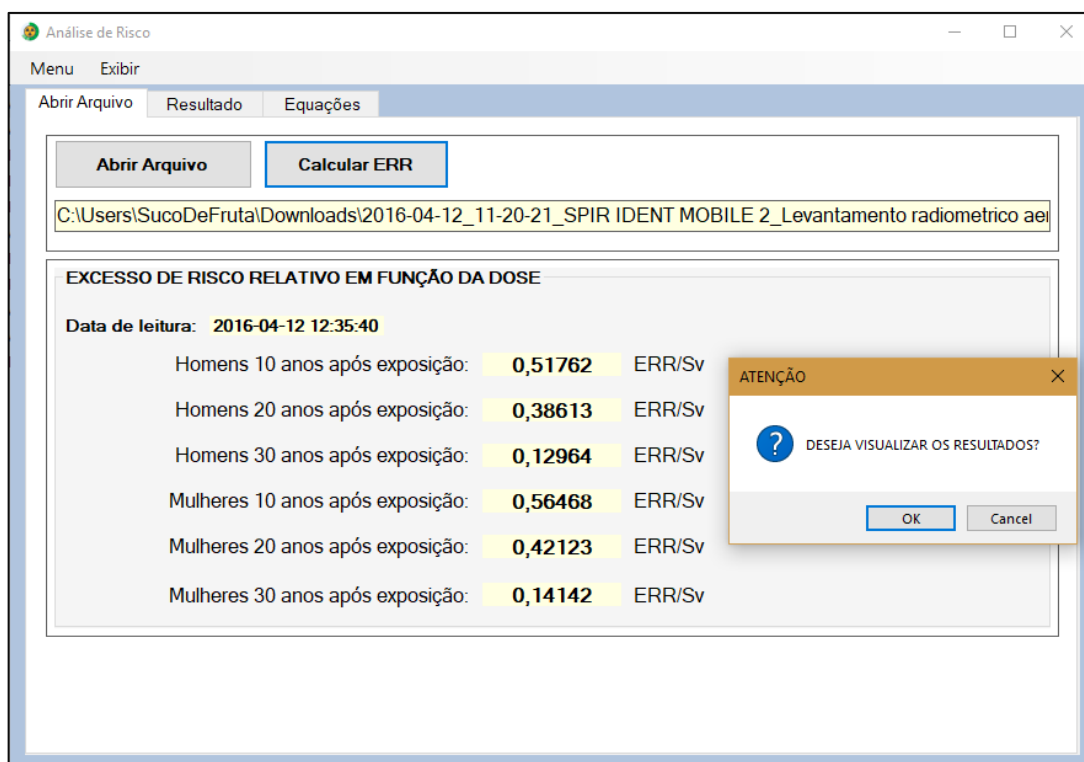


Figura 31. Diálogo para visualização dos resultados após cálculo das estimativas de ERR/Sv

Se o usuário clicar no botão “Cancel”, os campos de visualização das doses absorvidas e equivalentes, e do gráfico da aba “Resultado” ficarão indisponíveis para visualização, sendo permitido ao usuário utilizar apenas as opções “Enviar Dados” (quando disponível) e “Gravar Dados”. Assim, caso o usuário queira posteriormente visualizar os resultados, será necessário escolher a opção “Resultados” em “Exibir”, fixado no canto superior esquerdo da aplicação.

4.1.2 Tela Resultado

Caso a escolha do usuário seja positiva (clique no botão “OK” da mensagem para visualizar os resultados – exemplificada na figura 31), os resultados serão exibidos normalmente com a ativação da aba “Resultado”. As figuras 32 e 33 exemplificam o processo de exibição dos resultados.

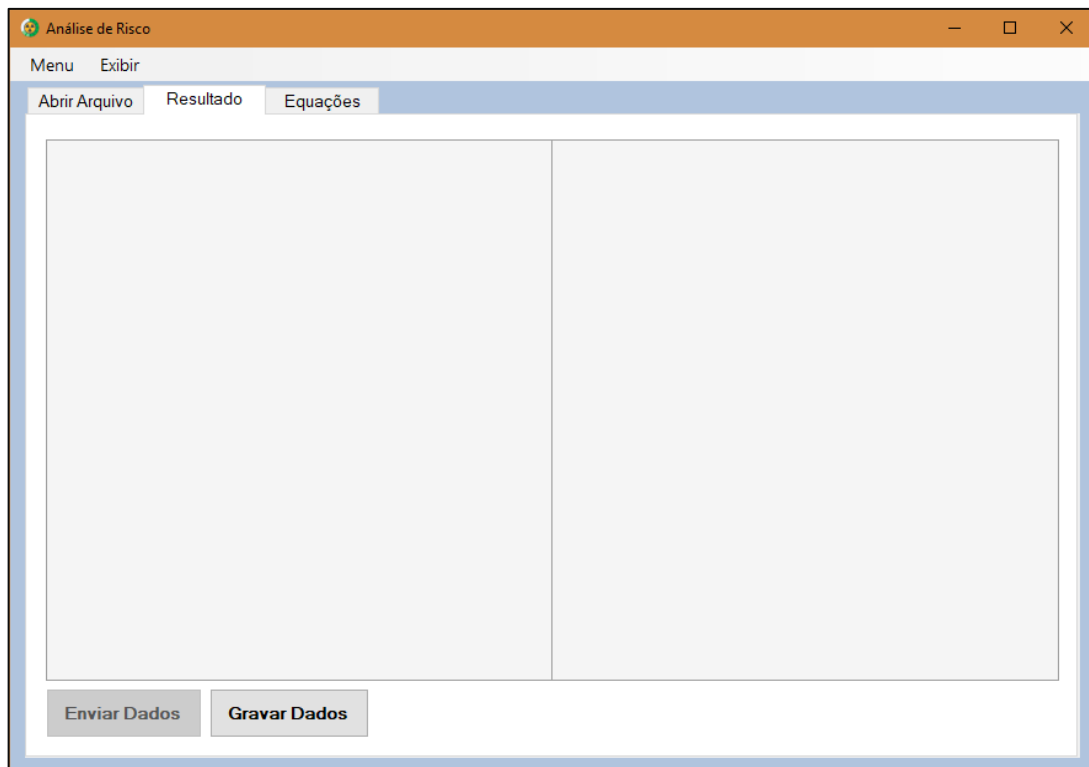


Figura 32. Tela de Resultado em branco

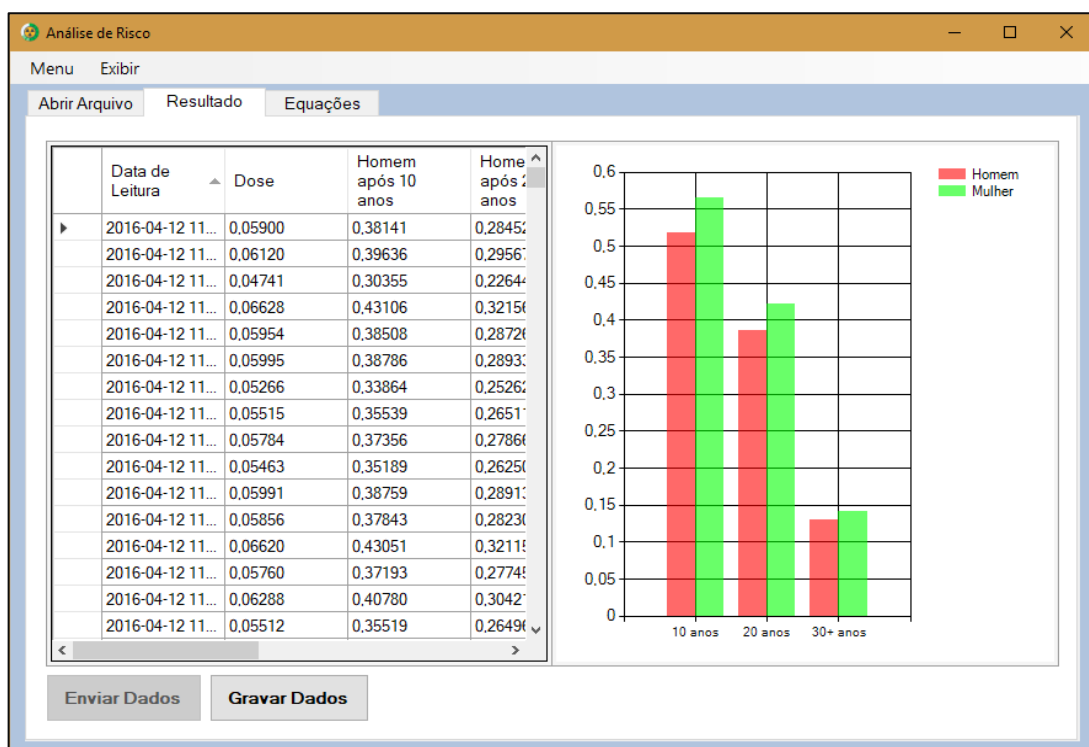


Figura 33. Tela de Resultado com dados visíveis

Ainda na aba de resultados, é possível enviar as estimativas de ERR/Sv para a base de dados *online* do Firebase, opção que estará disponível ou não, de acordo com o arquivo de

levantamento radiométrico lido inicialmente (exemplo na figura 33). A figura 34 abaixo apresenta o diálogo caso o usuário clique no botão “Enviar Dados” (quando disponível):

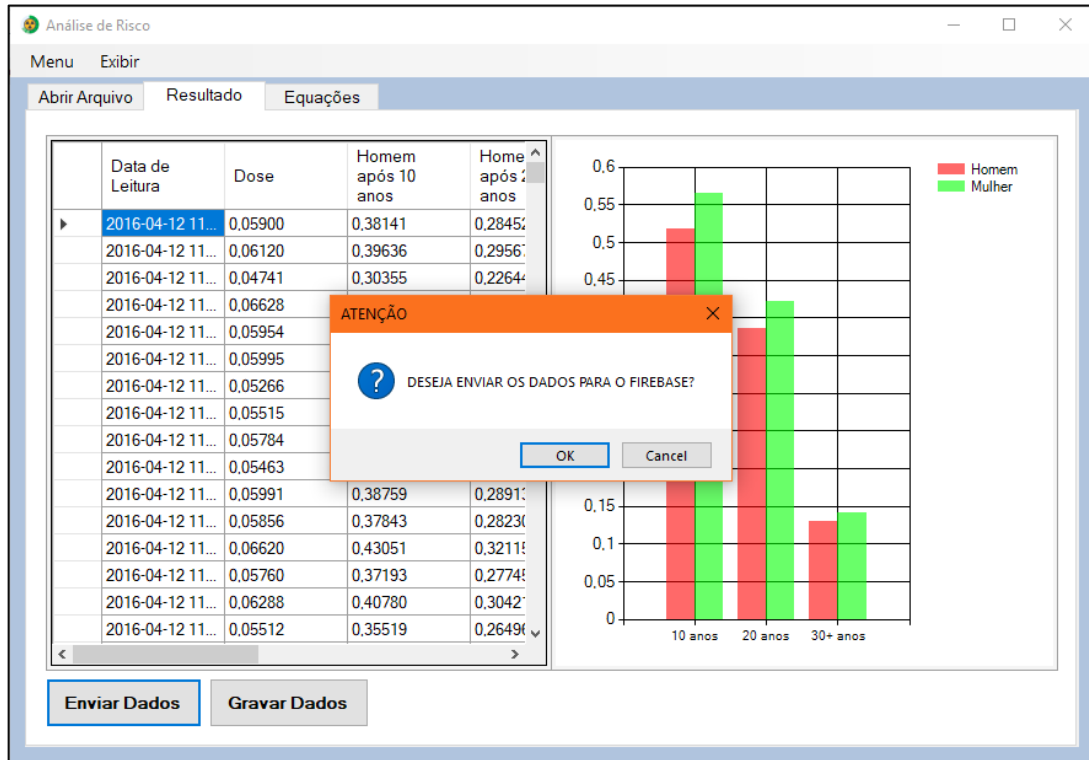


Figura 34. Diálogo para envio das estimativas para o Firebase

E a figura 35 abaixo demonstra o resultado esperado do envio das estimativas:

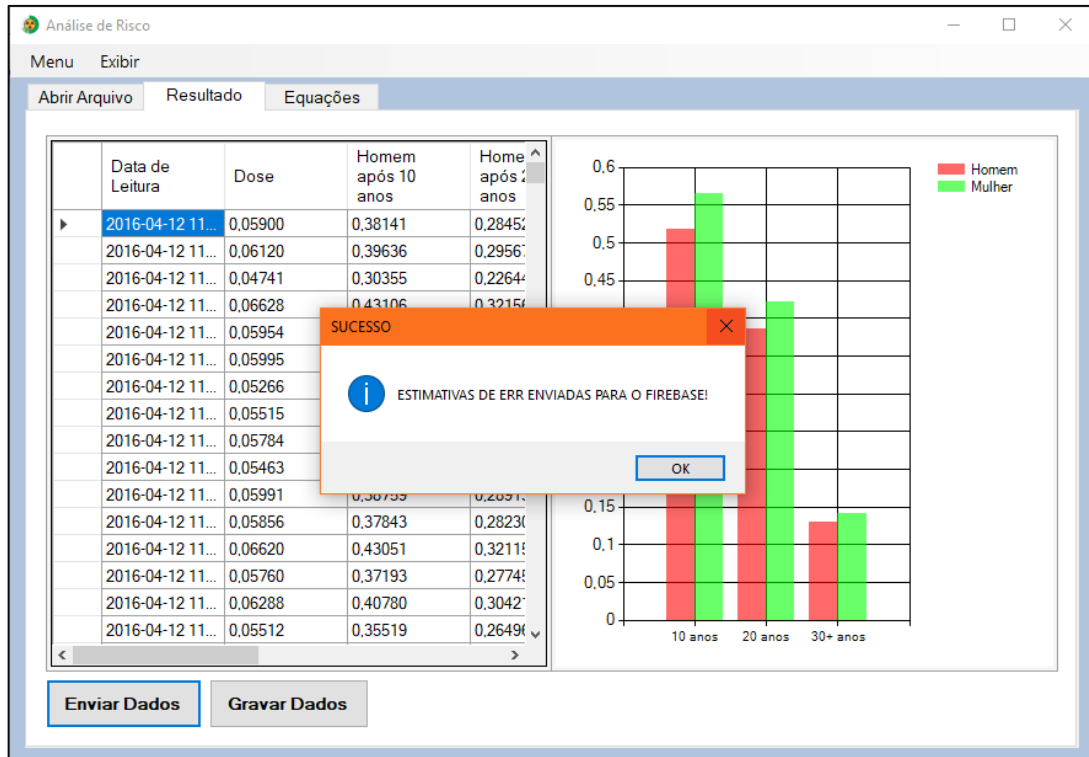


Figura 35. Mensagem de sucesso caso os dados tenham sido enviados para a base de dados do Firebase

A opção “Gravar Dados” permite ao usuário da aplicação armazenar os valores de Dose (D) em um arquivo de texto (com valores separados por ponto-e-vírgula) que poderá ser salvo em qualquer diretório permitido pelo SO no computador do usuário. As figuras 36, 37 e 38 representam os diálogos para gravar os dados, para escolha do nome do arquivo e diretório onde será salvo e para indicação de sucesso na gravação, respectivamente.

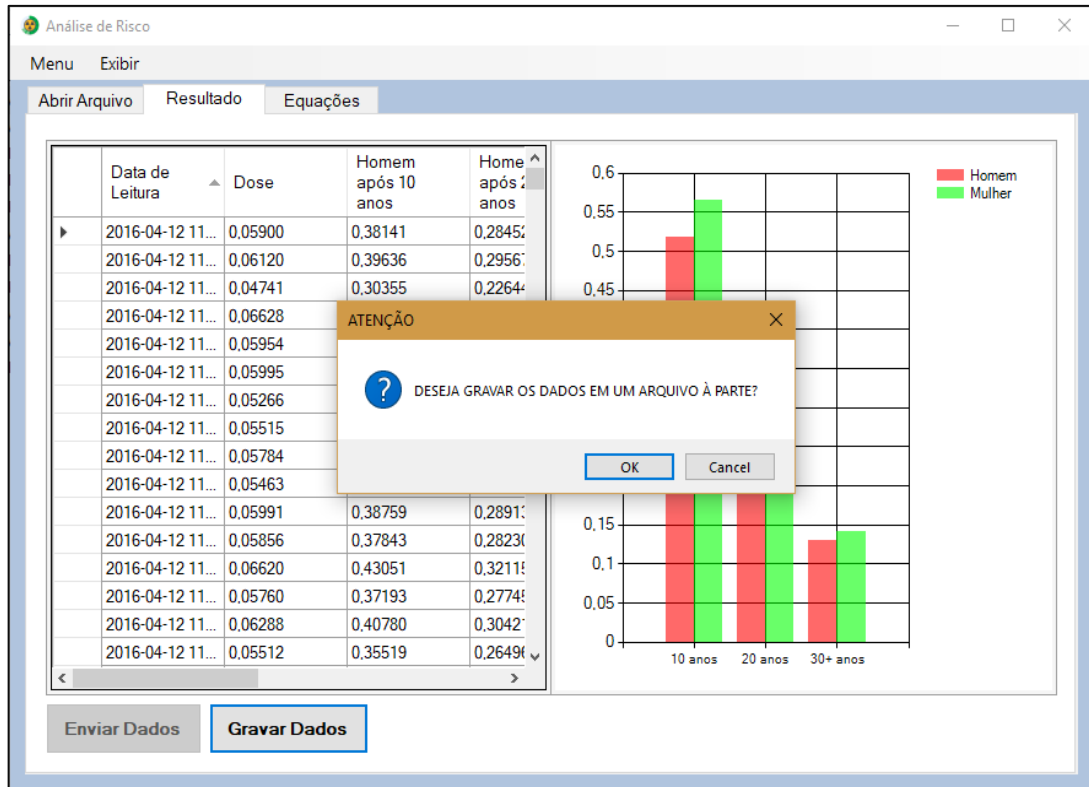


Figura 36. Diálogo para gravação da dose absorvida D em um arquivo externo

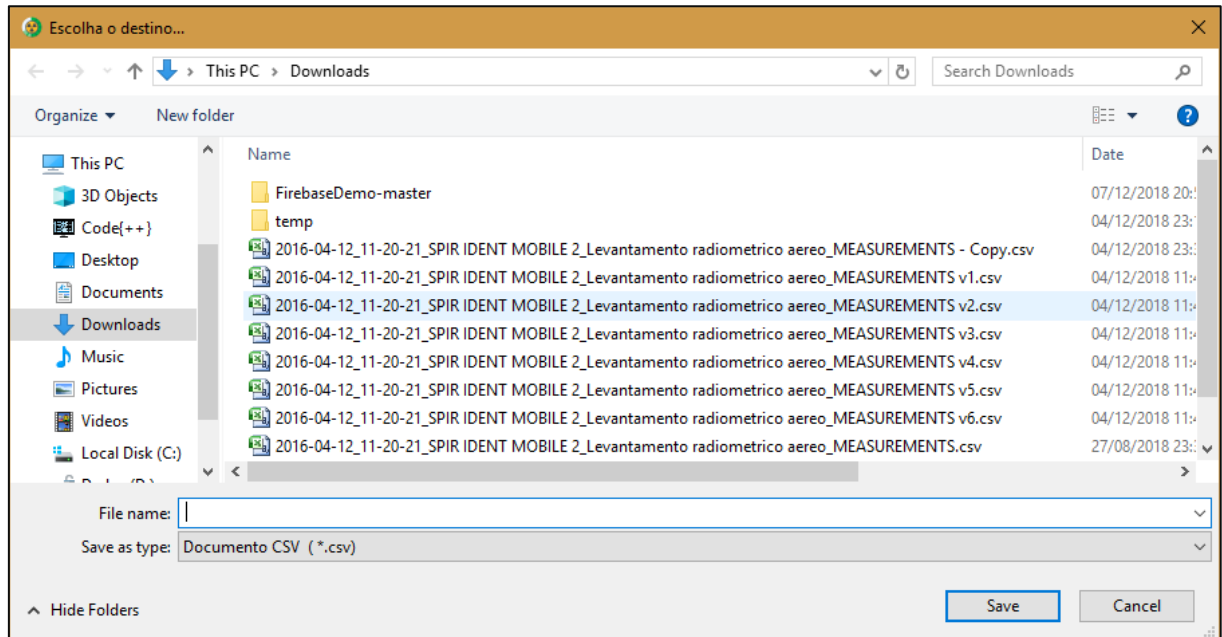


Figura 37. Diálogo para armazenamento e criação do arquivo com dados de dose gravados

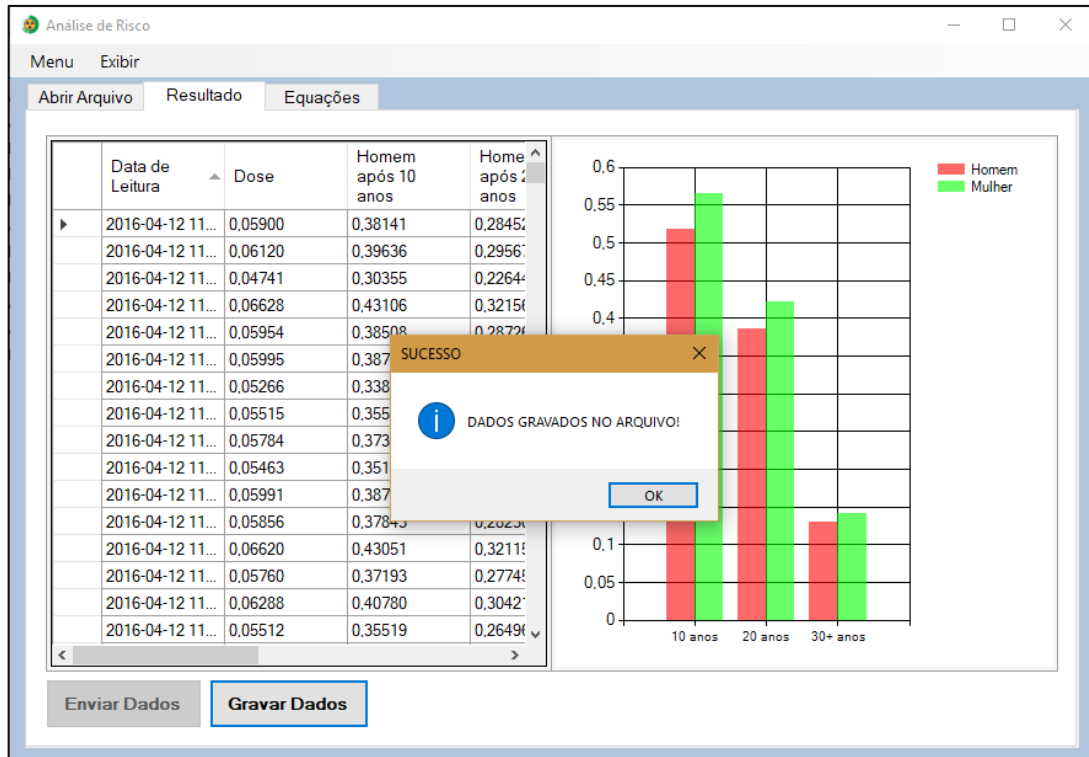


Figura 38. Mensagem de sucesso ao gravar os dados no arquivo externo

4.1.3 Tela Equações

As figuras 39 e 40 abaixo representam as abas “Dosimetria” e “BEIR VII” pertencentes à aba principal “Equações”, onde são apresentadas as equações utilizadas para solução deste trabalho, assim como os valores das variáveis presentes nestas:

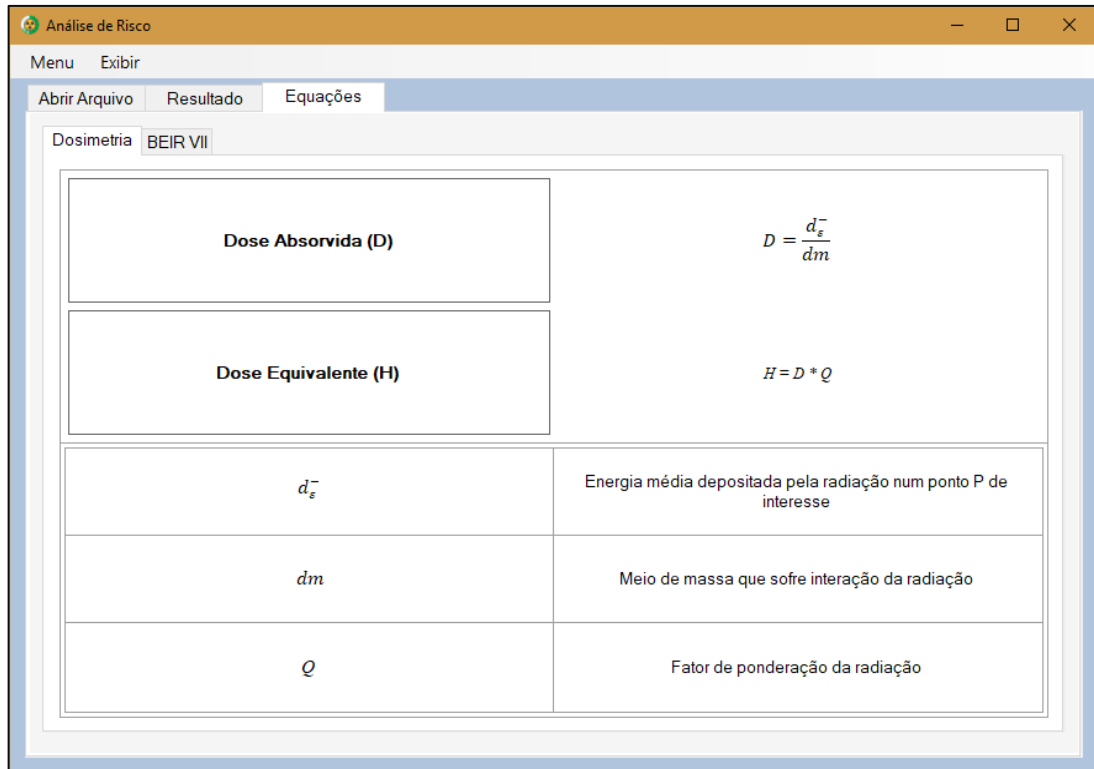


Figura 39. Equações de dosimetria da Tela Equações

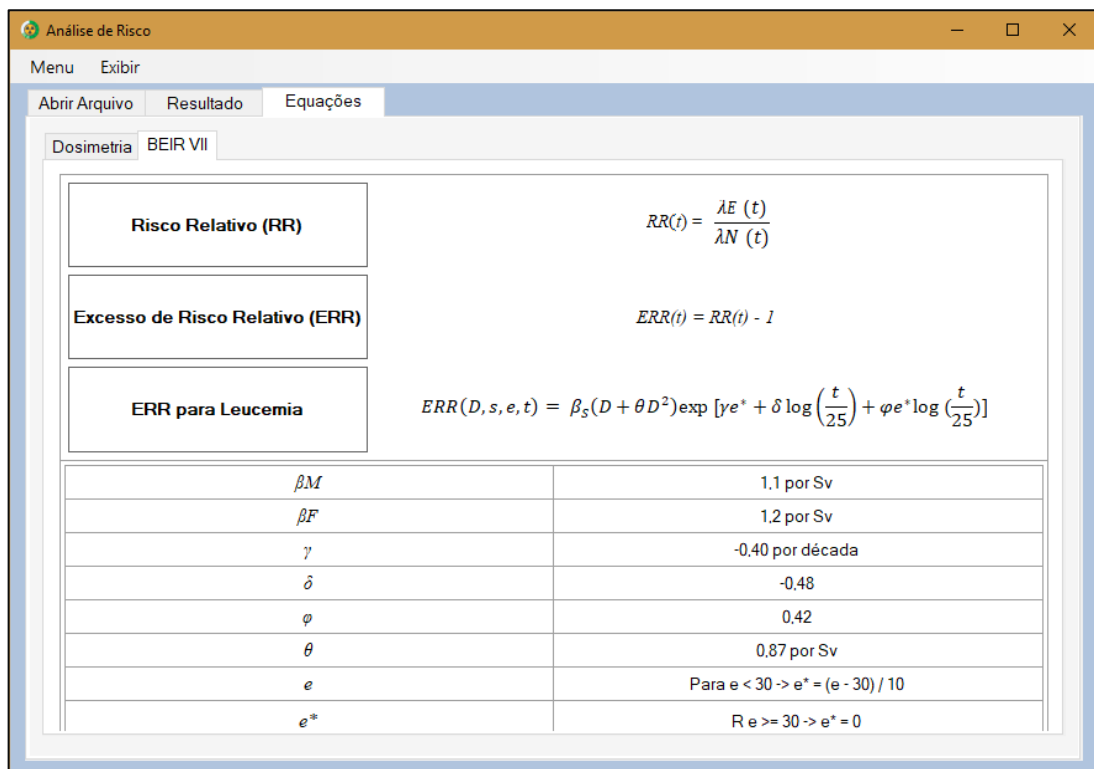


Figura 40. Equações do BEIR VII da Tela de Equações

4.1.4 Outras opções

No final de toda a operação com um arquivo de levantamento radiométrico feito pelo usuário, é possível que ele queira buscar por outro. Ele terá acesso a essa opção voltando para a aba inicial “Abrir Arquivo” e clicando no botão “Abrir Arquivo”, ou ainda pode escolher a opção “Abrir” presente em “Menu”, fixado no canto superior esquerdo da aplicação. Qualquer uma das escolhas cria um diálogo, demonstrado na figura 41 abaixo:

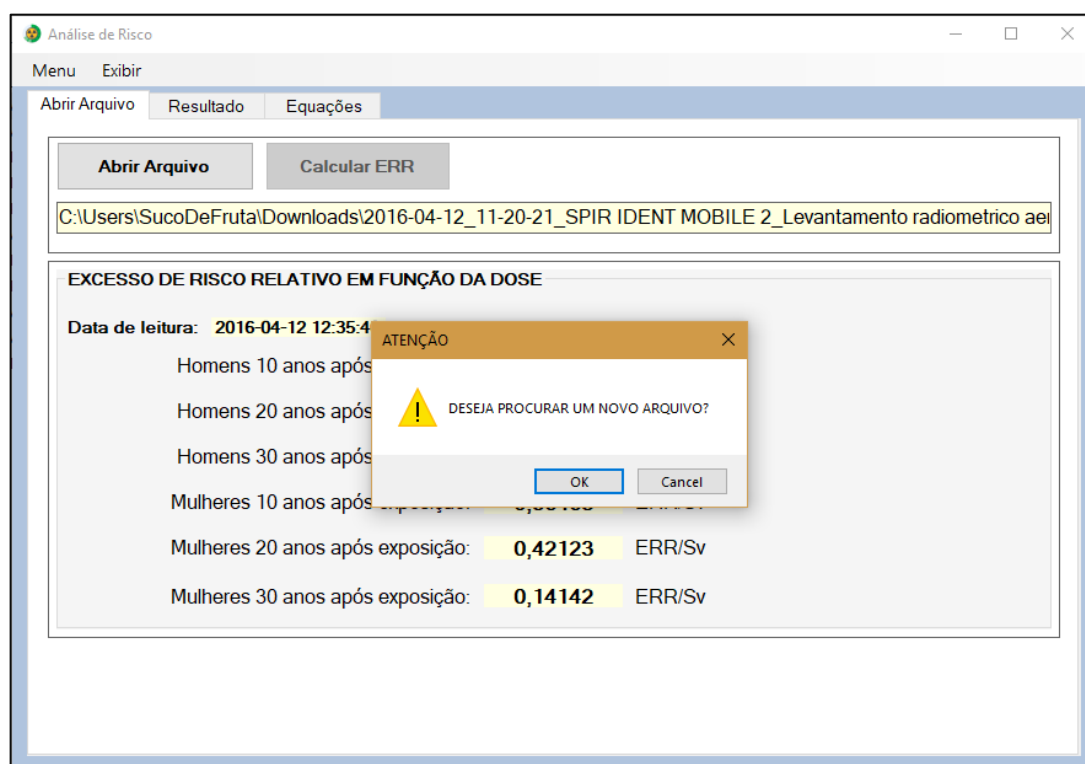


Figura 41. Diálogo para abertura de um novo arquivo de levantamento radiométrico aéreo

Caso o usuário clique em “OK”, a aplicação voltará ao seu estado inicial (exemplificado na figura 24) e todo o processo de busca de um arquivo de levantamento radiométrico será iniciado novamente, como demonstrado a partir do item 4.1.1 até o item 4.1.3.

Qualquer aba poderá ser ativada através das opções presentes em “Exibir” no canto superior esquerdo da aplicação, assim como as operações “Abrir”, “Gravar Dados” e “Sair” presentes em “Menu”, também fixado no canto superior esquerdo da aplicação.

4.2 Guia de uso da aplicação *mobile* ERR

O aplicativo ERR possui uma interface simples, apresentando apenas duas telas. A tela inicial do aplicativo nos apresenta a lista de leituras feitas e armazenadas na base de dados *online* do Firebase; enquanto que a segunda tela é criada a partir da interação de clique do usuário em um item da lista de leituras, e que exibe o gráfico correspondente à leitura selecionada pelo usuário na tela inicial. A figura 42 exemplifica a tela inicial:

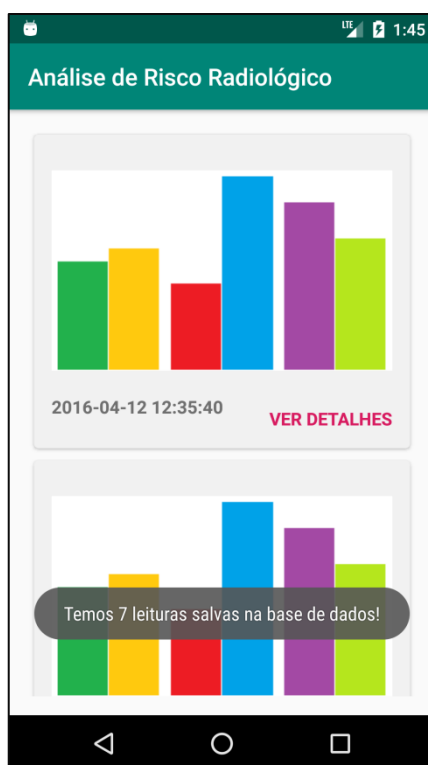


Figura 42. Tela inicial do aplicativo ERR

A cada inicialização do aplicativo será exibida temporariamente uma notificação (similar à notificação presente na figura acima), conhecida como *Toast Notification*, um recurso do SO móvel Android que permite notificações em tempo real configuradas no aplicativo, sem interferir nas interações com o mesmo. A notificação que é exibida logo após a inicialização diz quantas leituras estão salvas no Firebase, e consequentemente representa a quantidade de itens na lista de leituras da tela inicial. Como a plataforma Firebase é assíncrona, enquanto o usuário estiver utilizando o aplicativo, podem ocorrer alterações na base de dados, como por exemplo: adição de uma nova leitura, remoção de uma leitura feita ou até modificações nos valores de uma determinada leitura. Em qualquer destas situações, a

tela inicial do aplicativo será recarregada, e exibirá uma nova notificação *Toast*, indicando o motivo da atualização da tela.

Para o usuário visualizar os resultados de uma leitura presente na lista da tela inicial, é preciso que ele clique na opção “VER DETALHES” presente no canto inferior direito de cada item. A figura 43 abaixo representa os resultados de um determinado item da lista de leituras:

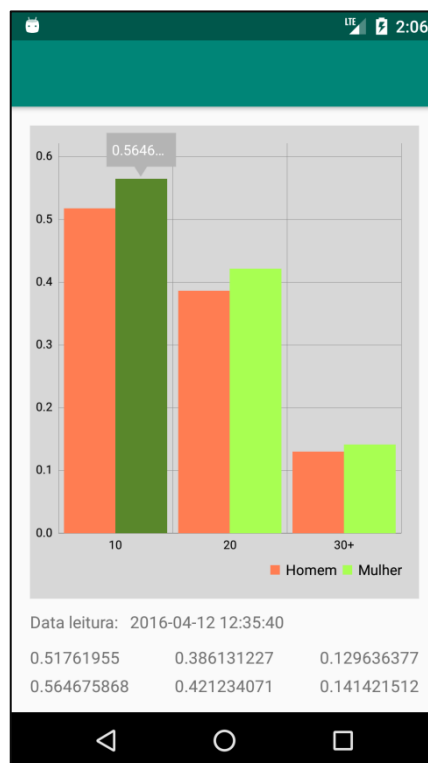


Figura 43. Visualização dos resultados de uma leitura escolhida na tela inicial

A única interação do usuário possível nesta tela é a seleção de cada barra do gráfico, o qual exibe logo acima da barra selecionada o valor exato da mesma. Ainda, na parte inferior da tela são exibidas a data de leitura e os valores de ERR que compõe cada barra do gráfico.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO

5.1 Resultados

Ao utilizar a fonte de dados do levantamento radiométrico aéreo feito em 2016 no aplicativo Análise de Risco, que por sua vez aplica os valores de dose nas funções (especificadas nas tabelas 3 e 4) implementadas no mesmo, teremos os seguintes resultados mostrados nas figuras 44 e 45 abaixo:

	Data de Leitura	Dose	Homem após 10 anos	Homem após 20 anos	Homem após 30 anos	Mulher após 10 anos	Mulher após 20 anos
	2016-04-12 12:35:39	0,07878	0,51762	0,38613	0,12964	0,56468	0,42123
	2016-04-12 12:35:30	0,07493	0,49078	0,36611	0,12291	0,53540	0,39939
	2016-04-12 12:35:01	0,07396	0,48404	0,36108	0,12123	0,52805	0,39391
	2016-04-12 12:35:03	0,07387	0,48342	0,36062	0,12107	0,52737	0,39340
	2016-04-12 12:34:59	0,07371	0,48231	0,35979	0,12079	0,52615	0,39250
	2016-04-12 12:35:00	0,07368	0,48210	0,35963	0,12074	0,52593	0,39233
	2016-04-12 12:35:06	0,07366	0,48196	0,35953	0,12071	0,52578	0,39222
	2016-04-12 12:35:38	0,07362	0,48168	0,35932	0,12064	0,52547	0,39199
	2016-04-12 12:35:32	0,07251	0,47399	0,35359	0,11871	0,51708	0,38573
	2016-04-12 12:34:57	0,07246	0,47364	0,35333	0,11862	0,51670	0,38545
	2016-04-12 12:35:21	0,07170	0,46839	0,34940	0,11731	0,51097	0,38117
	2016-04-12 12:35:31	0,07115	0,46458	0,34657	0,11635	0,50682	0,37807
	2016-04-12 12:35:23	0,07071	0,46154	0,34430	0,11559	0,50350	0,37560
	2016-04-12 12:34:55	0,07038	0,45927	0,34260	0,11502	0,50102	0,37375
	2016-04-12 12:35:05	0,07021	0,45809	0,34173	0,11473	0,49974	0,37279
	2016-04-12 12:35:08	0,07012	0,45747	0,34126	0,11457	0,49906	0,37229
	2016-04-12 11:26:56	0,06998	0,45651	0,34054	0,11433	0,49801	0,37150
	2016-04-12 12:35:02	0,06996	0,45637	0,34044	0,11430	0,49786	0,37139
	2016-04-12 12:35:36	0,06974	0,45485	0,33931	0,11392	0,49620	0,37015
	2016-04-12 12:34:54	0,06958	0,45375	0,33848	0,11364	0,49500	0,36926
	2016-04-12 12:35:04	0,06934	0,45209	0,33725	0,11323	0,49319	0,36791

Figura 44. Trecho das doses calculadas na aplicação *desktop* Análise de Risco

De acordo com a figura 44, temos o maior valor da dose absorvida (a coluna destacada, que contém seus valores ordenados de forma decrescente) não ultrapassando os 0,079 Sv. Assim, de acordo com o item 1.8, sabemos que a dose coletada está abaixo do definido pelo BEIR VII, que determina baixas doses de radiação como sendo aquelas que não ultrapassarem o valor de 100 mSv (0,1 Sv).

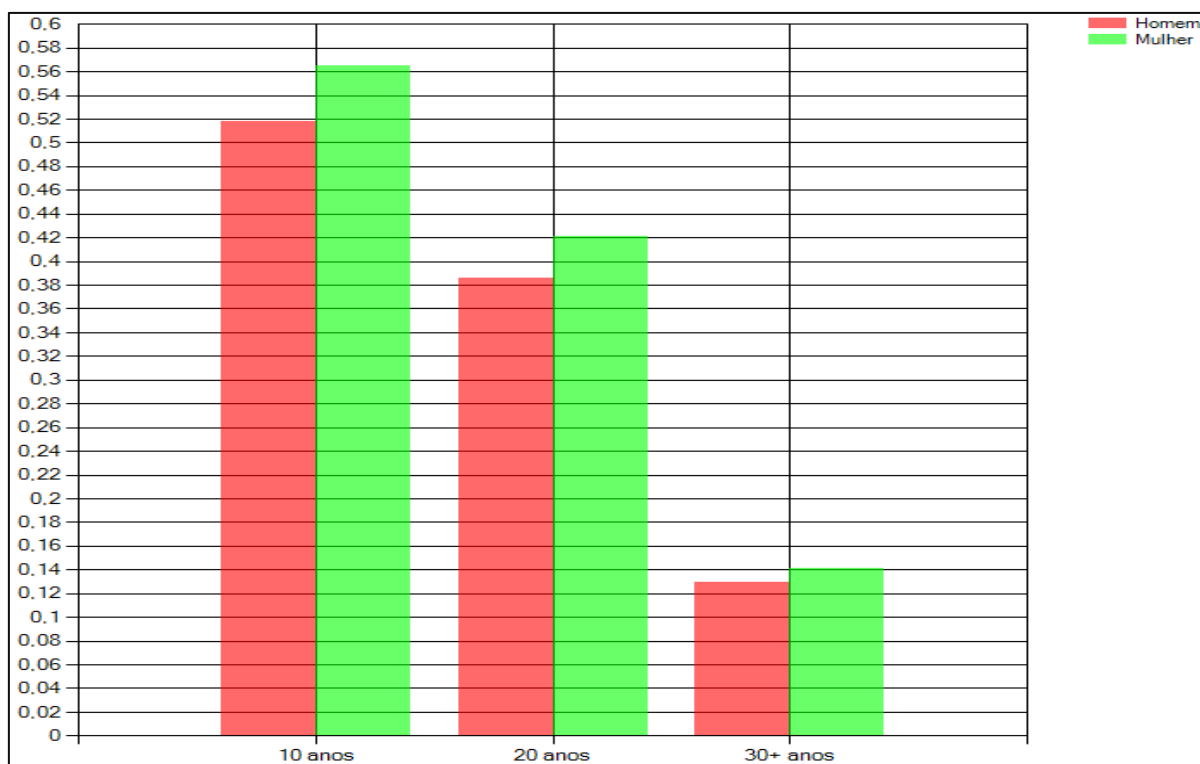


Figura 45. Resultado das estimativas de ERR em função da dose (D)

Então, de acordo com as estimativas de excesso de risco relativo em função da dose (ERR/Sv), mostradas na figura 45, temos que: para o grupo de indivíduos 10 anos após a exposição, as mulheres teriam um risco de desenvolvimento de leucemia de aproximadamente 0,56 ERR/Sv, maior do que para os homens do mesmo grupo (aproximadamente 0,51). Para o segundo grupo (20 anos após exposição), temos as mulheres com uma estimativa de ERR/Sv aproximadamente igual a 0,42, enquanto os homens estão com aproximadamente 0,38. No terceiro grupo (para indivíduos 30 anos ou mais após a exposição), temos as mulheres com uma estimativa de ERR/Sv aproximadamente igual a 0,14, e homens, com uma estimativa de ERR/Sv aproximadamente igual a 0,12 para desenvolvimento de leucemia, resultado da exposição a radiações de baixas doses.

Concluimos então que os indivíduos que sofreram irradiação possuem suas chances de desenvolvimento de leucemia diminuídas décadas após a exposição, onde os indivíduos do sexo feminino continuam sendo os mais sensíveis à radiação (com crianças e idosos como os mais afetados), tendo estimativas maiores do que os homens, mesmo após mais de 30 anos a exposição.

5.2 Conclusão e Trabalhos Futuros

O sistema desenvolvido neste trabalho pode ser usado principalmente na população que foi exposta a baixas doses de radiação (dose absorvida abaixo de 100 mSv), e pode ser utilizado como ferramenta auxiliar no processo decisório por órgãos competentes perante eventos radiológicos. Este sistema também deve contribuir para que envolvidos nos eventos radiológicos (acidentes ou atentados) que tenham interesse direto na resolução do problema e na busca das pessoas afetadas, possam decidir quais vítimas terão prioridade no atendimento médico após exposição à radiação, definindo o tratamento adequado para cada tipo de indivíduo contra a leucemia radioinduzida que possa ocasionalmente se desenvolver no futuro.

Assim, o sistema deste trabalho estima os efeitos estocásticos da radiação ionizante, através da análise dos resultados aplicados nas equações do BEIR VII, propondo um modelo de análise de risco sobre a população potencialmente afetada.

Algumas funcionalidades podem ser adicionadas neste trabalho a fim de expandir sua área de utilização:

- Implementar um banco de dados próprio na aplicação *desktop*, que permitirá a persistência local dos dados lidos e também dos resultados esperados;
- Implementar uma interface *web* mais robusta (através de um *plugin* ou biblioteca especializada), que permita um nível de segurança mais elevado na transição dos dados;
- Implementar em ambas aplicações do sistema, opções de visualização com outros tipos de gráficos (como gráficos em linha, *piechart*, em bolha, etc);
- Os levantamentos radiométricos aéreos feitos pelo equipamento SpiR-ID e seu *software* SPIR, geram diversas outras informações, que poderão ser utilizadas para outros cálculos, como por exemplo:
 - Latitude e longitude das leituras: essas informações permitem que um mapa com demarcações das zonas “quentes” da radiação naquele local possa ser gerado em tempo real. E com a altitude ainda é possível que o mapa seja tridimensional, aprimorando a visualização;
 - *Neutron counts*, *gamma dose rate*, *gamma BKG dose rate*, *gamma counts*, *Atmospheric pressure* e *Speed* são exemplos de grupos de

dados gerados pelo levantamento radiométrico que podem ser aplicados a outras funções de interesse;

- Implementar sistema de notificações no aplicativo ERR para cada nova leitura feita e armazenada na base de dados do Firebase;
- Implementar sistema de autenticação na conexão com o Firebase (em ambas aplicações), o qual criará uma camada de segurança para o sistema;
- Criar uma versão híbrida do aplicativo ERR, para ser executado nos principais sistemas operacionais móveis existentes;
- Adicionar outros modelos (como o BEIR VII) de cálculo de risco para outros tipos de cânceres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANICHE, M. **Orientação a Objetos e SOLID para Ninjas, Projetando classes flexíveis.** São Paulo, Casa do Código, 2015.

ARAÚJO, E. **C# e Visual Studio, Desenvolvimento de aplicações desktop.** São Paulo, Casa do Código, 2015.

BEIR VII, Phase II. **Health Risks From Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation.** ISBN 978-0-309-09156-5 | DOI 10.17226/11340, 2006.

BIRAL, R. **Radiações ionizantes para médicos, físicos e leigos.** Florianópolis: Insular, 2002.

FIREBASE. **Firestore Realtime Database.** Disponível em: <[HTTPS://firebase.google.com/docs/database/](https://firebase.google.com/docs/database/)>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

JAVA. **The History of Java Technology.** Disponível em: <<https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/javahistory-index-198355.html>>. Acesso em: 08 de agosto de 2018.

JSON.NET. **Json.NET.** Disponível em: <<https://www.newtonsoft.com/json>>. Acesso em: 03 de julho de 2018.

OKUNO, E. YOSHIMURA, E. **Física das Radiações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PHILJAY. **MPANDROIDCHART.** Disponível em: <<https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart>>. Acesso em: 03 de julho de 2018.

PRESTON, D. *et al.* **Cancer Incidence in Atomic-bomb Survivors. Part III: Leukemia, lymphoma, and multiple myeloma.** Radiation Research: 1994.

RADIATION RESEARCH, OFFICIAL JOURNAL OF THE RADIATION RESEARCH SOCIETY. **Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors. Part III: Leukemia, Lymphoma and Multiple Myeloma, 1950-1987.** Disponível em: <<http://www.rjournal.org/doi/abs/10.2307/3578893?code=rrs-site>>. Acesso em: 08 de agosto 2018.

ROTHER, F. **Metodologia de integração de dados e geração de interface dinâmica em tempo real para ações de respostas a eventos radiológicos utilizando veículo aéreo não tripulado.** Tese (Doutorado em Radioproteção e Dosimetria). Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2018.

TAUHATA, *et al.* **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** Rio de Janeiro: IRD, CNEN, 10ª Revisão, 2014.