

FERRAMENTA WEB BASEADA EM DADOS PROFUNDOS PARA AVALIAR O RISCO DE CÂNCER INDUZIDO POR RÁDIO APÓS EVENTOS NUCLEARES URBANOS



<https://doi.org/10.56238/arev7n2-234>

Data de submissão: 20/01/2025

Data de publicação: 20/02/2025

Itamar A. T. Pereira

Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro (RJ) Brasil.
E-mail: itamar.pereira@ime.eb.br

Raquel A. A. C. Oliveira

Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

Sergio Gavazza

Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

Edson R. Andrade

Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

RESUMO

O estudo apresenta um programa de computador online que aproveita dados de relatórios sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante (BEIR V e VII). Este programa é projetado especificamente para avaliação de risco radiológico conservador e inicial em um cenário simulado de contaminação/exposição por materiais radioativos. Também estima a expectativa de vida perdida (LLE) devido a cânceres induzidos pela exposição a baixos níveis de radiação ionizante. Para calcular o risco radiológico, os usuários precisam inserir a dose (em Sv) à qual os indivíduos foram expostos, a idade em que a exposição ocorreu e, dependendo do modelo (tumores sólidos ou leucemia), o sexo e a idade dos indivíduos. O programa, construído usando Ruby on Rails e a linguagem de programação de uso geral Ruby, é um aplicativo da web totalmente funcional com um banco de dados PostgreSQL. O objetivo fundamental deste estudo é avaliar o impacto potencial do uso de uma aplicação web na agilização de tarefas iniciais específicas, orientando a priorização do atendimento precoce e, assim, aumentando a precisão da tomada de decisão por meio de parâmetros de usabilidade.

Palavras-chave: Risco Radiológico. Expectativa de vida perdida. Avaliação de Aplicações Web.

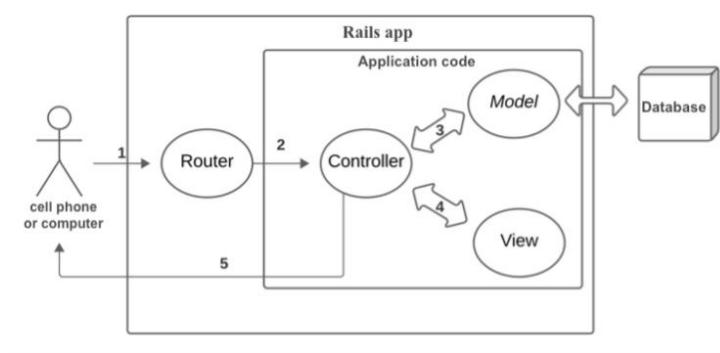
1 INTRODUÇÃO

Os materiais radioativos podem ser dispersos no meio ambiente como resultado de acidentes em usinas nucleares e atos terroristas radiológicos envolvendo o uso de dispositivos de dispersão radiológica, comumente chamados de bombas sujas. Este estudo teve como objetivo desenvolver uma aplicação web funcional para calcular equações dos relatórios BEIR (Biological Effects of Ionizing Radiation) V e VII sobre o risco de desenvolver câncer devido à exposição radiológica ambiental e estimar a Expectativa de Vida Perdida (LLE) dos indivíduos afetados. Os relatórios BEIR V e VII são modelos radioepidemiológicos criados com base em dados sobre sobreviventes das bombas atômicas no final da Segunda Guerra Mundial [10]. Por meio desses modelos, com dados iniciais fornecidos pelo usuário (idade, sexo, dose, etc.) e dados estimados sobre contaminação/exposição radiológica local, é possível obter informações para subsidiar o processo inicial de tomada de decisão [5]. A radiação ionizante pode vir em radiação eletromagnética de alta energia (como raios-X e raios gama) ou partículas subatômicas energéticas, incluindo partículas alfa, partículas beta e nêutrons. A energia média depositada por unidade de comprimento do caminho da radiação é chamada de transferência linear de energia (LET). As partículas carregadas normalmente exibem valores de LET mais altos em comparação com raios-X ou raios gama. A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) define os fatores de ponderação de radiação (WR) de 1 a 20 com base no tipo de radiação, para converter a dose absorvida em cinzas em dose equivalente em sieverts. Os fôtons têm um WR de 1, indicando baixa transferência de energia, enquanto as partículas alfa têm um WR de 20, indicando alta transferência de energia.

2 MÉTODOS

O aplicativo simula a contaminação/exposição radiológica dos indivíduos em um determinado local, determinando as variáveis de interesse para gerar dados para apoiar a tomada de decisão inicial em um cenário radioativo. O estudo também inclui a avaliação do aplicativo e a consideração de alguns parâmetros de usabilidade para verificar a eficácia e a qualidade da ferramenta web. O framework usado é Ruby on Rails, muitas vezes abreviado para Rails. É uma estrutura de desenvolvimento robusta para aplicações web baseada na linguagem dinâmica orientada a objetos (OO), Ruby. Sua rápida capacidade de desenvolvimento permite aprimorar sites de alto tráfego [3]. É uma estrutura full-stack. Ou seja, ele opera tanto o back-end quanto o front-end, o que possibilita a criação de aplicações que coletam informações do servidor web, conversam ou consultam o banco de dados e renderizam modelos prontos para uso. Como resultado, o Rails apresenta um sistema de roteamento independente do servidor web, trabalhando com o padrão de arquitetura MVC (Model-View-Controller) [1].

Fig. 1. Padrão de arquitetura MVC.



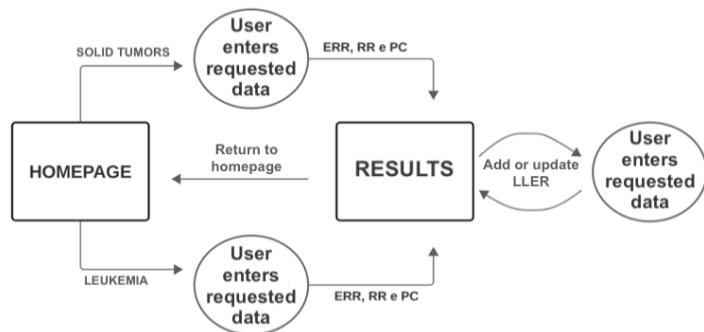
O padrão de arquitetura MVC é amplamente utilizado no desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis, pois determina a separação de um aplicativo em três elementos: Modelo, Visualização e Controlador. O Modelo é um objeto Ruby que representa um elemento do site, como um usuário, e é responsável pela comunicação com o banco de dados. A Exibição apresenta esses dados e captura eventos do usuário. O Controller é o componente que responde a solicitações externas do servidor web para o aplicativo conectando o Model e o View, manipulando eventos, agindo no Model e alterando os elementos do View para renderizar a nova forma dos dados [13].

O back-end consiste em tudo o que o usuário não pode ver, como a conexão com o servidor, as fórmulas de cálculo e algoritmos usados para garantir a funcionalidade do aplicativo e o banco de dados no qual as informações são armazenadas. Deve garantir a segurança e agilidade na entrega dos dados solicitados pelo usuário. O front-end é responsável por entrar em contato com o usuário e transformar as ideias de design de interface em código, com linguagens de marcação (HTML e CSS) e linguagens de programação (JavaScript e jQuery).

2.1 INTERAÇÃO DO USUÁRIO

A página inicial do aplicativo apresenta ao usuário dois modelos de cálculo de risco para o desenvolvimento do câncer: tumores sólidos e leucemia. Ao selecionar um modelo, o usuário é direcionado para uma página de formulário para inserir as informações necessárias, como dose, idade e sexo (somente para o modelo de tumor sólido). Para o modelo de leucemia, também é solicitada a idade ao diagnóstico. Após o envio das informações, o usuário é direcionado para uma página de resultados exibindo ERR (Excesso de Risco Relativo), RR (Risco Relativo) e PC (Probabilidade de Causalidade), com um link para calcular o LLE com base nas informações fornecidas.

Fig. 2. Diagrama mostrando como o aplicativo funciona.



Para estimar o LLE, o usuário é apresentado a uma nova página de formulário com novas informações a serem preenchidas e enviadas. As informações necessárias são a expectativa de vida da região (feminina e masculina) e o número de casos da doença naquela localidade por 100.000 habitantes. Por fim, o usuário é redirecionado para a terceira página, que é atualizada com informações sobre os resultados do LLE.

2.2 EQUAÇÕES

De acordo com o comitê BEIR VII [11], o modelo geral de estimativa de risco pode ser descrito como:

$$\lambda(c, s, a, b, d) = \lambda(c, s, a, b)[1 + \beta_S \text{ERR}(e, a)d] \quad (2.1)$$

onde $\lambda(c, s, a, b)$ representa a taxa de base, ou seja, o risco estimado devido à radiação de fundo e depende da cidade (c), do sexo do(s) indivíduo(s), da idade atingida (a), da coorte de nascimento (b) e da dose ponderada (d). O termo $\beta_S \text{ERR}(e, a)$ é a estimativa de risco por unidade de dose a que o indivíduo foi exposto e depende também do sexo(s), da idade quando exposto (e) e da idade no momento da avaliação (a).

O modelo de risco relativo para leucemia é apresentado nas equações da Tabela 1.

Tab. 1. Equações de estimativa de risco de acordo com o BEIR V [10].

Equações de estimativa de risco	Intervalo de aplicação	Equação
$r_0(a, s)[1 + (\alpha_2 D + \alpha_3 D^2) \exp(\beta_1)]$	$e \leq 20; t \leq 15$	(2.2)
$r_0(a, s)[1 + (\alpha_2 D + \alpha_3 D^2) \exp(\beta_2)]$	$e \leq 20; 15 < t \leq 25$	(2.3)
$r_0(a, s)[1 + (\alpha_2 D + \alpha_3 D^2)]$	$e \leq 20; t > 25$	(2.4)
$r_0(a, s)[1 + (\alpha_2 D + \alpha_3 D^2) \exp(\beta_3)]$	$e > 20; t \leq 25$	(2.5)
$r_0(a, s)[1 + (\alpha_2 D + \alpha_3 D^2) \exp(\beta_4)]$	$e > 20; 25 < t \leq 30$	(2.6)
$r_0(a, s)[1 + (\alpha_2 D + \alpha_3 D^2)]$	$e > 20; t > 30$	(2.7)

onde $r_0(a, s)$ é a taxa de mortalidade basal, e é a idade de exposição, t é o tempo desde a exposição e onde $\alpha_2 = 0,243 \text{ Sv}^{-1}$, $\alpha_3 = 0,271 \text{ SV}^{-2}$, $\beta_1 = 4,885$, $\beta_2 = 2,380$, $\beta_3 = 2,367$ e $\beta_4 = 1,638$.

A RERF (Radiation Effects Research Foundation) [6] ajustou um modelo de risco relativo para cada local de tumor sólido da seguinte forma:

$$r_0(a, s)[1 + \alpha_S D \exp(\beta(e - 25))] \quad (2.8)$$

em que α_S é o risco relativo linear excessivo específico da idade por Sv, D é a dose (RBE para neutrões = 10), e é a idade de exposição em anos e β é o coeficiente que determina o efeito modificador da idade de exposição. Para o sexo masculino, α_S é igual a 0,45 e para o sexo feminino, α_S é igual a 0,77.

De acordo com Neves (2024) o LLE, medido em anos, é expresso na equação:

$$LLE = \sum_{t=a}^{EA} \{ERR(D, t, e, s)\} \gamma_0(EA - T) \quad (2.9)$$

Onde o ERR é encontrado nas equações anteriores (leucemia e modelos de risco de tumor sólido), o γ_0 é o número de casos por 100 mil habitantes e $(EA - T)$ é o tempo de vida remanescente esperado em anos para uma pessoa de idade T .

3 RESULTADOS

Para esses exemplos, foram utilizados modelos de desenvolvimento de câncer induzido por radiação para leucemia e tumores sólidos, definidos para doses de radiação gama de 100 mSv a 3,99 Sv, em conformidade com BEIR V e VII que trabalham com exposição a baixos níveis de radiação ionizante.

(1) Um homem é diagnosticado com leucemia agora aos 68 anos. Ele recebeu uma dose única de radiação aguda uniforme de 100 mSv na medula óssea vermelha aos 43 anos ($e > 20, T < 25$). Qual é o risco relativo (RR) de que essa dose específica seja responsável pelo desenvolvimento da leucemia?

Fig. 3. Formulário para inserir dados do modelo de leucemia.

Leukaemia Model

Dose(Sv): Must be between 0.1 Sv and 3.99 Sv

Age (when exposure occurred) *

Age (when diagnosed) *

Submit

Back

O modelo de leucemia BEIR V para o caso é a equação 2.5 da Tab. 1. ($e > 20$, $T < 25$):

$$RR = 1 + (0,243D + 0,271D^2) \exp (2,367) = 1,288$$

Fig. 4. Página de resultados do modelo de leucemia.

Excess relative risk (ERR) = 0.288
Relative risk (RR) = 1.288
Probability of Causation (PC) = 22.36%

Lost Life Expectancy

LLE

Back

- (2) No primeiro exemplo, a expectativa de vida na região é de 74 anos para homens e 78 anos para mulheres, e há 2030 casos de leucemia por 100.000 habitantes. Qual é a expectativa de vida perdida (LLE) em dias para esse indivíduo?

Fig. 5. Formulário para inserir dados LLE.

LLE

Male life expectancy(years)

74

Female life expectancy(years)

78

Number of cases (cases/100,000)

2030

Submit

Back

Ajustando a equação 2.9 para responder em dias em vez de anos, temos:

$$\text{LLE} = \text{ERR} \times \gamma_0 \times (\text{EA} - t) / 360 = 10 \text{ dias}$$

Fig. 6. Página de resultados do modelo de leucemia com LLE.

Excess relative risk (ERR) = 0.288

Relative risk (RR) = 1.288

Probability of Causation (PC) = 22.36%

Lost Life Expectancy

Male individual(days)

**LLE for current
ERR**

10

Female individual(days)

**LLE for current
ERR**

16

LLE

Back

- (3) Uma dose radioativa de 160 mSv foi liberada accidentalmente em uma determinada região. Determine o risco relativo e a probabilidade de desenvolver tumores sólidos para uma mulher de 20 anos exposta a essa dose de radiação.

Fig. 7. Formulário para entrada de dados do modelo de tumor sólido.

Solid Tumours Model

Sex: masculine ou feminine
feminine

Dose(Sv): Must be between 0.1 Sv and 3.99 Sv
0.16

Age (when exposure occurred) *
20

Submit
Back

A equação 2,8 para o modelo de tumor sólido (indivíduos do sexo feminino) é: $RR = 1 + (0,77 \times D \times \exp(-0,026 \times (e - 25)))$, para $D = 0,16$ Sv, $RR = 1,14$

Fig. 8. Página de resultados do modelo de tumor sólido.

Female individual
Excess relative risk (ERR) = 0.14
Relative risk (RR) = 1.14
Probability of Causation (PC) = 12.3%

Lost Life Expectancy
LLE
Back

(4) Considerando a mesma dose do exemplo anterior, para uma região onde a expectativa de vida é de 90 anos e há 2.150 casos de tumores sólidos por 100.000 habitantes, qual é a expectativa de vida perdida (LLE) em dias para homens e mulheres com 20, 30, 40 e 50 anos?

Fig. 9. Formulário para inserir dados LLE e página de resultados do modelo para tumores sólidos com LLE para cada idade de exposição à mesma dose.

LLE

Male life expectancy(years)
90

Female life expectancy(years)
90

Number of cases (cases/100,000)
2150

Submit
Back

Female individual
Excess relative risk (ERR) = 0.14
Relative risk (RR) = 1.14
Probability of Causation (PC) = 12.3%

Lost Life Expectancy
Current LLE = 59 days

Male individuals(days)			Female individuals(days)		
20 years	30 years	40 years	20 years	30 years	40 years
34	23	15	59	39	25
9			50 years	15	

LLE **Back**

Como a dose de radiação para todos os indivíduos foi mantida, as formas dependentes do sexo da equação 2.8 para RR foram utilizadas para calcular o RR, onde $RR = 1 + (0,45 \times 0,16 \times \exp(-0,026 \times (20 - 25)))$ e $RR = 1 + (0,77 \times 0,16 \times \exp(-0,026 \times (20 - 25)))$, para os sexos masculino e feminino, respectivamente. Para cada valor de ERR, a equação $LLE = ERR \times \gamma_0 \times (EA - t)/360$ foi aplicada para resultar em (a) indivíduos com 20 anos, 34 dias (masculino), 59 dias (feminino), (b) indivíduos com 30 anos, 23 dias (masculino), 39 dias (feminino), (c) indivíduos com 40 anos, 15 dias (masculino), 25 dias (feminino), (d) indivíduos com 50 anos, 09 dias (masculino) e 15 dias (feminino).

3.1 TESTE DE USABILIDADE

A norma ISO 9241-11:1998 se concentra na ergonomia da interação humano-computador, definindo a usabilidade de dispositivos visuais com base no desempenho, eficácia, eficiência e satisfação do usuário. Esta diretriz administrada pela ISO também abrange métodos de avaliação de usabilidade por meio de entrevistas e análise de tarefas realizadas com 12 voluntários.

Um. Entrevista

A entrevista é um método altamente flexível para coleta de dados. Em uma entrevista, uma parte coleta dados e a outra é a fonte de informação. Para essa etapa, foi utilizado o Questionário SUS (Escala de Usabilidade do Sistema).

B. Análise de Tarefas

A análise de tarefas envolve a avaliação das condições e recursos necessários para realizar um trabalho para atingir um objetivo. Ele emprega várias técnicas para coletar, organizar e avaliar informações, orientando julgamentos, diagnósticos ou decisões de design [12]. Um exemplo é um teste que consiste em quatro atividades projetadas para serem concluídas dentro de um tempo definido, usando apenas um laptop e sem ajuda externa. Essas atividades tiveram como objetivo aplicar os princípios de análise de tarefas, com erros observados principalmente relacionados à incompreensão das tarefas, e não à usabilidade do aplicativo.

3.1.1 Questionário SUS

A Escala de Usabilidade do Sistema (SUS), criada por John Brooke em 1986, é uma ferramenta de avaliação de usabilidade que utiliza uma escala Likert por meio de um questionário de 10 afirmações. Ele avalia a usabilidade [2], suporte, necessidades de treinamento e complexidade

percebida em diferentes plataformas [8], com declarações classificadas de 1 (discordo) a 5 (concordo). A ordem e o peso das declarações são importantes para a análise.

Fig. 10. Resultado da aplicação do questionário do SUS.

User\Question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
2	3	2	4	2	4	1	4	2	5	2
3	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
4	5	2	2	1	4	4	5	1	4	1
5	5	1	5	1	5	1	5	5	5	1
6	4	2	5	1	4	2	3	3	5	3
7	4	2	3	2	2	1	3	3	3	4
8	5	3	5	3	3	3	5	2	4	1
9	5	2	5	3	5	2	5	2	5	3
10	4	2	5	4	5	1	5	1	4	2
11	4	2	3	2	3	1	5	2	4	1
12	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1

A análise do SUS utilizou as fórmulas indicadas por Brooke (1996). Os escores de satisfação do usuário variaram de 57,5 pontos para os usuários 7 a 100 pontos para os usuários 1, 3 e 12. O escore médio do SUS para usabilidade geral foi de 82,9 pontos. De acordo com Sauro e Lewis (2011), uma pontuação média de 68 pontos ou mais é aceitável com base em aproximadamente quinhentos estudos.

4 DISCUSSÃO

A ascensão de dispositivos portáteis como smartphones aumentou o reconhecimento e o uso em várias áreas, especialmente na saúde. A Organização Internacional do Trabalho (OIT) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) apoiam a adoção e o investimento em saúde móvel para fins como monitoramento, prevenção de doenças e suporte remoto ao paciente [4]. A norma ISO 9241, adotada pela International Standard Organization (ISO) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sob a designação NBR 9241-11, define usabilidade como a medida em que os usuários podem usar um produto para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um determinado contexto de uso [14].

O texto destaca a importância de criar aplicativos móveis fáceis de usar, adaptados às necessidades dos usuários, com foco em considerações específicas para dispositivos móveis, como tamanho e conectividade. Ele menciona o recurso do aplicativo para calcular o excesso de risco relativo (ERR) e a expectativa de vida perdida (LLE), mostrando sua eficácia por meio de um teste com doze voluntários. Ocorreram apenas pequenos erros, e a alta usabilidade foi confirmada por um escore do SUS de 82,9. Melhorias futuras podem incluir a integração de dados regionais de expectativa de vida e comorbidade para melhorar o acesso a informações de emergência.

5 CONCLUSÃO

O crescimento da computação móvel e da Internet levou à adoção generalizada. Foi criado um aplicativo para atender populações expostas ao risco radiológico e facilitar o acesso à informação. As metas de desenvolvimento e os critérios de usabilidade foram atendidos, mas os avaliadores recomendaram expandir as funcionalidades do aplicativo e simplificar seu uso para a população-alvo e cenários de emergência. Eles também sugeriram enriquecer o aplicativo com novos modelos de comorbidades desencadeadas pela exposição à radiação ionizante em versões futuras.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Raquel Oliveira, Edson Andrade e Sergio Gavazza pela orientação e apoio. O Instituto Militar de Engenharia (IME) tem sido fundamental para o meu crescimento profissional, incutindo em mim os seus valores e visão.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, V. Usabilidade de Geoportais: o caso do visualizador da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). 2016. Tese (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9241: ergonomia da interação humano-sistema. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BROOKE, J. SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, [s. l.], v. 189, n. 194, p. 4-7, 1996.
- GAMA, L. N.; TAVARES, C. M. M. Desenvolvimento e avaliação de aplicativo móvel na prevenção de riscos osteomusculares no trabalho de enfermagem. *Texto & Contexto-Enfermagem*, [s. l.], v. 28, e20180214, 2019.
- HARTL, M. Ruby on Rails Tutorial: Learn Web Development with Rails. 3. ed. Estados Unidos: Addison Wesley Professional, 2015.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Methods for Estimating the Probability of Cancer from Occupational Radiation Exposure. Vienna: IAEA, 1996.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9241-11: Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs) – Part II Guidance on Usability. [S. l.]: ISO, 1998.
- KRASNER, G.; POPE, S. A cookbook for using the model view controller user interface paradigm in smalltalk-80. *Journal of Object-Oriented Programming*, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 26–49, 1998.
- MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. Ergonomia: Conceitos e Aplicações. Rio de Janeiro: iUsEr, 2003.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Health Risks of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR V. Washington, DC: The National Academies Press, 1996.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.
- NEVES, S. C. T. et al. Lost life expectancy following a hypothetical urban radiological incident. *Journal of Environmental Radioactivity*, [s. l.], v. 273, p. 107391, 2024.
- PLEKHANOVA, J. Evaluating web development frameworks: Django, Ruby on Rails and CakePHP. [S. l.]: Institute for Business and Information Technology, PA, 2009.
- SAURO, J. Measuring usability with the system usability scale (SUS). [S. l.: s. n.], 2011.
- SAURO, J.; LEWIS, J. R. When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive? In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. [S. l.]: ACM, 2011. p. 2215-2224.

THOMPSON, D. E. et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors Part II: solid tumours, 1958-1987. *Radiation Research*, [s. l.], v. 137, n. 2s, p. S17-S67, 1994.