

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW)
Departamento de Raios C3smicos e Cronologia

Estudo comparativo das respostas de monitores de Rn-222 que utilizam o CR-39 como detector de traços de partículas alfa

Oswaldo Luiz dos Santos Pereira

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Julio Hadler Cesar Neto (Orientador) - IFGW/UNICAMP

Prof. Dr. Pedro Jose Iunes (Co-orientador) - IFGW/UNICAMP

Prof. Dr. Sandro Guedes de Oliveira - IFGW/UNICAMP

Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz - DFQB/UNESP (Presidente Prudente)

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado, devidamente corrigida e defendida por Oswaldo Luiz dos Santos Pereira e aprovada pela Comissão Julgadora.



Prof. Dr. Julio Cesar Hadler Neto

Durante o desenvolvimento deste trabalho o autor recebeu auxílio financeiro da FAPESP
Campinas, 05 abril de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IFGW - UNICAMP

P414e

Pereira, Osvaldo Luiz dos Santos
Estudo comparativo das respostas de monitores de Rn-222
que utilizam o CR-39 como detector de traços de partículas alfa
/ Osvaldo Luiz dos Santos Pereira. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Julio Cesar Hadler Neto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Física "Gleb Wataghin".

1. Radônio. 2. Radônio-222 e filhos. 3. Partículas (Física nuclear). 4. Partículas alfa (Física nuclear). 5. Traços (Física nuclear). 6. Detectores nucleares. I. Hadler Neto, Julio Cesar. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física "Gleb Wataghin". III. Título.

(vsvifgw)

- **Título em inglês:** Response comparative study of Rn-222 alpha particles track monitors
- **Palavras-chave em inglês (Keywords):**
 1. Radon
 2. Radon-222 and daughters
 3. Particles (Nuclear physics)
 4. Alpha particles (Nuclear physics)
 5. Tracks (Nuclear physics)
 6. Nuclear detectors
- **Área de Concentração:** Física Nuclear
- **Titulação:** Mestre em Física
- **Banca Examinadora:**
Prof. Julio Cesar Hadler Neto
Prof. Sandro Guedes de Oliveira
Prof. Carlos Alberto Tello Sáenz
- **Data da Defesa:** 05-05-2010
- **Programa de Pós-Graduação em:** Física



MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA TESE DE MESTRADO DE **OSVALDO LUIZ DOS SANTOS PEREIRA – RA 027006** APRESENTADA E APROVADA AO INSTITUTO DE FÍSICA “GLEB WATAGHIN”, DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, EM 05 / 04 / 2010.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Julio Cesar Hadler Neto - Orientador do Candidato
DRCC/IFGW/UNICAMP

Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz – DFQB/FCT/UNESP

Prof. Dr. Sandro Guedes de Oliveira - DRCC/IFGW/UNICAMP

Agradecimentos

Gostaria de agradecer e dedicar este trabalho à minha madrinha, Terezinha França pelo apoio incondicional, e por sempre acreditar em mim e em meus objetivos, pelo modelo de garra, vontade e sucesso que ela é para mim.

Devo aos meus pais, Osvaldo e Lilian, pelo exemplo de caráter e determinação, por me ensinarem valores, a aceitar e enfrentar desafios, e sempre me apoiando nas situações mais difíceis. A segurança que tenho em minha capacidade em muito é devido a eles.

Devo muito à minha noiva, Adriana pela paciência, apoio, cuidados, amor e carinho dispendidos à mim, além de ser uma mulher que admiro muito pela inteligência, talento e capacidade.

Obrigado aos meus irmãos Caio e Paulo, pela companhia, carinho e pelos exemplos de pessoas inteligentes e talentosas que são, eles sempre me incentivam a melhorar mais e mais. Obrigado à minhas avós Socorro e Tereza pela preocupação e carinho, e pelas palavras sempre encorajadoras e sinceras. Obrigado à minha Tia Eliana, pelo grande exemplo de mulher que é, vencedora e muito inteligente. Ao meu tio Luiz, que foi um dos motivos pelo qual sempre quis ser cientista. E um obrigado a todos os meus familiares, que sempre me deram muito carinho.

Gostaria de dedicar também este trabalho às pessoas que não estão mais aqui conosco; meus avôs, Milton e Osvaldo, meu tio Paulo, e minha tia Vanda.

Obrigado aos meus grandes amigos da adolescência, aos amigos e também colegas de turma que conviveram comigo durante a graduação. E aos amigos que fiz na pós-graduação. E aos meus grande amigos, pelo apoio e conselhos: Antonio Elias, Henrique Fleming, Yuri, Jose Antonio, Ceno, Leonardo Motta, Alessandro, Tiago.

Ao Eduardo, Igor, Sandro, Carlos, Pedrão, obrigado pela amizade, conselhos, as conversas, reflexões, e discussões científicas que tivemos durante todos esses anos. E também agradecer as novas amizades e também a ajuda e companhia do Ricardo, Lucas, Marcos, Mai, Tobias.

Às pessoas que me ajudaram muito, Regina, Carol, Sandra e Nivaldo, o apoio de vocês me foi de muita valia. O pessoal da biblioteca (BIF) pelo seu excelente trabalho e dedicação a todos nós que buscamos o conhecimento. E ao pessoal da secretaria de pós graduação, Armando e Maria Ignez pela ajuda e paciência.

Aos meus orientadores, Julio e Pedro que me orientaram ainda quando aluno de graduação desmotivado, e me deram um grande incentivo e exemplo para seguir na carreira acadêmica ao me desafiarem com um problema científico concreto, por me ensinarem que a verdadeira motivação científica é algo interior, e por me ajudarem a encontrar essa motivação.

Devo pedir desculpas se esqueci de mencionar diretamente alguém nesta nota de agradecimento. Não foi proposital, e também não significa que sejam menos importantes. São tantas as pessoas importantes que passaram pela minha vida, que fica difícil sintetizar.

Mulher de Peixe... peixe é
Em águas paradas não dá pé
Porque desliza como a enguia
Sempre que entra numa fria.
Na superfície é sinhazinha
E festiva como a sardinha
Mas quando fiska um namorado
Ele está frito, escabechado.
É uma mulher tão envolvente
Que na questão do Paraíso
Há quem suspeite seriamente
Que ela era a mulher e a serpente.
Seu Id: aparentar juízo
Seu Ego: a omissão, o orgulho
Sua pedra astral: a ametista
Seu bem: nunca ser bagulho
Sua cor: o amarelo brilhante
Seu fim: dar sempre na vista.

Vinicius de Moraes

A Espantosa Realidade das Cousas
É a minha descoberta de todos os dias.
Cada cousa é o que é,
E é difícil explicar a alguém quanto isso me alegra,
E quanto isso me basta.

[...]

Fernando Pessoa

Success is the ability to go from
one failure to another
with no loss of enthusiasm.

Sir Winston Churchill

Resumo

Neste trabalho foi realizado estudo comparativo entre as respostas de três monitores, o NRPB, o monitor de acrílico (geometria filme fino) e o monitor de alumínio (geometria filme fino), em exposições controladas e mistas. As exposições consistiram em colocar os monitores em uma campânula com uma fonte de rádio-226 interna. Os detectores CR-39 analisados foram todos internos aos monitores. Foi concluído que os monitores em geometria de filme fino forneceram atividades da ordem de 15% inferior ao NRPB. Todos os monitores responderam da mesma forma, quando em ambiente controlado. E em relação ao tipo de material, plástico condutor ou plástico dielétrico, do NRPB, responderam da mesma maneira, em ambientes sem ventilação. O monitor confeccionado com material condutor responde da mesma forma que aquele confeccionado com material dielétrico.

Palavras-chave: Radônio, Filhos de Radônio, partículas alfa, monitores, filme fino.

Abstract

This work was a comparative study between the responses of three monitors, the NRPB, an acrylic monitor (in thin film geometry) and the aluminum monitor (also thin film geometry) in controlled and mixed environment. The experiments consisted on placing the monitors in a plastic tube, with a radio-226 source internal. Only internal CR-39 plastic detectors were analyzed in this work. It was found that the monitors in thin film geometry had activities response of approximately 15% less than the NRPB monitors. All monitors responded the same way when in controlled environment. Related to the type of material, conductive plastic or dielectric (insulator) plastic, the NRPB, in environments without ventilation, responded in the same way.

Key Words: Radon, Radon daughters, alpha particles, monitors, thin film.

Lista de Abreviaturas

| | |
|--------|--|
| NRPB | National Radiological Protection Board |
| Unsear | United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation |
| EPA | United States Environmental Protection Agency |
| CR-39 | Allyl Diglycol Carbonate (ADC) |
| Ii | Onde, $i = 1, \dots, 6$: numeração dos monitores utilizados no experimento I. |
| I-i | Onde, $i = 1, \dots, 6$: numeração dos monitores utilizados no experimento II. |
| III-i | Onde, $i = 1, \dots, 6$: numeração dos monitores utilizados no experimento III. |
| NaOH | Hidróxido de sódio |

Lista de Símbolos

| | |
|---------------------------|--|
| Rn-222 | Radônio 222 . |
| U-238 | Urânio 238. |
| A_0 | Atividade alfa de Radônio-222. |
| σ_{A_0} | Erro, calculado por propagação de erros, da atividade alfa de Radônio-222. |
| ρ | Densidade média de traços de partículas alfa no detector CR-39. |
| ρ_f | Densidade média de traços de partículas alfa no detector interno CR-39. |
| σ_ρ | Densidade média de traços de partículas alfa no detector CR-39. |
| t_e | Tempo de exposição dos monitores |
| ϵ | Fator adimensional de calibração |
| R_0 | Alcance de partículas alfa provenientes de átomos de Rn-222 |
| R_1 | Alcance de partículas alfa provenientes de átomos de Po-218 |
| R_3 | Alcance de partículas alfa provenientes de átomos de Po-214 |
| σ_{exp} | Desvio Padrão Experimental |
| σ_{poisson} | Desvio Padrão da Estatística de Poisson |
| N_{222} | Número de átomos de radônio. |
| N_{226} | Número de átomos de radio. |
| λ_{222} | Constante de decaimento de radônio. |
| λ_{226} | Constante de decaimento de radio. |

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Ilustração esquemática do monitor de alumínio. No desenho pode-se ver o furo circular para a entrada de radônio, e a posição dos detectores fixados externa e internamente. | 3 |
| 2 | Foto tirada de um monitor NRPB/SSI. | 5 |
| 3 | Ilustração esquemática do monitor de acrílico, formado por duas placas quadradas, fixadas uma na outra, paralelamente, de lados 14cm. | 6 |
| 4 | Ilustração da campânula cilíndrica (plástico PVC) utilizada nos três experimentos. Deve-se observar pela figura que não está em escala. | 7 |
| 5 | O campo maior de lados Δx e Δy é a superfície do CR-39. O quadrado interior é a nova área a ser analisada via microscópio, o quadrado interior possui comprimento $ \Delta x' $ | 10 |
| 6 | Imagem de traços de partícula alfa em CR-39. Imagem retirada de um dos detectores analisados. Na figura, pode-se ter noção do que é um campo de visão. O diâmetro dos traços de partícula alfa, depois de revelados quimicamente é da ordem de $10\mu\text{m}$, no microscópio óptico, o campo de visão é uma área quadrada, delimitada com régua micrométrica, de lado $100\mu\text{m}$, sendo a área de cada campo de visão de 10^{-4}cm^2 | 10 |
| 7 | Histograma da distribuição do número de traços por campo de visão para o detector T3, do Experimento I. No gráfico é possível perceber a característica de assimetria da distribuição de Poisson. Outros gráficos desta natureza, para cada detector analisado, encontram-se no apêndice desta dissertação. | 14 |
| 8 | Imagem de traços de partícula alfa em CR-39. A imagem é de uma das arestas do detector T5, do Experimento I, mostra quantidade excessiva de traços acumulados na região da aresta do detector. Indicando um tipo de contaminação. | 16 |
| 9 | Esquema da montagem da primeira exposição. | 18 |
| 10 | Esquema da montagem da segunda exposição. | 19 |
| 11 | Esquema da montagem da terceira exposição. | 20 |
| 12 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 44 |
| 13 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 44 |
| 14 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 45 |
| 15 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 45 |
| 16 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 46 |
| 17 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 46 |
| 18 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 47 |
| 19 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 47 |
| 20 | Histograma da distribuição dos traços por campo. | 48 |

| | | |
|----|--|-----|
| 21 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 48 |
| 22 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 49 |
| 23 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 49 |
| 24 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 50 |
| 25 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 50 |
| 26 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 51 |
| 27 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 51 |
| 28 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 52 |
| 29 | Histograma da distribuição dos traços por campo | 52 |
| 30 | Distribuição do número total de de traços por linhas. | 71 |
| 31 | Distribuição do número total de de traços por linhas. | 71 |
| 32 | Distribuição do número total de de traços por linhas. | 72 |
| 33 | Distribuição do número total de de traços por linhas. | 72 |
| 34 | Distribuição do número total de de traços por linhas. | 73 |
| 35 | Distribuição do número total de de traços por linhas. | 73 |
| 36 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-1. | 74 |
| 37 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-2. | 74 |
| 38 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-3. | 75 |
| 39 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-4. | 75 |
| 40 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-5. | 76 |
| 41 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-6. | 76 |
| 42 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-1. | 77 |
| 43 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-2. | 77 |
| 44 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-3. | 78 |
| 45 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-4. | 78 |
| 46 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-6. | 79 |
| 47 | Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-6. | 79 |
| 48 | Distribuição do número total de de traços por colunas. | 98 |
| 49 | Distribuição do número total de de traços por colunas. | 98 |
| 50 | Distribuição do número total de de traços por colunas. | 99 |
| 51 | Distribuição do número total de de traços por colunas. | 99 |
| 52 | Distribuição do número total de de traços por colunas. | 100 |
| 53 | Distribuição do número total de de traços por colunas. | 100 |
| 54 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-1. | 101 |
| 55 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-2. | 101 |
| 56 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-3. | 102 |
| 57 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-4. | 102 |

| | | |
|----|---|-----|
| 58 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-5. | 103 |
| 59 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-6. | 103 |
| 60 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-1. | 104 |
| 61 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-2. | 104 |
| 62 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-3. | 105 |
| 63 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-4. | 105 |
| 64 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-6. | 106 |
| 65 | Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-6. | 106 |

Lista de Tabelas

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Exemplo de mapeamento de um detector CR-39. Cada entrada da matriz 20×20 abaixo representa o número de traços contado em cada campo de visão. | 11 |
| 2 | Valores de análise para cada uma das linhas da matriz de mapeamento. Os valores na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 12 |
| 3 | Valores de análise para cada uma das colunas da matriz de mapeamento. Os valores na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 13 |
| 4 | Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T5. No canto superior direito da matriz de mapeamento, pode-se notar que duas entradas apresentam um número muito maior de traços que nas outras entradas: $a_{1,20} = 34$ e $a_{2,20} = 35$ | 17 |
| 5 | Valores para os detectores T1 à T6. A primeira coluna é a numeração dos detectores, a segunda coluna é o número total de campos analisados (n^2), a terceira coluna é o número total de traços contados (N), a quarta coluna dá os valores do erro poisson (σ_{Poisson}), a quinta coluna dá os valores do erro experimental (σ_{exp}), a sexta coluna dá os valores de densidade superficial de traços, e respectivo erro ($\rho \pm \sigma_{\rho}$), a sétima coluna dá os valores de atividade média e respectivo erro ($A_0 \pm \sigma_{A_0}$). | 21 |
| 6 | Valores para os detectores II-1 à II-6. A primeira coluna é a numeração dos detectores, a segunda coluna é o número total de campos analisados (n^2), a terceira coluna é o número total de traços contados (N), a quarta coluna dá os valores do erro poisson (σ_{Poisson}), a quinta coluna dá os valores do erro experimental (σ_{exp}), a sexta coluna dá os valores de densidade superficial de traços, e respectivo erro ($\rho \pm \sigma_{\rho}$), a sétima coluna dá os valores de atividade média e respectivo erro ($A_0 \pm \sigma_{A_0}$). | 22 |

| | | |
|----|--|----|
| 7 | Valores para os detectores III-1 à III-6. A primeira coluna é a numeração dos detectores, a segunda coluna é o número total de campos analisados (n^2), a terceira coluna é o número total de traços contados (N), a quarta coluna dá os valores do erro poisson (σ_{Poisson}), a quinta coluna dá os valores do erro experimental (σ_{exp}), a sexta coluna dá os valores de densidade superficial de traços, e respectivo erro ($\rho \pm \sigma_{\rho}$), a sétima coluna dá os valores de atividade média e respectivo erro ($A_0 \pm \sigma_{A_0}$). 23 | 23 |
| 8 | Razão entre as atividades fornecidas por monitores com geometria de filme fino e o monitor NRPB/SSI. 24 | 24 |
| 9 | Tabela de mapeamento do detector T1, interno CR-39 exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 26 | 26 |
| 10 | Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T2, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 27 | 27 |
| 11 | Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T3, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 28 | 28 |
| 12 | Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T4, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 29 | 29 |
| 13 | Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T5, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 30 | 30 |
| 14 | Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T6, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 31 | 31 |
| 15 | Tabela de mapeamento do detector interno II-1, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 32 | 32 |
| 16 | Tabela de mapeamento do detector interno II-2, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 33 | 33 |
| 17 | Tabela de mapeamento do detector interno II-3, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. 34 | 34 |

| | | |
|----|---|----|
| 18 | Tabela de mapeamento do detector interno II-4, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 35 |
| 19 | Tabela de mapeamento do detector interno II-5, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 36 |
| 20 | Tabela de mapeamento do detector interno II-6, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 37 |
| 21 | Tabela de mapeamento do detector interno III-1, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 38 |
| 22 | Tabela de mapeamento do detector interno III-2, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 39 |
| 23 | Tabela de mapeamento do detector interno III-3, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 40 |
| 24 | Tabela de mapeamento do detector interno III-4, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 41 |
| 25 | Tabela de mapeamento do detector interno III-5, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 42 |
| 26 | Tabela de mapeamento do detector interno III-6, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo. | 43 |
| 27 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 53 |
| 28 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 54 |
| 29 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 55 |

| | | |
|----|--|----|
| 30 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 56 |
| 31 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 57 |
| 32 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 58 |
| 33 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 59 |
| 34 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 60 |
| 35 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-31. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 61 |
| 36 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 62 |
| 37 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 63 |
| 38 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 64 |
| 39 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 65 |
| 40 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 66 |
| 41 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 67 |

| | | |
|----|--|----|
| 42 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 68 |
| 43 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 69 |
| 44 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha. | 70 |
| 45 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 80 |
| 46 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 81 |
| 47 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 82 |
| 48 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 83 |
| 49 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 84 |
| 50 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 85 |
| 51 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 86 |
| 52 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 87 |
| 53 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 88 |

| | | |
|----|---|----|
| 54 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 89 |
| 55 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 90 |
| 56 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 91 |
| 57 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 92 |
| 58 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 93 |
| 59 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 94 |
| 60 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 95 |
| 61 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 96 |
| 62 | Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna. | 97 |

Conteúdo

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Radônio e riscos | 1 |
| 1.2 | Uma breve introdução à metodologia | 1 |
| 1.3 | Motivação deste trabalho | 2 |
| 2 | Monitores abordados | 3 |
| 2.1 | Monitor Metálico | 3 |
| 2.2 | Dosímetro NRPB/SSI | 5 |
| 2.3 | Monitor de acrílico | 6 |
| 3 | Proposta Experimental | 7 |
| 3.1 | Descrição do aparato experimental | 7 |
| 3.2 | Radônio na campânula | 8 |
| 3.3 | Procedimento para contagem de traços | 9 |
| 3.4 | Tratamento estatístico dos traços contados | 11 |
| 4 | Experimentos | 15 |
| 4.1 | Resumo geral dos experimentos | 15 |
| 4.2 | Experimento I: Estudo de uniformidade da atividade do Rn-222 no interior da campânula | 17 |
| 4.3 | Experimento II: Comparação de respostas em ambiente sem ventilação e temperatura controlada | 19 |
| 4.4 | Experimento III: Comparação de respostas em exposição mista | 20 |
| 5 | Resultados e discussão | 21 |
| 5.1 | Experimento 1 | 21 |
| 5.2 | Experimento 2 | 22 |
| 5.3 | Experimento 3 | 23 |
| 5.4 | Comparação entre monitores de geometria de filme fino e NRPB | 24 |
| 6 | Conclusão | 25 |
| A | Matrizes de mapeamento dos detectores CR-39 | 26 |
| B | Análise das linhas | 53 |
| C | Análise das Colunas | 80 |

1 Introdução

1.1 Radônio e riscos

O radônio-222 é um gás nobre, inerte, e de fácil difusão. É encontrado em ambientes de convívio humano devido à presença de urânio no solo, e nos materiais de construção que se utilizam do solo como parte da manufatura. A preocupação do radônio como causador de câncer de pulmão impulsionou a pesquisa nessa área [3, 4, 6, 8, 10].

Atualmente o radônio é tido como o segundo maior causador de câncer de pulmão, segundo agências de saúde e segurança, tais como a The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)[34], e a Environmental Protection Agency (EPA nos EUA). Entretanto este tema ainda levanta muitas polêmicas, sendo alvo de diversos estudos, e monitorações em áreas desde a física nuclear [14, 15, 16, 17] à medicina [12, 20], com a teorização de modelos lineares e não lineares de doses [7], e possíveis mecanismos pelos quais o radônio causaria câncer. A pesquisa em monitoração de radônio ambiental foi iniciada, no Grupo Cronologia, na década de 1980 [27].

Os filhos de radônio por serem metálicos e possuírem características tais como a facilidade de aderência em superfícies materiais [17, 28, 13, 24] e mesmo em moléculas e aerossóis no ar, foram objetos de hipóteses sobre mecanismos pelos quais seriam agentes causadores, ou no mínimo potencializadores do câncer, em seres humanos. Motivado por estas hipóteses, o Grupo Cronologia desenvolveu uma nova metodologia de monitoração, com o objetivo de realizar medidas separadas das atividades alfa médias de radônio e filhos emissores [23].

1.2 Uma breve introdução à metodologia

No mundo todo, os grupos que pesquisam na área de monitoração alfa, utilizam monitores e detectores de diversos tipos. Um dos detectores mais utilizados é o CR-39, um detector plástico, de fácil manufatura, bem resistente e por isso muito útil em pesquisas de campo. As partículas alfa ao interagirem com o detector CR-39, deixam defeitos na estrutura atômica do plástico, da ordem de ângstroms. Esses defeitos são chamados de traços latentes, e através de revelação por ataque químico possuem suas dimensões aumentadas, de forma que seja possível a observação através de microscópios ópticos. A grande maioria dos grupos dessa área monitoram radiação alfa natural proveniente apenas de radônio.

Os grupos utilizam os mesmos princípios para a detecção de radiação alfa. O princípio da câmara de difusão, sendo que os átomos de radônio próximos às montagens se difundem para seu interior, onde utilizam-se os monitores com detectores internos, detectores do tipo estado sólido, que interagem com a radiação ionizante alfa. Existem diversos tipos de detectores, como por exemplo o LR-115 que é um tipo de emulsão de celulose (filme fotográfico), mas neste trabalho foi

utilizado apenas o CR-39 como detector de partículas alfa.

A metodologia utilizada pelo grupo Cronologia [27, 23, 29] para a monitoração do Rn-222, se baseia no mesmo princípio da câmara de difusão, os átomos de radônio que se difundem para o interior da montagem decaem, emitindo partículas alfa, e conseqüentemente seus filhos, também emissores alfa. Após um período de tempo, os átomos de radônio e filhos entram em equilíbrio de atividades, e a atividade média de radônio pode ser calculada através das medidas de densidade superficial de traços no detector CR-39.

A diferença entre a técnica utilizada por outros grupos e a metodologia desenvolvida no Grupo Cronologia, está em utilizar um detector CR-39 externo ao monitor, com o objetivo de detectar emissões alfa total no ar, de radônio e filhos, dessa maneira subtraindo a atividade calculada para o detector externo, da atividade calculada para o detector interno, é possível obter-se a atividade dos filhos de radônio [17, 27].

1.3 Motivação deste trabalho

A metodologia desenvolvida no "Grupo de Cronologia" foi aplicada em pesquisa de campo realizada em Poços de Caldas-MG em 2002 por [Neman,2004] [23, 29]. O trabalho concluiu que as respostas de atividades dos monitores NRPB/SSI e monitor de alumínio apresentavam resultados concordes. Porém, os resultados obtidos na pesquisa de campo mostraram que a atividade média alfa dos filhos de radônio era praticamente nula. Obtendo-se o valor de atividade alfa média total A_T (CR-39 externo), e o valor de atividade alfa média de radônio A_0 (CR-39 interno), pela subtração de um pelo outro obtia-se a atividade dos filhos A_F :

$$A_F = A_T - A_0 \quad (1.1)$$

Só que a atividade alfa média calculada para os filhos era menor que os valores dos erros, calculados por propagação de erros:

$$\sigma_{A_F} = \sqrt{(\sigma_{A_T})^2 + (\sigma_{A_0})^2} \quad (1.2)$$

Esses resultados serviram como motivação para rever a metodologia. O objeto de estudo deste trabalho foi escolhido como sendo o detector interno. Os monitores utilizados foram: NRPB/SSI, alumínio e o de acrílico.

Foram feitas hipóteses quanto ao tipo de material do monitor (isolante ou condutor), seria um fator crítico. Se a geometria dos monitores seria relevante no cálculo da atividade alfa média de radônio. Entre outras questões.

No caso do monitor de alumínio, foram testadas alterações em sua estrutura, tanto no que se refere à forma, quanto ao material utilizado. Foi efetuada uma comparação em condições onde inicialmente a temperatura e ventilação foram controladas, seguido de uma exposição onde a temperatura e a ventilação foi ambiente.

2 Monitores abordados

2.1 Monitor Metálico

O monitor metálico consiste de duas peças cilíndricas, de alumínio, rosqueadas uma à outra. As peças possuem dimensões, raio e altura, previamente estipuladas, sendo que estas características podem influenciar na detecção de radônio.

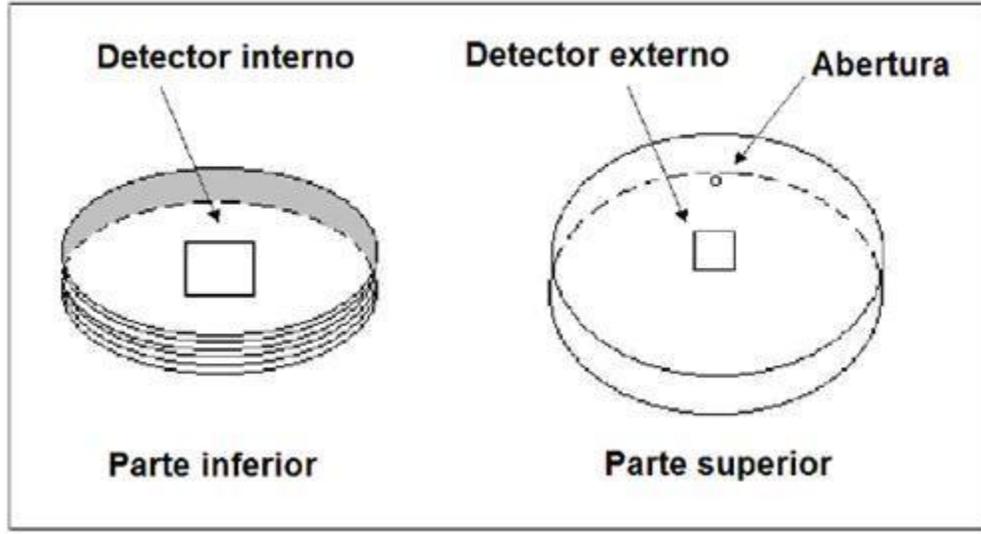


Figura 1: Ilustração esquemática do monitor de alumínio. No desenho pode-se ver o furo circular para a entrada de radônio, e a posição dos detectores fixados externa e internamente.

Na parte na qual se rosqueia uma peça na outra, originalmente foi utilizado um oring de borracha, com o objetivo de impedir a difusão de radônio por esta parte da montagem. Em uma das faces do monitor, há um furo circular por onde hipoteticamente o radônio ambiente difundiria-se para o interior da montagem [23]. E serve como barreira para filhos de radônio.

O detector interno é fixado a uma das faces internas da montagem. A geometria de detecção a qual está exposto esse detector é conhecida por 'geometria de filme fino', sendo possível desprezar possíveis perdas de energia no ar das partículas alfa.

Partindo da hipótese de que os átomos de radônio e seus filhos estejam em equilíbrio de atividades, é possível realizar a contagem dos traços de partícula alfa indiscriminadamente. O número de traços é convertido em uma densidade superficial de traços (ρ), relacionada à atividade de radônio no interior da montagem (A_0) pela seguinte relação [17]:

$$A_0 = \frac{2\rho_{int}}{\epsilon t_e d \sum_{j=0,1,3} \left(1 - \frac{d}{2R_j}\right)} \quad (2.1)$$

Onde t_e é o tempo de exposição, ρ_{int} é a densidade de traços contadas no detector interno (cm^{-2}), d é a distância entre as placas opostas da montagem, R_j são os alcances das partículas alfa proveniente de radônio e filhos. Os índices $j = 0, 1, 3$ equivalem respectivamente às partículas alfa dos decaimentos alfa de ^{222}Rn , ^{218}Po e ^{214}Po , ϵ é o fator de calibração adimensional para a medida, definido como o quociente entre o número total de traços no detector e o número total de partículas alfa que atingem o detector. Devido a ângulos e energias críticos nem todas as partículas alfa são registradas em forma de traços. Considerando-se os seguintes valores para os parâmetros da equação 2.1:

$$R_0 \pm \sigma_{R_0} = (42, 40 \pm 4, 20) \text{ cm (Para a alfa do } ^{222}\text{Rn, com energia de 5,49 MeV)}$$

$$R_1 \pm \sigma_{R_1} = (48, 10 \pm 5, 00) \text{ cm (Para a alfa do } ^{218}\text{Po, com energia de 6,00 MeV)}$$

$$R_3 \pm \sigma_{R_3} = (71, 40 \pm 7, 10) \text{ cm (Para a alfa do } ^{214}\text{Po, com energia de 7,69 MeV)}$$

$$\epsilon \pm \sigma_\epsilon = 0, 55 \pm 0, 02$$

$$d \pm \sigma_d = (4, 00 \pm 0, 40) \text{ cm}$$

E substituindo estes valores na relação 2.1, tem-se:

$$A_0 (\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}) = 315, 30 \frac{\rho_{int} (\text{m}^{-2})}{t_e (\text{s})} \quad (2.2)$$

Após algumas simplificações, a relação 2.1 toma a seguinte forma (as unidades de cada parâmetro encontra-se entre parênteses):

$$A_0 (\text{k Bq} \cdot \text{m}^{-3}) = 0, 3153 \frac{\rho_{int} (\text{m}^{-2})}{t_e (\text{s})} \quad (2.3)$$

Considerando-se $\rho_{int} (\text{m}^{-2}) = 10^4 \rho_{int} (\text{cm}^{-2})$ e $t_e (\text{s}) = 3.600 t_e (\text{h})$, tem-se:

$$A_0 (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}) = 0, 875 \frac{\rho_{int} (\text{cm}^{-2})}{t_e (\text{h})} \quad (2.4)$$

Deve ser observado que a relação 2.4 deve ser aplicada àqueles monitores que apresentam geometria de filme fino. Logo, ela será utilizada também para o monitor de acrílico, que será abordado em seções posteriores. É interessante notar que a atividade alfa média de radônio é diretamente proporcional à densidade superficial de traços, medidas no detector CR-39 interno.

Como mencionado em seções anteriores, neste trabalho foi objeto de estudo apenas o detector CR-39 interno. E para a análise do monitor de alumínio, foram realizadas algumas mudanças nas configurações dos monitores. Foram utilizados quatro monitores metálicos neste trabalho, três deles com mesmo diâmetro de 7,80 cm e um deles com diâmetro maior de 12,20 cm. O objetivo disso foi comparar as respostas das atividades dependendo do diâmetro dos monitores. Outras mudanças como cobrir os furos das faces dos monitores, retirar o-rings dos quatro monitores, e fazer ranhuras na parte rosqueada de um deles também foram feitas. Estas configurações serão explicadas em mais detalhe em seções posteriores.

2.2 Dosímetro NRPB/SSI

O monitor NRPP/SSI foi desenvolvido em laboratórios da Europa, pela National Radiological Protection Board da Inglaterra (NRPB), na década de 1980. Sendo amplamente utilizado em grupos de pesquisa europeus. Seu princípio é o de uma câmara de difusão pela qual o gás de radônio difunde-se por microaberturas na estrutura do monitor.



Figura 2: Foto tirada de um monitor NRPB/SSI.

Dentro do monitor há um volume conhecido, no qual é fixado um detector CR-39, que fica sob exposição de radiação alfa proveniente de radônio (que difundiu-se para o interior da montagem) e filhos. Basicamente é o mesmo princípio dos monitores de alumínio e de acrílico, de placas paralelas, desenvolvidos no Grupo Cronologia. Havendo em princípio apenas uma diferença: o tipo de geometria sob o qual o detector CR-39 encontra-se exposto.

Este monitor foi primeiramente desenvolvido pela NRPB, utilizando-se o propileno, um material dielétrico. Depois o propileno foi substituído por um plástico condutor, com a ajuda da Swedish Radiation Protection Institute (SSI), daí o nome do monitor NRPB/SSI[23].

A calibração deste monitor requer bastante cuidado, por isso, diversos laboratórios europeus, em um trabalho conjunto, realizaram experimentos com o objetivo de obter um único valor de calibração, podendo ser utilizado por todos os pesquisadores. Essa calibração recebe o nome de sensibilidade de resposta, e possui o valor:

$$S = (2,8 \pm 0,2) \text{ cm}^{-2}(\text{kBq} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}(\pm 7,1\%) \quad (2.5)$$

Devido à segurança neste resultado, foi ele o utilizado na relação da atividade alfa média para monitores NRPB/SSI. A atividade de radônio neste caso é dada pela equação:

$$A_0 (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{1}{S \left(\frac{\text{cm}^{-2}}{\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}} \right)} \frac{\rho (\text{cm}^{-2})}{t_e (\text{h})} \quad (2.6)$$

Após algumas simplificações e inserindo valores de sensibilidade de resposta, tudo nas mesmas unidades, tem-se que:

$$A_0 (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}) = 0,357 \frac{\rho (\text{cm}^{-2})}{t_e (\text{h})} \quad (2.7)$$

2.3 Monitor de acrílico

A montagem deste monitor é formada por duas placas acrílicas, em formato quadrado, com 14 cm de lado, distantes 4mm uma da outra (fixadas paralelamente) por meio de 4 separadores, também em formato quadrado, com 1,5 cm de lado, localizados nos vértices das placas. De maneira que nos lados da montagem formem aberturas de comprimentos de 11cm, e 4mm de altura.

Este monitor utiliza-se de dois detectores CR-39, sendo um fixado interiormente à montagem, e o outro fixado exteriormente à montagem. As funções destes detectores são, em princípio, as mesmas que as de seus equivalentes no monitor metálico, estando os monitores internos expostos a uma geometria de filme fino. Logo, para o cálculo de atividades alfa média, deve ser utilizada também a relação 2.4

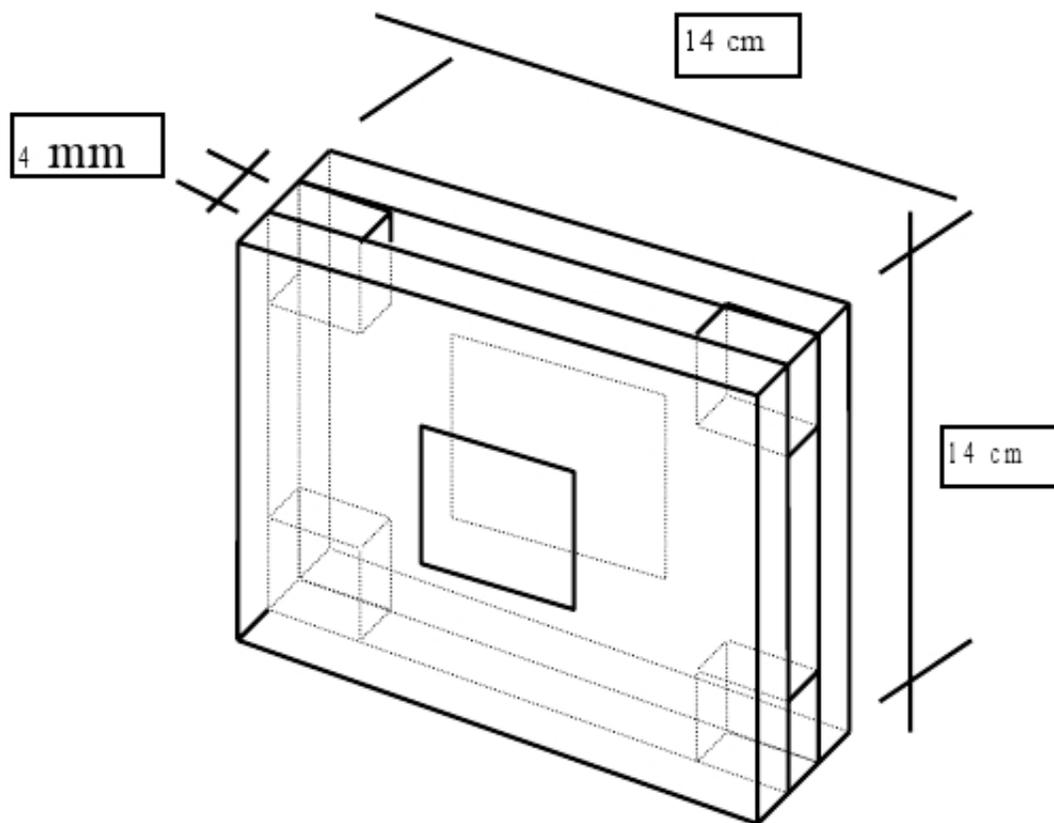


Figura 3: Ilustração esquemática do monitor de acrílico, formado por duas placas quadradas, fixadas uma na outra, paralelamente, de lados 14cm.

3 Proposta Experimental

3.1 Descrição do aparato experimental

Com o objetivo de testar e comparar as respostas de detecção dos monitores: alumínio, NRPB e acrílico, foram propostos três experimentos. Estes consistiram em exposições de conjuntos de seis dosímetros, em uma campânula de plástico, de 22,0 cm de comprimento e 25,0 cm de diâmetro.

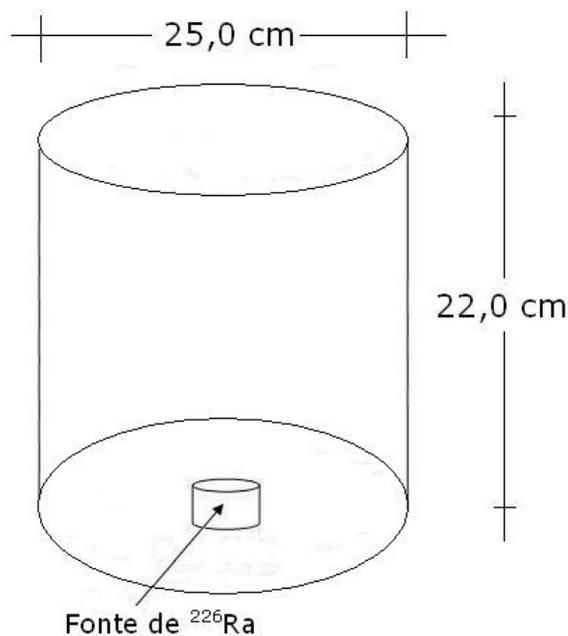


Figura 4: Ilustração da campânula cilíndrica (plástico PVC) utilizada nos três experimentos. Deve-se observar pela figura que não está em escala.

Dentro da campânula, foram inseridos os monitores de acordo com as configurações dos experimentos, e uma fonte de rádio-226, fixado no piso, no centro do recipiente. Os monitores foram distribuídos dentro da campânula em três tipos de configurações diferentes. Foram utilizados apenas os detectores CR-39 interno, e não foi utilizado nenhum CR-39 externo, para nenhum tipo de análise. Por precaução, foram utilizados CR-39 do mesmo lote, e o background analisado também foi retirado do mesmo lote.

A densidade de traços analisada no background foi virtualmente nula. Isso pode ser devido ao fato do lote ser novo. Dessa maneira não foi realizado nenhum tipo de refinamento na contagem de traços dos detectores CR-39 expostos.

Os detectores CR-39 foram todos revelados no mesmo ataque químico, após o término da exposição. A contagem de traços foi realizada ao microscópio pelo mesmo microscopista, e sempre mantendo o mesmo padrão de contagem.

3.2 Radônio na campânula

Assumindo que a fonte de rádio é um filme fino, podemos considerar que quase todo radônio formado se difunde na campânula. Será considerada a seguinte parte da cadeia do rádio.



O número de átomos em um instante t , e as constante de decaimento dos três átomos são denotados respectivamente por N_{226} , N_{222} , λ_{222} , para o rádio e radônio.

As atividades radioativas destes átomos são dadas pela relação λN . Segundo a lei de decaimento, temos para o rádio, o seguinte modelo populacional:

$$\frac{dN_{226}}{dt} = -\lambda_{226}N_{226} \quad (3.2)$$

De forma que enquanto os átomos de rádio vão sendo desintegrados por decaimento alfa, átomos filhos de radônio são formados, mas ao mesmo tempo decaem em radiação alfa, formando átomos de polônio. O modelo matemático que descreve esse sistema é dado pela seguinte relação:

$$\frac{dN_{222}}{dt} = \lambda_{226}N_{226} - \lambda_{222}N_{222} \quad (3.3)$$

Para um instante inicial $t = 0$ s, no caso o início da exposição, temos que $N_{226}(0) = N_0$, e que $N_{222}(0) = 0$. Resolvendo o sistema de equações diferenciais ordinárias, temos primeiramente:

$$N_{226}(t) = N_0 \exp(-\lambda_{226}t) \quad (3.4)$$

Inserindo este resultado no modelo do número de átomos de radônio, encontramos a equação:

$$\frac{dN_{222}}{dt} = N_0 \lambda_{226} \exp(-\lambda_{226}t) - \lambda_{222}N_{222} \quad (3.5)$$

Como solução, obtém-se:

$$N_{222}(t) = \frac{N_0 \lambda_{226}}{\lambda_{222} - \lambda_{226}} (\exp(-\lambda_{226}t) - \exp(-\lambda_{222}t)) \quad (3.6)$$

Sendo $A_0 = \lambda_{226}N_0$, a atividade alfa média do rádio, encontramos que a atividade de radônio dentro da campânula é dada pela relação:

$$A_{222}(t) = \frac{A_0 \lambda_{226}}{\lambda_{222} - \lambda_{226}} (\exp(-\lambda_{226}t) - \exp(-\lambda_{222}t)) \quad (3.7)$$

O rádio possui uma meia-vida de aproximadamente 1600 anos, enquanto que o radônio possui uma meia-vida de aproximadamente 3,8 dias, e o polônio (Po-218), possui meia-vida de 3,1 minutos. Como $\lambda_{226} \gg \lambda_{222}$, tem-se que:

$$A_{222}(t) \approx A_0 (1 - \exp(-\lambda_{222}t)) \quad (3.8)$$

Da equação 3.8, vemos que depois de 5 dias, $A_{222} \approx 0,60A_0$, depois de 10 dias, $A_{222} \approx 0,85A_0$ e depois de 20 dias, $A_{222} \approx 0,97A_0$. Assim, o tempo de exposição dos experimentos tiveram duração de 40 dias, para se minimizar os efeitos de não uniformidade de atividade de radônio no interior da campânula.

3.3 Procedimento para contagem de traços

1. Primeiramente deve-se fixar o detector CR-39 (geralmente uma placa quadrada de espessura $500 \mu\text{m}$) à lâmina (usa-se fita adesiva) de forma a evitar que o detector saia de sua posição original.
2. Usa-se o software Track Scan para visualizar as coordenadas (x, y) do microscópio no detector. E o software Easy Grab para capturar as imagens dos campos de visão do microscópio, recomenda-se armazenar as imagens em formato .bmp (bitmap padrão).
3. Direciona-se o microscópio a uma das arestas do detector e define-se essa aresta como a origem das coordenadas, observando-se que nem sempre essa origem terá o valor $(0, 0)$, pois depende do software e da posição original do microscópio.
4. Anotam-se as coordenadas que o software Track Scan nos dá para uma das arestas, sendo este o ponto (x_1, y_1) depois deve-se dirigir o microscópio até a aresta oposta diagonalmente ao ponto definido como a origem, anotando-se as coordenadas (x_2, y_2) para este ponto.
5. Calculam-se os valores $\Delta x = x_2 - x_1$ e $\Delta y = y_2 - y_1$ que em módulo, representam os comprimentos dos lados do detector CR-39. Entretanto, dependendo da definição da origem, utilizando o software Track Scan, essa variação das coordenadas pode vir a ser negativa.
6. Observação: Os comprimentos medidos e os valores de coordenadas que o Track Scan estão a priori em unidades desconhecidas, não ortodoxas, essas coordenadas tem o objetivo de mapear a superfície do CR-39, e definir os números de campos e os comprimentos dos campos a serem analisados.
7. A partir dos valores Δx e Δy podemos estimar o número de campos (N_c) a serem analisados, para isso definimos dentro das limitações dos comprimentos $|\Delta x|$ e $|\Delta y|$ podemos definir uma área fixa do CR-39 a ser analisada: um quadrado de lados $|\Delta x'|$ menor que $|\Delta x|$ e $|\Delta y|$. A escolha do comprimento $|\Delta x'|$ é arbitrária.
8. O novo comprimento $|\Delta x'|$ da área quadrada a ser observada é utilizado para se definir o número de campos (N_c) a serem observados, e os comprimentos (a) de cada campo. Temos então uma matriz quadrada de ordem N_c onde as entradas n_{ij} são os números de traços observados em cada campo.
9. A relação entre o número de campos, o comprimento (a) de cada campo e o tamanho do lado $|\Delta x'|$ da área a ser analisada é dada por $(N_c - 1)a = \Delta x'$.
10. Utilizando a relação acima, podemos fixar a ordem da matriz N_c e encontrar o valor dos lados de cada campo, ou vice-versa.
11. Para calcularmos as novas coordenadas devemos proceder da seguinte maneira:

$$x_1' = x_1 - \frac{1}{2}(\Delta x - \Delta x') \quad y_1' = y_1 - \frac{1}{2}(\Delta y - \Delta y') \quad (3.9)$$

$$x_2' = x_2 - \frac{1}{2}(\Delta x - \Delta x') \quad y_2' = y_2 - \frac{1}{2}(\Delta y - \Delta y') \quad (3.10)$$

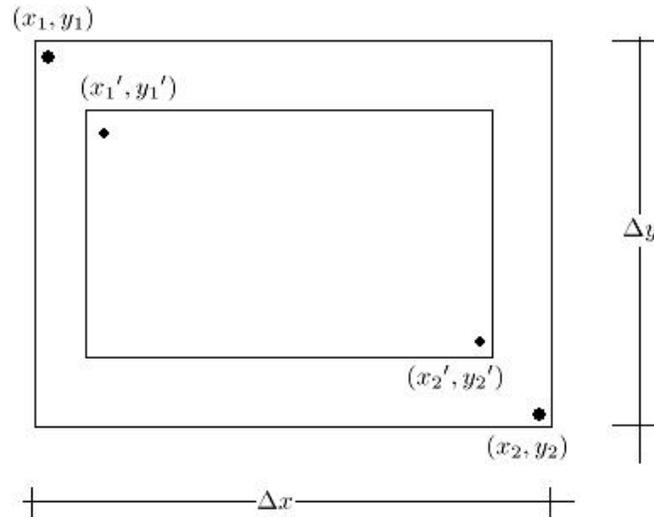


Figura 5: O campo maior de lados Δx e Δy é a superfície do CR-39. O quadrado interior é a nova área a ser analisada via microscópio, o quadrado interior possui comprimento $|\Delta x'|$.

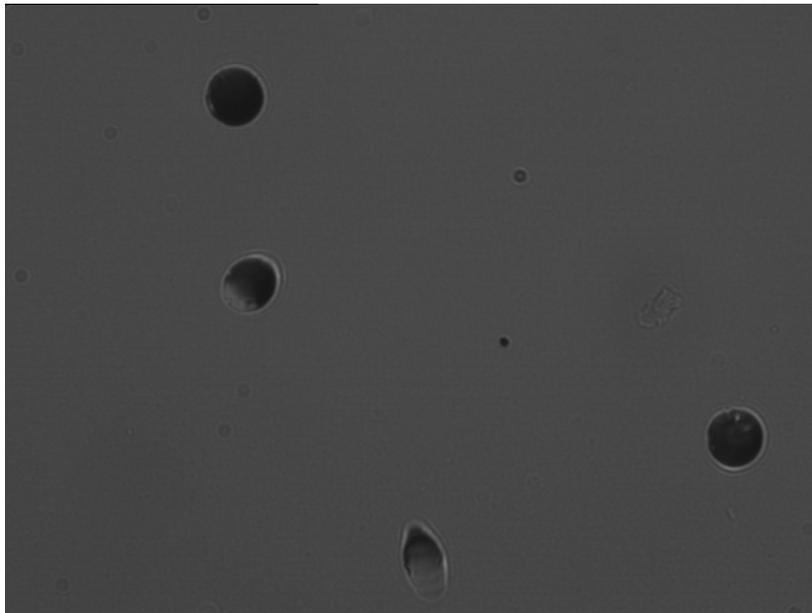


Figura 6: Imagem de traços de partícula alfa em CR-39. Imagem retirada de um dos detectores analisados. Na figura, pode-se ter noção do que é um campo de visão. O diâmetro dos traços de partícula alfa, depois de revelados quimicamente é da ordem de $10\mu\text{m}$, no microscópio óptico, o campo de visão é uma área quadrada, delimitada com régua micrométrica, de lado $100\mu\text{m}$, sendo a área de cada campo de visão de 10^{-4} cm^2 .

3.4 Tratamento estatístico dos traços contados

Neste trabalho foram analisados 400 campos por detector, o que consiste em uma tabela (matriz) 20×20 , onde cada entrada da matriz representa o número de traços contado em cada campo de visão do microscópio. Na figura 3.4 temos um exemplo de mapeamento de um CR-39.

Tabela 1: Exemplo de mapeamento de um detector CR-39. Cada entrada da matriz 20×20 abaixo representa o número de traços contado em cada campo de visão.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|---|----|---|---|---|----|----|----|----|---|---|---|---|---|----|---|
| 9 | 3 | 3 | 7 | 6 | 11 | 4 | 2 | 5 | 8 | 3 | 7 | 1 | 7 | 6 | 3 | 3 | 1 | 6 | 3 |
| 8 | 7 | 3 | 7 | 2 | 4 | 7 | 3 | 3 | 5 | 9 | 6 | 5 | 1 | 2 | 5 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| 9 | 6 | 2 | 6 | 4 | 6 | 5 | 8 | 5 | 1 | 5 | 6 | 6 | 4 | 3 | 4 | 7 | 4 | 4 | 3 |
| 4 | 6 | 4 | 7 | 7 | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 6 | 3 | 8 | 5 |
| 3 | 4 | 4 | 7 | 9 | 5 | 8 | 2 | 5 | 2 | 4 | 5 | 7 | 1 | 4 | 8 | 2 | 3 | 11 | 6 |
| 4 | 5 | 3 | 1 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 3 | 2 | 1 | 3 | 5 | 5 | 2 | 3 | 6 | 2 | 4 |
| 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 6 | 9 | 4 | 6 | 7 | 7 | 8 | 2 | 1 | 7 | 2 | 7 | 3 | 5 | 4 |
| 6 | 8 | 7 | 10 | 3 | 5 | 6 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 | 4 | 2 | 5 | 2 |
| 3 | 3 | 9 | 3 | 6 | 6 | 8 | 4 | 1 | 9 | 8 | 3 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 4 | 9 | 2 |
| 7 | 5 | 7 | 4 | 4 | 5 | 7 | 4 | 1 | 7 | 3 | 2 | 7 | 6 | 5 | 8 | 4 | 7 | 10 | 7 |
| 4 | 7 | 6 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 2 | 10 | 4 | 3 | 6 | 7 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 |
| 7 | 4 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 6 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 6 | 2 | 5 | 9 | 9 | 4 | 4 | 4 | 7 | 3 |
| 1 | 4 | 5 | 5 | 2 | 8 | 5 | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 3 | 6 | 6 | 4 | 6 | 9 | 1 | 5 |
| 5 | 7 | 5 | 4 | 6 | 3 | 8 | 5 | 2 | 6 | 3 | 11 | 12 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 |
| 4 | 0 | 5 | 7 | 1 | 1 | 2 | 7 | 4 | 6 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 7 |
| 6 | 8 | 1 | 5 | 4 | 7 | 5 | 4 | 2 | 1 | 4 | 7 | 4 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 | 6 | 2 |
| 4 | 1 | 4 | 1 | 0 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 9 | 5 | 3 | 3 | 6 | 2 | 4 | 7 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 | 3 | 5 | 11 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 0 | 3 |
| 7 | 6 | 5 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 7 | 4 | 1 | 3 | 4 | 6 | 4 | 3 | 2 | 4 | 7 |

A partir dos dados obtidos acima através da contagem dos traços nos detectores CR-39, são realizados cálculos de análise estatística. Tais como o número de campos de visão utilizados (n^2). A matriz dos traços por campos de visão é $n \times n$. O número de campos de visão analisados é igual n^2 . O número total (N) de traços contados é dado pela seguinte relação:

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3.11)$$

O número médio de traços por campo (\bar{N}), dado pela seguinte relação:

$$\bar{N} = \frac{N}{n^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3.12)$$

O erro experimental σ_{exp} tido como o desvio padrão amostral:

$$\sigma_{\text{exp}} = \sqrt{\frac{1}{n^2 - 1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \bar{N})^2} \quad (3.13)$$

Foram realizadas análises gráficas e histogramas dos resultados. Com o objetivo de verificar a homogeneidade da distribuição dos traços, tanto por linhas, quanto por colunas.

Tabela 2: Valores de análise para cada uma das linhas da matriz de mapeamento. Os valores na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 3 | 98 | 10 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 1 | 97 | 10 |
| 5 | 3 | 100 | 10 |
| 4 | 2 | 77 | 9 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 2 | 99 | 10 |
| 5 | 3 | 97 | 10 |
| 6 | 2 | 110 | 10 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 1 | 78 | 9 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 5 | 2 | 97 | 10 |
| 5 | 3 | 101 | 10 |
| 3 | 2 | 69 | 8 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 3 | 2 | 62 | 8 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |

Tabela 3: Valores de análise para cada uma das colunas da matriz de mapeamento. Os valores na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 2 | 101 | 10 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 5 | 2 | 100 | 10 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 5 | 2 | 96 | 10 |
| 5 | 2 | 107 | 10 |
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 4 | 2 | 79 | 9 |
| 5 | 3 | 97 | 10 |
| 5 | 3 | 95 | 10 |
| 4 | 3 | 88 | 9 |
| 5 | 2 | 92 | 10 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 5 | 2 | 93 | 10 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 5 | 3 | 94 | 10 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |

Os gráficos das distribuições dos números analisados tanto por linhas quanto por colunas estão contidos nos apêndices desta dissertação. Foi tomado o cuidado em catalogar todas as tabelas de análise por linhas, análises por colunas, matrizes de mapeamento, e gráficos relativos à análises por linhas e colunas, para atribuir clareza e transparência aos leitores desta dissertação.

As análises descritas acima são todas de cunho experimental (amostral), mas como podemos considerar a detecção de emissões alfa por detectores CR-39, um evento raro, é natural que se suponha que a distribuição de traços na superfície dos detectores obedeça a estatística de Poisson. Partindo dessa hipótese, sabemos que o erro devido à distribuição de Poisson (σ_{Poisson}) é:

$$\sigma_{\text{Poisson}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (3.14)$$

Os histogramas das distribuições de números de traços por campo de visão encontram-se nos apêndices desta dissertação.

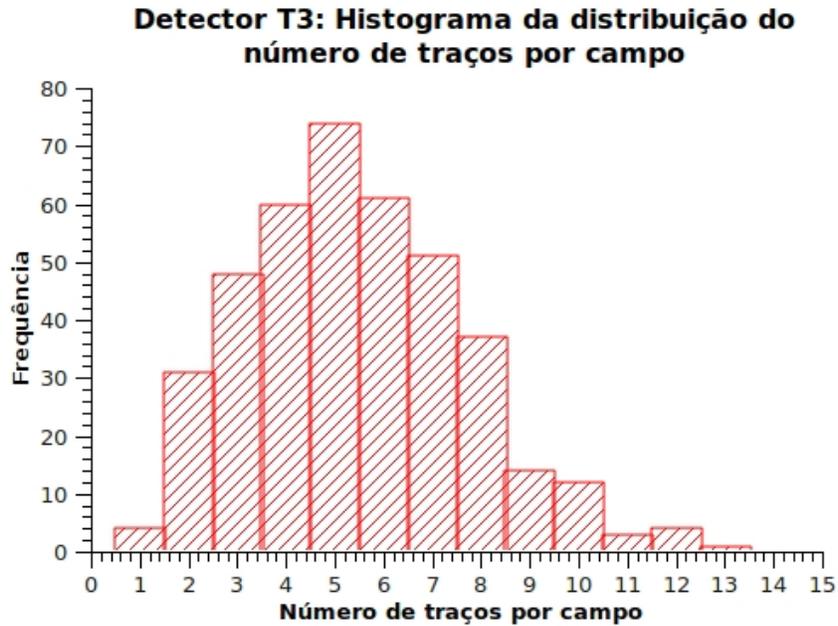


Figura 7: Histograma da distribuição do número de traços por campo de visão para o detector T3, do Experimento I. No gráfico é possível perceber a característica de assimetria da distribuição de Poisson. Outros gráficos desta natureza, para cada detector analisado, encontram-se no apêndice desta dissertação.

A densidade superficial de traços ρ em unidades de cm^{-2} é obtida dividindo-se o número total de traços contados (N), pela área total analisada pelo detector. Como cada campo de visão é um quadrado de aresta $10\mu\text{m}$, logo a área de cada campo é $A_i = 10^{-6}\text{cm}^2$. São analisados n^2 campos, então a área total é dada pela relação:

$$A = \sum_{i=1}^{n^2} A_i = n^2 \times 10^{-8} \quad (3.15)$$

Para um total de 400 campos analisados, a área total do detector CR-39 analisada é de $4 \times 10^{-4} \text{cm}^2$. Para calcular a densidade superficial de traços em unidades de cm^{-2} , é necessário calcular a razão do número total de traços contados (N), pela área total (A):

$$\rho = \frac{N}{A} = \left(\sum_{i=1}^{n^2} A_i \right)^{-1} N \quad (3.16)$$

O cálculo do erro da densidade superficial é calculado por propagação de erros:

$$\sigma_\rho = \pm \rho \sqrt{(\sigma_N)^2 + (\sigma_A)^2} \quad (3.17)$$

4 Experimentos

4.1 Resumo geral dos experimentos

Foram realizados três experimentos, sendo o sistema analisado composto da campânula cilíndrica, feita de plástico PCV (ver figura 4) de 22 cm de comprimento e 25 cm de diâmetro. Nos três experimentos realizados foram utilizados conjuntos de seis monitores, com detectores CR-39 internos. Perfazendo um total de dezoito (18) detectores CR-39 a serem analisados. A configuração em cada experimento (exposição) foi planejada de acordo com os objetivos de cada experimento.

Dentro da campânula, além dos monitores foi fixada uma fonte de rádio-226, no centro da campânula, para fixar a simetria do sistema, em relação à posição de cada monitor. O sistema campânula + fonte de rádio-226 + monitores foi colocado em uma geladeira comum, que serviu como reservatório térmico. O objetivo, além de fixar o parâmetro temperatura foi de evitar possíveis correntes de convecção de ar, formados por gradientes de temperatura. Com isso, poderia-se ter um ambiente sem ventilação, aproximando-se de um ambiente ideal para exposição e detecção de partículas alfa. Além dos detectores CR-39 internos aos monitores, não foram utilizados CR-39 como detectores externos.

O tempo de exposição em cada experimento foi de 41 dias (com erro desprezível de apenas alguns minutos). Apenas no terceiro experimento (denominado Experimento III) os monitores expostos na campânula foram expostos em um ambiente com temperatura ambiente e sujeitos à ventilação, em um dos laboratórios do Grupo Cronologia, localizado no porão do prédio do Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia. Deve-se salientar que o local onde os monitores foram instalados é um laboratório de pouca utilização, portanto não pode haver qualquer tipo de comparação com exposições em ambientes de convívio, onde há todo tipo de interação com o ambiente, que pode interferir nas medidas dos monitores. Exemplos de interações seriam o abrir e fechar de portas e janelas, constante presença de pessoas no ambiente, o tipo de material de construção utilizado na residência, o tipo de tinta, o quão nova é a residência, etc.

Os conjuntos de seis detectores CR-39 internos foram todos revelados quimicamente, ao mesmo tempo, pela mesma solução. Essa foi uma precaução tomada apenas para garantir uniformidade na metodologia desta dissertação, e evitar possíveis erros experimentais ou grosseiros. A solução utilizada na revelação dos traços foi a solução padrão, de NaOH a 6,5N, à 70 °C, e o tempo de ataque químico de 400 minutos.

Ao total, foram analisados 18 detectores CR-39. Foram analisados pelo mesmo microscopista (o autor desta dissertação), utilizando o mesmo critério de contagem de traços para todos os detectores analisados, e utilizando o mesmo microscópio óptico.

Alguns dos detectores CR-39 apresentaram um tipo de contaminação em suas bordas. Não se sabe explicar o que pode ter ocorrido, mas claramente afetaria a estatística dos traços analisados.

Por isso, nesses detectores foram analisados um número menor de campos de visão, ou seja, foram retirados os 'outliers' da estatística. Isso não pesou em nada no resultado final, pois mesmo com essa retirada de alguns campos de visão, o número total de campos analisados continuava sendo de bom tamanho, para uma boa estatística.

Os detectores que apresentaram essa contaminação foram os detectores T4 e T5 do primeiro experimento. Além da contaminação dos detectores T4 e T5 (Experimento I), o detector CR-39 III-6 (Experimento III), foi danificado, apresentou muita sujeira em sua superfície, restos de ataque químico, poeira, o que prejudicou sua análise, logo foi excluído deste trabalho.

Na figura 8 é possível observar uma foto obtida com microscópio óptico e sistema de digitalização + software gráfico. A foto é de um campo de visão na aresta do canto superior direito do detector T5. Deve ficar claro que apesar deste contratempo, a amostra não foi danificada, foi apenas tomado o cuidado de retirar os campos com número excessivo de traços.

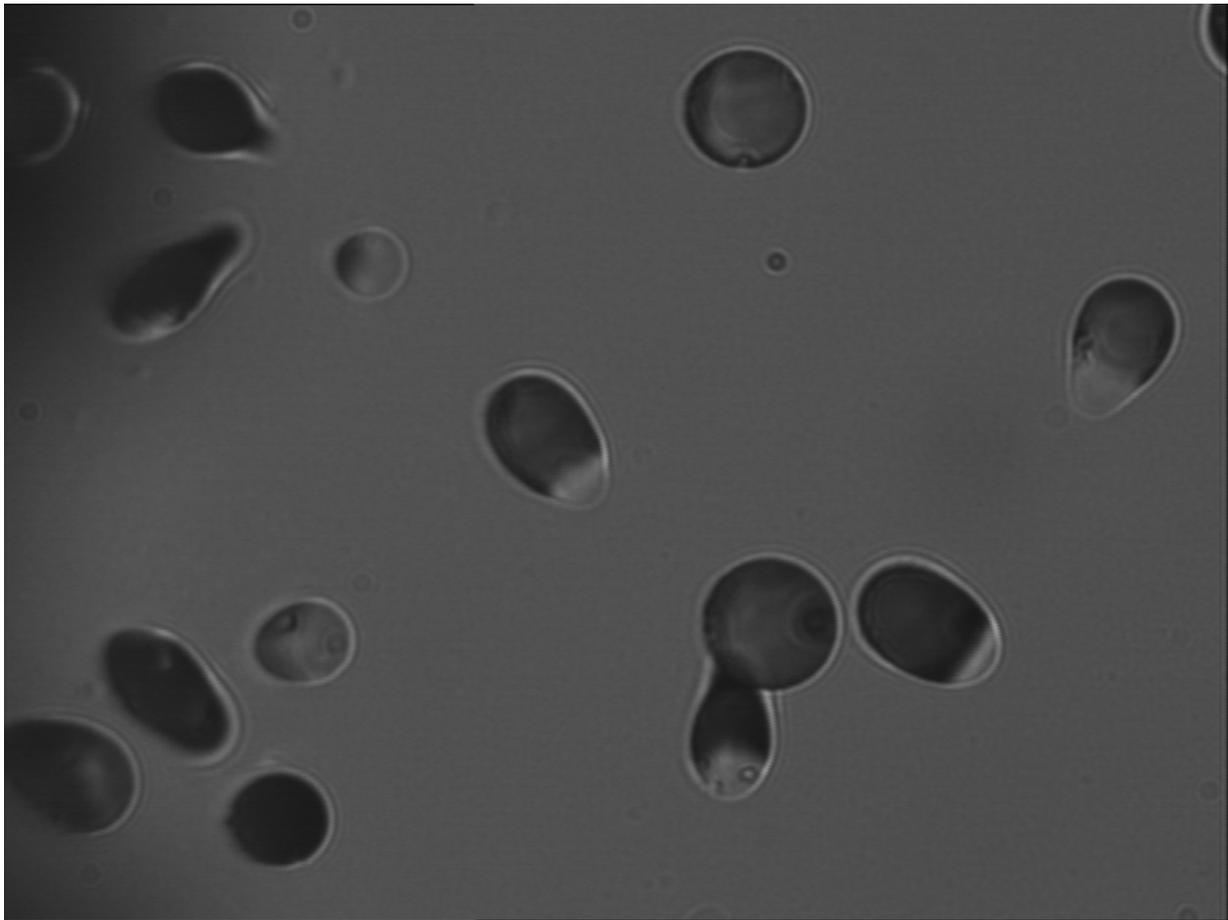


Figura 8: Imagem de traços de partícula alfa em CR-39. A imagem é de uma das arestas do detector T5, do Experimento I, mostra quantidade excessiva de traços acumulados na região da aresta do detector. Indicando um tipo de contaminação.

Tabela 4: Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T5. No canto superior direito da matriz de mapeamento, pode-se notar que duas entradas apresentam um número muito maior de traços que nas outras entradas: $a_{1,20} = 34$ e $a_{2,20} = 35$.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 5 | 4 | 8 | 6 | 4 | 2 | 5 | 9 | 2 | 0 | 4 | 3 | 2 | 0 | 1 | 4 | 5 | 8 | 7 | 34 |
| 5 | 4 | 4 | 8 | 5 | 2 | 9 | 9 | 4 | 7 | 5 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 | 5 | 4 | 3 | 35 |
| 3 | 6 | 5 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 5 | 2 | 6 | 3 | 3 | 9 | 8 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | 7 | 3 | 3 | 6 | 9 | 6 | 3 | 4 | 1 | 6 | 8 | 8 | 4 | 0 | 2 | 2 | 5 | 2 | 1 |
| 5 | 9 | 5 | 4 | 8 | 3 | 10 | 7 | 7 | 5 | 6 | 0 | 8 | 2 | 9 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | 6 | 10 | 3 | 4 | 8 | 7 | 2 | 3 | 7 | 6 | 4 | 6 | 2 | 2 | 5 | 9 | 8 | 5 | 5 |
| 6 | 7 | 6 | 9 | 3 | 7 | 5 | 7 | 4 | 7 | 5 | 8 | 6 | 5 | 7 | 15 | 8 | 6 | 0 | 14 |
| 10 | 10 | 13 | 9 | 6 | 7 | 6 | 4 | 6 | 10 | 5 | 1 | 0 | 5 | 11 | 9 | 6 | 6 | 11 | 2 |
| 6 | 8 | 6 | 5 | 8 | 9 | 14 | 5 | 4 | 1 | 8 | 9 | 9 | 14 | 18 | 10 | 8 | 5 | 8 | 11 |
| 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 6 | 6 | 5 | 16 | 9 | 7 | 9 | 7 | 10 | 7 | 9 | 6 | 8 | 12 |
| 8 | 7 | 9 | 5 | 8 | 5 | 9 | 9 | 10 | 10 | 6 | 13 | 11 | 13 | 10 | 8 | 13 | 9 | 4 | 7 |
| 10 | 9 | 5 | 6 | 6 | 9 | 13 | 15 | 11 | 8 | 4 | 16 | 9 | 12 | 3 | 15 | 13 | 9 | 9 | 8 |
| 5 | 6 | 13 | 8 | 5 | 6 | 4 | 10 | 11 | 7 | 4 | 16 | 15 | 21 | 7 | 13 | 9 | 6 | 8 | 4 |
| 3 | 4 | 9 | 3 | 4 | 7 | 5 | 11 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 6 | 3 | 6 | 4 | 8 | 10 | 5 |
| 8 | 5 | 6 | 3 | 6 | 8 | 5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 11 | 9 | 3 | 16 | 13 | 7 | 15 | 13 | 7 |
| 2 | 1 | 3 | 5 | 4 | 9 | 8 | 9 | 7 | 6 | 9 | 13 | 2 | 11 | 9 | 6 | 7 | 17 | 8 | 2 |
| 4 | 4 | 6 | 5 | 4 | 6 | 4 | 7 | 9 | 2 | 7 | 9 | 6 | 8 | 10 | 5 | 6 | 8 | 5 | 10 |
| 5 | 5 | 3 | 7 | 9 | 6 | 4 | 3 | 11 | 2 | 4 | 7 | 6 | 8 | 9 | 9 | 5 | 7 | 10 | 13 |
| 1 | 6 | 5 | 7 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 8 | 6 | 0 | 6 | 11 | 6 | 6 | 4 | 9 | 7 | 9 |
| 8 | 12 | 5 | 7 | 9 | 6 | 10 | 4 | 3 | 7 | 7 | 4 | 2 | 8 | 7 | 10 | 7 | 6 | 8 | 5 |

4.2 Experimento I: Estudo de uniformidade da atividade do Rn-222 no interior da campânula

Este experimento, designado como Experimento I, teve como objetivo o estudo de uniformidades da atividade de radônio no interior de uma campânula de vidro. Para realizar a exposição de monitores, foi utilizado o recipiente de plástico em formato cilíndrico, de altura 22 cm e com 25 cm de diâmetro (ver figura 4), onde foram inseridos os monitores e uma fonte de rádio (Ra-226).

Nesta exposição foram utilizados seis monitores de plástico do tipo NRPB/SSI, sendo cinco deles feitos de um material condutor, e um deles feito com material dielétrico. A exposição teve duração de 41 dias.

Os seis monitores NRPB/SSI foram fixados na parede interna do tubo de plástico, em posições

planejadas com o objetivo de analisar a distribuição dos átomos de radônio no interior da campânula. A montagem foi mantida dentro de uma geladeira, para fixar o parâmetro temperatura e assim evitar possíveis correntes de convecção. Além de se testar se havia ou não gradiente de atividade média de radônio, de acordo com a posição dos monitores no interior do tubo, outro objetivo deste experimento foi o de realizar análise comparativa entre as dos monitores de material condutor e dielétrico.

Confirmado não haver o gradiente de atividade média do radônio, poderia-se então realizar o segundo experimento (exposição), com o objetivo de análise comparativa entre as eficiências geométricas dos diversos tipos de monitores disponíveis.

Para a detecção de radônio foram utilizados detectores plásticos CR-39, em formato quadrado de lados de comprimento 1,5cm, estes fixados internamente aos monitores NRPB/SSI.

Na figura 9 pode-se observar as posições de cada monitor NRPB/SSI, designados como, T_i , onde $i = 1, 2, \dots, 6$. Os monitores T1 à T5 são feitos de material condutor, enquanto que o monitor T6 é feito de material isolante.

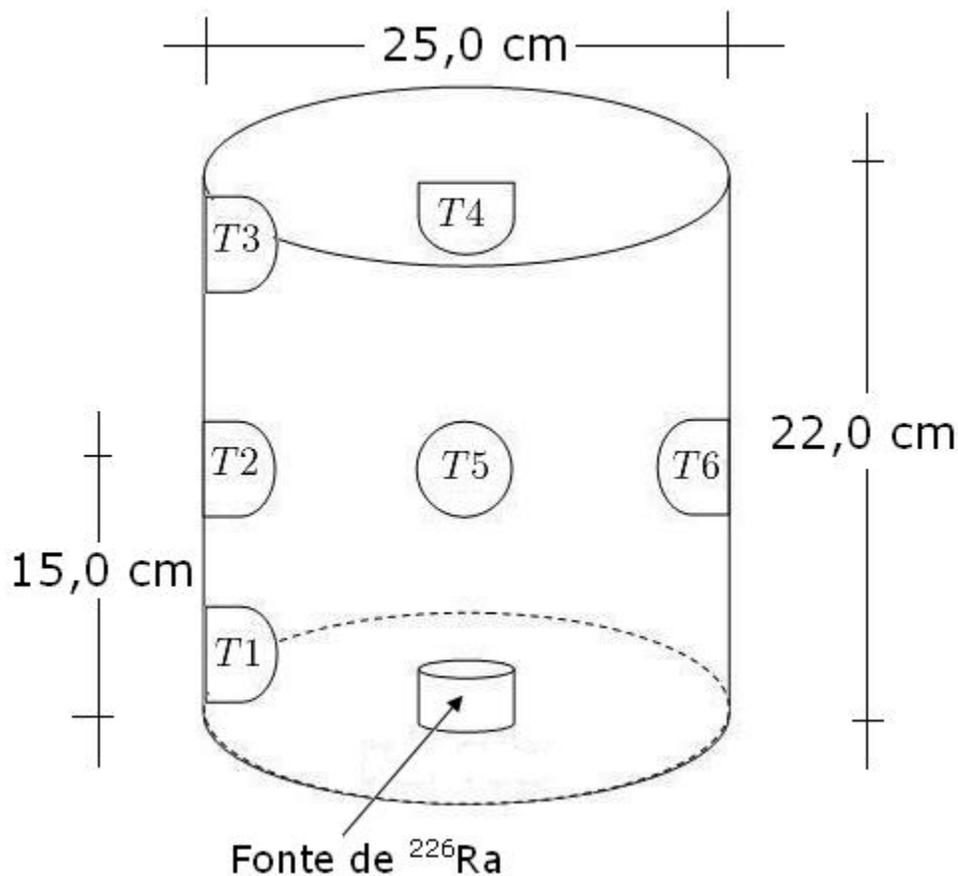


Figura 9: Esquema da montagem da primeira exposição.

4.3 Experimento II: Comparação de respostas em ambiente sem ventilação e temperatura controlada

O objetivo deste experimento foi comparar respostas das monitorações em ambiente sem ventilação e com temperatura controlada. Teve duração de 41 dias.

Foram instalados seis monitores, cada um com um detector CR-39 interno, de dimensões $1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$. Todos à mesma altura, à $15,0 \text{ cm}$ do piso da campânula. Sendo destes, um do tipo NRPB de plástico condutor, 4 monitores do tipo placas de alumínio (sem o-ring), 1 do tipo placas de acrílico (com as laterais totalmente abertas). Os monitores de alumínio foram fixados de maneira que seus furos ficassem voltados para cima.

Dos quatro monitores de alumínio, três apresentavam o mesmo diâmetro de $7,8 \text{ cm}$, um deles com o furo descoberto (detector II-1), outro com o furo coberto (detector II-2) e outro com o furo descoberto (detector II-3), mas com ranhuras na parte rosqueada. O quarto monitor de alumínio tinha o diâmetro maior, de $12,2 \text{ cm}$, e o furo descoberto (detector II-4). O monitor NRPB continha o detector II-5, e o monitor de acrílico com o detector II-6.

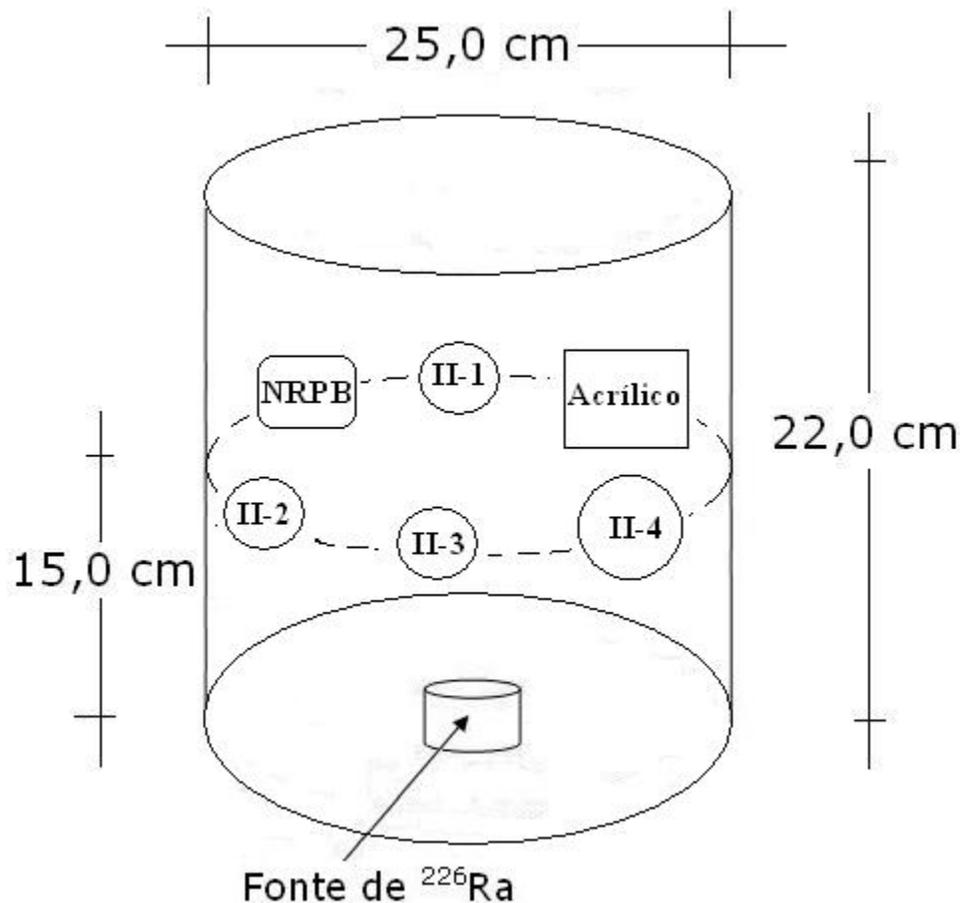


Figura 10: Esquema da montagem da segunda exposição.

4.4 Experimento III: Comparação de respostas em exposição mista

A exposição na campânula foi semelhante à do experimento II, e durou 41 dias. Neste caso, todos os monitores foram fixados no piso da campânula. Depois da exposição na campânula, os monitores ficaram à temperatura e ventilação ambiente durante aproximadamente 4 meses.

Foram instalados seis monitores, cada um com um detector CR-39 interno, de dimensões $1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$. Todos à mesma altura, no piso da campânula. Sendo destes, um do tipo NRPB de plástico condutor, 4 monitores do tipo placas de alumínio (sem o-ring), 1 do tipo placas de acrílico (com as laterais totalmente abertas). Os monitores de alumínio foram fixados de maneira que seus furos ficassem voltados para cima.

Dos quatro monitores de alumínio, três deles apresentavam o mesmo diâmetro de 7,8 cm, sendo um destes com o furo descoberto (detector III-1), outro com o furo coberto (detector III-2) e outro com o furo descoberto (detector III-3), mas com ranhuras na parte rosqueada. O quarto monitor de alumínio tinha o diâmetro maior, de 12,2 cm, e o furo descoberto (detector III-4). O monitor NRPB com o detector III-5, e o monitor de acrílico com o detector III-6.

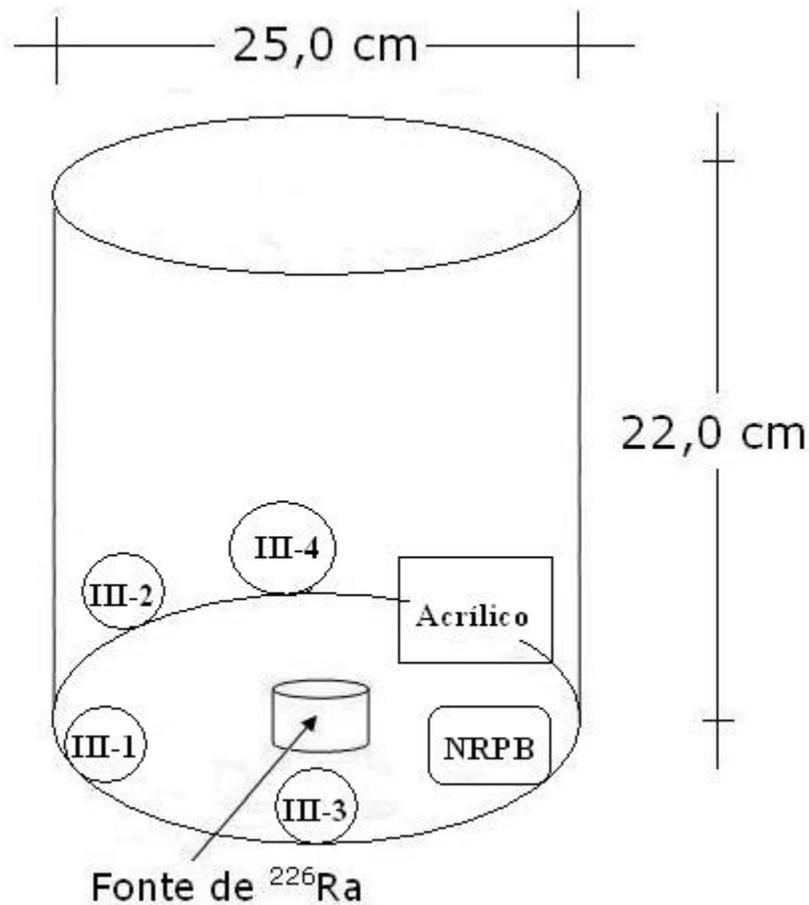


Figura 11: Esquema da montagem da terceira exposição.

5 Resultados e discussão

5.1 Experimento 1

Tabela 5: Valores para os detectores T1 à T6. A primeira coluna é a numeração dos detectores, a segunda coluna é o número total de campos analisados (n^2), a terceira coluna é o número total de traços contados (N), a quarta coluna dá os valores do erro poisson (σ_{Poisson}), a quinta coluna dá os valores do erro experimental (σ_{exp}), a sexta coluna dá os valores de densidade superficial de traços, e respectivo erro ($\rho \pm \sigma_\rho$), a sétima coluna dá os valores de atividade média e respectivo erro ($A_0 \pm \sigma_{A_0}$).

| | n | N | σ_{Poisson} % | σ_{exp} % | $\rho \pm \sigma_\rho$ (10^4) cm^{-2} | $A_0 \pm \sigma_{A_0}$ (kbq m^{-3}) |
|----|-----|------|--------------------------------|----------------------------|---|---|
| T1 | 400 | 2275 | 2,10 | 2,41 | $1,422 \pm 0,034$ | $5,06 \pm 0,38$ |
| T2 | 400 | 2714 | 1,92 | 2,52 | $1,696 \pm 0,042$ | $6,03 \pm 0,45$ |
| T3 | 400 | 1779 | 2,37 | 2,52 | $1,112 \pm 0,028$ | $3,96 \pm 0,30$ |
| T4 | 400 | 2178 | 2,14 | 2,80 | $1,361 \pm 0,038$ | $4,84 \pm 0,36$ |
| T5 | 400 | 2597 | 1,96 | 2,66 | $1,623 \pm 0,044$ | $5,77 \pm 0,44$ |
| T6 | 400 | 2576 | 1,97 | 2,26 | $1,610 \pm 0,037$ | $5,73 \pm 0,43$ |

Na tabela 5 pode ser visto que os monitores T3 e T4 que encontravam-se no teto da campânula, apresentaram atividades menores que os outros monitores.

Os monitores T1, T2, T5 e T6 apresentaram resultados estatisticamente compatíveis. O monitor T6 de material dielétrico apresentou resultado semelhante aos outros monitores, expostos na mesma altura que ele, dando evidência que o tipo de material não interfere na resposta dos monitores no caso de ambientes sem ventilação.

Um dos possíveis motivos do gradiente de atividades observado pode estar relacionado com o fato do Rn-222 entrar em equilíbrio de atividade com o Ra-226 apenas depois de aproximadamente 20 dias. A fonte é um filme fino de Ra-226, pode-se então supor que todo Rn-222 presente na campânula foi formado depois de iniciada a exposição. Como na primeira metade da exposição o Rn-222 e o Ra-226 não estavam em equilíbrio de atividades, haveria fluxo de Rn-222 da base para o teto da campânula.

Deve ser notado que no caso das seis atividades mostradas na tabela 5, o valor da média aritmética é:

$$\bar{A}_0 = (5,12 \pm 0,18) \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3} \quad (5.1)$$

Tomando este valor como média, o teste chi-quadrado diz que:

$$\begin{aligned}\chi^2 &= 25,3 \text{ para } \nu = 5 \\ \chi_\nu^2 &= 5,1 \rightarrow P_{\chi_\nu^2} < 0,01\end{aligned}\quad (5.2)$$

Onde χ_ν^2 é o χ^2 reduzido, ν é o número de graus de liberdade e $P_{\chi_\nu^2}$ a probabilidade do χ^2 . O resultado acima sugere que as seis atividades mostradas na tabela 5 não devem ser tomadas como medidas de uma única média. Já no caso dos monitores T1, T2, T5 e T6, o teste χ^2 aceita como resultados referentes a uma única média.

5.2 Experimento 2

Tabela 6: Valores para os detectores II-1 à II-6. A primeira coluna é a numeração dos detectores, a segunda coluna é o número total de campos analisados (n^2), a terceira coluna é o número total de traços contados (N), a quarta coluna dá os valores do erro poisson (σ_{Poisson}), a quinta coluna dá os valores do erro experimental (σ_{exp}), a sexta coluna dá os valores de densidade superficial de traços, e respectivo erro ($\rho \pm \sigma_\rho$), a sétima coluna dá os valores de atividade média e respectivo erro ($A_0 \pm \sigma_{A_0}$).

| | n | N | σ_{Poisson} % | σ_{exp} % | $\rho \pm \sigma_\rho$ (10^4) cm^{-2} | $A_0 \pm \sigma_{A_0}$ (kbq m^{-3}) |
|------|-----|------|--------------------------------|----------------------------|---|---|
| II-1 | 400 | 1006 | 3,2 | 3,75 | $6,29 \pm 0,20$ | $5,47 \pm 0,38$ ($\pm 7,0\%$) |
| II-2 | 392 | 867 | 3,4 | 2,78 | $5,42 \pm 0,18$ | $4,71 \pm 0,33$ ($\pm 7,1\%$) |
| II-3 | 400 | 879 | 3,4 | 2,70 | $5,50 \pm 0,18$ | $4,78 \pm 0,34$ ($\pm 7,1\%$) |
| II-4 | 397 | 987 | 3,2 | 2,74 | $6,17 \pm 0,20$ | $5,37 \pm 0,38$ ($\pm 7,0\%$) |
| II-5 | 398 | 2576 | 2,0 | 1,71 | $16,10 \pm 0,32$ | $5,71 \pm 0,42$ ($\pm 7,4\%$) |
| II-6 | 400 | 860 | 3,4 | 2,99 | $5,37 \pm 0,18$ | $4,68 \pm 0,33$ ($\pm 7,1\%$) |

As atividades de Rn-222 mostradas na tabela 6 são estatisticamente compatíveis entre si, dentro dos erros considerados. Neste caso:

$$\bar{A}_0 = (5,12 \pm 0,18) \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3} \quad (5.3)$$

Tomando este valor como média, o teste chi-quadrado diz que:

$$\begin{aligned}\chi^2 &= 7,5 \text{ para } \nu = 5 \\ \chi_\nu^2 &= 1,52 \rightarrow P_{\chi_\nu^2} = 0,20\end{aligned}\quad (5.4)$$

As respostas dos monitores com geometria de filme fino, são sistematicamente menores que a resposta do NRPB.

5.3 Experimento 3

Tabela 7: Valores para os detectores III-1 à III-6. A primeira coluna é a numeração dos detectores, a segunda coluna é o número total de campos analisados (n^2), a terceira coluna é o número total de traços contados (N), a quarta coluna dá os valores do erro poisson (σ_{Poisson}), a quinta coluna dá os valores do erro experimental (σ_{exp}), a sexta coluna dá os valores de densidade superficial de traços, e respectivo erro ($\rho \pm \sigma_{\rho}$), a sétima coluna dá os valores de atividade média e respectivo erro ($A_0 \pm \sigma_{A_0}$).

| | n | N | σ_{Poisson} % | σ_{exp} % | $\rho \pm \sigma_{\rho}$ (10^4) cm^{-2} | $A_0 \pm \sigma_{A_0}$ (kbq m^{-3}) |
|-------|-----|------|--------------------------------|----------------------------|---|---|
| III-1 | 400 | 1713 | 2,42 | 1,89 | $1,071 \pm 0,026$ | $9,31 \pm 0,62 (\pm 6,7\%)$ |
| III-2 | 392 | 1700 | 2,43 | 2,07 | $1,063 \pm 0,026$ | $9,24 \pm 0,62 (\pm 6,7\%)$ |
| III-3 | 400 | 1335 | 2,74 | 2,86 | $0,834 \pm 0,023$ | $7,26 \pm 0,49 (\pm 6,8\%)$ |
| III-4 | 397 | 1638 | 2,47 | 2,42 | $1,024 \pm 0,025$ | $8,90 \pm 0,60 (\pm 6,7\%)$ |
| III-5 | 398 | 4833 | 1,44 | 1,32 | $30,200 \pm 0,043$ | $10,72 \pm 0,78 (\pm 7,2\%)$ |
| III-6 | 400 | 931 | 3,28 | 2,95 | $0,582 \pm 0,019$ | $5,06 \pm 0,35 (\pm 7,0\%)$ |

Na tabela 7 pode ser visto que a resposta do monitor III-6 difere da dos outros monitores. Foi observado que o CR-39 interno a este monitor apresentou ranhuras, sujeira de gordura, poeira, restos de ataque químico, etc. Optou-se por descartar este resultado da análise. Mesmo assim, os resultados dos outros monitores não são concordantes entre si. Tem-se:

$$\bar{A}_0 = (9,09 \pm 0,55) \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3} \quad (5.5)$$

Em relação ao teste chi-quadrado, tem-se que:

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 18,6 \text{ para } \nu = 4 \\ \chi^2_{\nu} &= 4,7 \rightarrow P_{\chi^2_{\nu}} = 0,001 \end{aligned} \quad (5.6)$$

Na tabela 7, pode-se ver que os resultados referentes aos monitores com geometria de filme fino são sistematicamente menores que os do NRPB.

Na tabela 8 estão mostradas as razões entre atividades fornecidas por monitores com geometria de filme fino e o monitor NRPB.

5.4 Comparação entre monitores de geometria de filme fino e NRPB

Nesta seção encontram-se os dados referentes à análise comparativa dos monitores de geometria de filme fino e NRPB. Foram colocados na tabela 8 os valores calculados para as razões de $A_0(\text{filme fino})/A(\text{NRPB})$

Tabela 8: Razão entre as atividades fornecidas por monitores com geometria de filme fino e o monitor NRPB/SSI.

| Monitor | $\frac{A_0(\text{filme fino})}{A_0(\text{NRPB/SSI})}$ Experimento II | $\frac{A_0(\text{filme fino})}{A_0(\text{NRPB/SSI})}$ Experimento III |
|---------|---|--|
| 1 | $0,958 \pm 0,098$ ($\pm 10,2\%$) | $0,868 \pm 0,085$ ($\pm 9,8\%$) |
| 2 | $0,825 \pm 0,085$ ($\pm 10,3\%$) | $0,862 \pm 0,084$ ($\pm 9,8\%$) |
| 3 | $0,837 \pm 0,086$ ($\pm 10,3\%$) | $0,677 \pm 0,067$ ($\pm 9,9\%$) |
| 4 | $0,940 \pm 0,096$ ($\pm 10,2\%$) | $0,830 \pm 0,081$ ($\pm 9,8\%$) |
| 5 | ----- ----- | ----- ----- |
| 6 | $0,820 \pm 0,084$ ($\pm 10,3\%$) | ----- ----- |

O valor médio das seis razões referentes ao experimento II é $0,876 \pm 0,034$ e para o experimento III é $0,809 \pm 0,045$. Estes dois valores são estatisticamente compatíveis.

Levando-se em conta os nove valores de $A_0(\text{filme fino})/A_0(\text{NRPB/SSI})$ tem-se um valor médio de $0,846 \pm 0,027$. Neste caso tem-se que:

$$\begin{aligned}\chi^2 &= 8,9 \text{ para } \nu = 8 \\ \chi^2_\nu &= 1,1 \rightarrow P_{\chi^2_\nu} = 0,35\end{aligned}\tag{5.7}$$

O que sugere que os nove valores são compatíveis entre si.

6 Conclusão

Diferentemente dos resultados obtidos utilizando-se as densidades de traços apresentados por [Neman, 2004] (exposições efetuadas em residências) [23], que indicavam que os monitores em geometria de filme fino fornecem atividades de Rn-222, em média 25% superior ao monitor NRPB/SSI, o presente trabalho, que foi realizado em condições controladas de laboratório (Experimentos II e III), indicou que eles fornecem atividades da ordem de 10% inferior. Este é um ponto importante e, portanto precisa ser mais bem embasado no futuro.

Também foi observado no presente trabalho, que nas condições observadas (sem ventilação e mistas), os monitores com geometria de filme fino respondem da mesma forma. Porém, para se evitar os efeitos de ventilação, talvez seja prudente se utilizar os monitores sem furo.

Outro resultado obtido diz respeito ao material utilizado no monitor NRPB/SSI. Em ambientes sem ventilação, o monitor confeccionado com material condutor responde da mesma forma que aquele confeccionado com material dielétrico. Isso provavelmente se deve ao fato de que em tais ambientes, depois de certo tempo, os aerossóis já não existem, pois estão depositados em suas paredes.

A Matrizes de mapeamento dos detectores CR-39

Tabela 9: Tabela de mapeamento do detector T1, interno CR-39 exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 6 | 11 | 11 | 6 | 4 | 3 | 10 | 5 | 7 | 5 | 3 | 7 | 6 | 3 | 2 | 4 | 7 | 2 | 3 | 4 |
| 4 | 5 | 8 | 9 | 5 | 4 | 4 | 2 | 5 | 7 | 7 | 7 | 3 | 8 | 5 | 2 | 6 | 10 | 2 | 7 |
| 5 | 9 | 2 | 5 | 4 | 5 | 4 | 10 | 4 | 6 | 4 | 3 | 7 | 4 | 6 | 9 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | 7 | 8 | 4 | 9 | 12 | 3 | 4 | 4 | 6 | 6 | 4 | 7 | 1 | 6 | 5 | 7 | 5 | 4 | 8 |
| 4 | 8 | 6 | 5 | 7 | 4 | 8 | 7 | 7 | 6 | 2 | 5 | 2 | 13 | 8 | 6 | 14 | 11 | 7 | 4 |
| 0 | 2 | 4 | 5 | 5 | 9 | 7 | 2 | 8 | 5 | 4 | 7 | 2 | 5 | 6 | 8 | 5 | 6 | 7 | 4 |
| 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 5 | 4 | 12 | 7 | 9 | 10 | 6 | 2 | 5 | 5 | 3 | 6 | 7 | 12 | 8 |
| 2 | 1 | 2 | 5 | 9 | 8 | 9 | 4 | 11 | 6 | 6 | 5 | 4 | 11 | 7 | 5 | 7 | 4 | 7 | 5 |
| 2 | 2 | 5 | 3 | 2 | 2 | 8 | 5 | 3 | 6 | 4 | 10 | 9 | 10 | 6 | 7 | 5 | 8 | 4 | 2 |
| 6 | 9 | 2 | 0 | 4 | 7 | 10 | 1 | 8 | 9 | 8 | 8 | 5 | 6 | 6 | 5 | 2 | 8 | 9 | 3 |
| 6 | 4 | 5 | 6 | 8 | 5 | 7 | 4 | 5 | 5 | 8 | 7 | 8 | 11 | 10 | 12 | 7 | 3 | 1 | 0 |
| 1 | 5 | 9 | 5 | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 4 | 3 | 8 | 3 | 7 | 11 | 4 | 8 | 9 |
| 4 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 9 | 4 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 | 11 | 7 | 10 | 13 | 8 |
| 2 | 5 | 9 | 4 | 10 | 6 | 10 | 4 | 2 | 15 | 1 | 4 | 4 | 5 | 7 | 0 | 4 | 4 | 7 | 9 |
| 12 | 8 | 6 | 4 | 5 | 6 | 8 | 5 | 6 | 8 | 6 | 10 | 6 | 9 | 6 | 7 | 9 | 12 | 4 | 2 |
| 6 | 6 | 4 | 3 | 4 | 4 | 6 | 8 | 6 | 7 | 5 | 8 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 6 | 9 | 10 |
| 3 | 5 | 4 | 10 | 7 | 5 | 6 | 5 | 4 | 9 | 5 | 6 | 5 | 5 | 0 | 4 | 7 | 12 | 4 | 6 |
| 6 | 6 | 6 | 9 | 9 | 4 | 4 | 5 | 7 | 1 | 9 | 2 | 5 | 2 | 7 | 6 | 2 | 7 | 5 | 4 |
| 11 | 5 | 5 | 6 | 8 | 6 | 5 | 2 | 5 | 5 | 8 | 6 | 9 | 5 | 4 | 2 | 8 | 9 | 5 | 5 |
| 4 | 6 | 6 | 2 | 6 | 2 | 4 | 4 | 6 | 7 | 7 | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 | 6 | 11 | 13 | 8 |

Tabela 10: Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T2, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 5 | 9 | 4 | 8 | 4 | 3 | 6 | 5 | 3 | 8 | 4 | 2 | 3 | 7 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 18 |
| 8 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 4 | 5 | 5 | 7 | 3 | 0 | 22 | 24 |
| 4 | 2 | 10 | 8 | 3 | 7 | 5 | 1 | 4 | 7 | 5 | 5 | 3 | 4 | 0 | 1 | 3 | 0 | 4 | 43 |
| 0 | 2 | 4 | 6 | 3 | 6 | 11 | 5 | 5 | 7 | 7 | 5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 13 | 3 | 5 | 1 |
| 2 | 8 | 6 | 5 | 2 | 10 | 1 | 5 | 2 | 5 | 5 | 6 | 7 | 4 | 5 | 6 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| 8 | 9 | 2 | 3 | 6 | 9 | 7 | 4 | 3 | 5 | 9 | 1 | 14 | 6 | 12 | 11 | 6 | 6 | 4 | 2 |
| 1 | 7 | 10 | 4 | 9 | 6 | 6 | 11 | 5 | 8 | 7 | 6 | 4 | 12 | 4 | 5 | 12 | 6 | 5 | 5 |
| 7 | 5 | 9 | 8 | 15 | 4 | 9 | 4 | 4 | 11 | 8 | 4 | 4 | 3 | 8 | 4 | 3 | 12 | 9 | 5 |
| 6 | 6 | 15 | 9 | 9 | 0 | 10 | 5 | 9 | 7 | 5 | 5 | 16 | 3 | 11 | 15 | 5 | 4 | 10 | 8 |
| 10 | 9 | 6 | 9 | 10 | 6 | 7 | 7 | 7 | 10 | 13 | 14 | 17 | 11 | 9 | 5 | 8 | 5 | 8 | 8 |
| 7 | 11 | 4 | 10 | 10 | 5 | 9 | 9 | 14 | 12 | 13 | 16 | 12 | 9 | 10 | 7 | 10 | 13 | 17 | 11 |
| 8 | 8 | 7 | 11 | 8 | 11 | 10 | 7 | 9 | 15 | 13 | 10 | 12 | 9 | 8 | 9 | 7 | 15 | 11 | 6 |
| 5 | 5 | 3 | 5 | 4 | 6 | 10 | 4 | 14 | 10 | 12 | 13 | 14 | 9 | 15 | 11 | 11 | 8 | 5 | 16 |
| 11 | 9 | 9 | 7 | 11 | 8 | 8 | 12 | 5 | 6 | 11 | 12 | 12 | 8 | 7 | 12 | 13 | 7 | 11 | 5 |
| 6 | 9 | 4 | 6 | 6 | 6 | 7 | 12 | 13 | 10 | 19 | 11 | 6 | 6 | 5 | 7 | 8 | 3 | 9 | 7 |
| 8 | 6 | 3 | 9 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 4 | 7 | 8 | 7 | 11 | 9 | 8 | 4 | 3 | 6 | 5 |
| 5 | 4 | 7 | 6 | 9 | 4 | 4 | 3 | 9 | 6 | 4 | 8 | 4 | 8 | 6 | 4 | 7 | 12 | 10 | 11 |
| 9 | 7 | 9 | 5 | 4 | 6 | 6 | 8 | 10 | 6 | 7 | 8 | 4 | 11 | 9 | 8 | 7 | 6 | 11 | 3 |
| 38 | 18 | 7 | 7 | 8 | 7 | 4 | 7 | 3 | 1 | 2 | 2 | 6 | 9 | 3 | 11 | 5 | 0 | 9 | 10 |
| 83 | 54 | 5 | 8 | 8 | 4 | 9 | 6 | 8 | 7 | 4 | 8 | 5 | 11 | 6 | 8 | 6 | 7 | 12 | 3 |

Tabela 11: Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T3, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|---|----|---|---|---|----|----|----|----|---|---|---|---|---|----|---|
| 9 | 3 | 3 | 7 | 6 | 11 | 4 | 2 | 5 | 8 | 3 | 7 | 1 | 7 | 6 | 3 | 3 | 1 | 6 | 3 |
| 8 | 7 | 3 | 7 | 2 | 4 | 7 | 3 | 3 | 5 | 9 | 6 | 5 | 1 | 2 | 5 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| 9 | 6 | 2 | 6 | 4 | 6 | 5 | 8 | 5 | 1 | 5 | 6 | 6 | 4 | 3 | 4 | 7 | 4 | 4 | 3 |
| 4 | 6 | 4 | 7 | 7 | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 6 | 3 | 8 | 5 |
| 3 | 4 | 4 | 7 | 9 | 5 | 8 | 2 | 5 | 2 | 4 | 5 | 7 | 1 | 4 | 8 | 2 | 3 | 11 | 6 |
| 4 | 5 | 3 | 1 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 3 | 2 | 1 | 3 | 5 | 5 | 2 | 3 | 6 | 2 | 4 |
| 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 6 | 9 | 4 | 6 | 7 | 7 | 8 | 2 | 1 | 7 | 2 | 7 | 3 | 5 | 4 |
| 6 | 8 | 7 | 10 | 3 | 5 | 6 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 | 4 | 2 | 5 | 2 |
| 3 | 3 | 9 | 3 | 6 | 6 | 8 | 4 | 1 | 9 | 8 | 3 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 4 | 9 | 2 |
| 7 | 5 | 7 | 4 | 4 | 5 | 7 | 4 | 1 | 7 | 3 | 2 | 7 | 6 | 5 | 8 | 4 | 7 | 10 | 7 |
| 4 | 7 | 6 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 2 | 10 | 4 | 3 | 6 | 7 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 |
| 7 | 4 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 6 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 6 | 2 | 5 | 9 | 9 | 4 | 4 | 4 | 7 | 3 |
| 1 | 4 | 5 | 5 | 2 | 8 | 5 | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 3 | 6 | 6 | 4 | 6 | 9 | 1 | 5 |
| 5 | 7 | 5 | 4 | 6 | 3 | 8 | 5 | 2 | 6 | 3 | 11 | 12 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 |
| 4 | 0 | 5 | 7 | 1 | 1 | 2 | 7 | 4 | 6 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 7 |
| 6 | 8 | 1 | 5 | 4 | 7 | 5 | 4 | 2 | 1 | 4 | 7 | 4 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 | 6 | 2 |
| 4 | 1 | 4 | 1 | 0 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 9 | 5 | 3 | 3 | 6 | 2 | 4 | 7 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 | 3 | 5 | 11 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 0 | 3 |
| 7 | 6 | 5 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 7 | 4 | 1 | 3 | 4 | 6 | 4 | 3 | 2 | 4 | 7 |

Tabela 12: Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T4, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|
| 6 | 4 | 10 | 3 | 3 | 5 | 1 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 6 | 5 | 3 | 6 | 55 | 65 | 23 |
| 7 | 5 | 6 | 0 | 1 | 4 | 3 | 0 | 13 | 5 | 8 | 10 | 2 | 1 | 0 | 19 | 7 | 2 | 6 | 15 |
| 2 | 10 | 7 | 8 | 7 | 2 | 8 | 4 | 4 | 6 | 9 | 5 | 2 | 7 | 5 | 8 | 4 | 9 | 7 | 8 |
| 8 | 10 | 3 | 5 | 9 | 5 | 13 | 6 | 7 | 8 | 2 | 9 | 10 | 3 | 4 | 8 | 6 | 3 | 1 | 8 |
| 0 | 2 | 8 | 7 | 4 | 6 | 11 | 3 | 6 | 7 | 11 | 5 | 8 | 8 | 9 | 7 | 5 | 3 | 7 | 5 |
| 2 | 3 | 1 | 0 | 5 | 12 | 4 | 14 | 8 | 7 | 8 | 5 | 7 | 5 | 7 | 5 | 10 | 7 | 12 | 1 |
| 7 | 6 | 6 | 15 | 4 | 6 | 8 | 0 | 2 | 8 | 11 | 5 | 0 | 8 | 9 | 3 | 5 | 11 | 7 | 9 |
| 3 | 5 | 7 | 5 | 6 | 6 | 5 | 9 | 3 | 6 | 11 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 | 3 | 3 | 6 | 4 |
| 9 | 10 | 4 | 7 | 11 | 3 | 7 | 7 | 11 | 8 | 12 | 5 | 5 | 4 | 6 | 5 | 8 | 8 | 8 | 6 |
| 1 | 5 | 4 | 6 | 8 | 4 | 4 | 6 | 8 | 4 | 6 | 9 | 12 | 9 | 11 | 8 | 7 | 9 | 11 | 6 |
| 4 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 9 | 5 | 8 | 6 | 7 | 13 | 8 | 9 | 7 | 10 | 5 | 5 | 9 | 5 |
| 3 | 4 | 3 | 7 | 5 | 3 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 6 | 5 | 7 | 6 | 7 | 6 | 11 | 7 |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 7 | 8 | 4 | 3 | 0 | 6 | 0 | 6 | 10 | 4 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 6 |
| 2 | 4 | 5 | 5 | 10 | 2 | 7 | 5 | 6 | 7 | 7 | 6 | 8 | 5 | 7 | 3 | 4 | 5 | 0 | 6 |
| 5 | 2 | 5 | 6 | 7 | 4 | 2 | 2 | 6 | 3 | 0 | 5 | 4 | 3 | 0 | 2 | 11 | 4 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 5 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 7 | 10 | 7 | 4 | 8 | 6 | 5 | 3 | 5 | 4 | 8 | 4 |
| 7 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 2 | 4 | 1 | 13 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 6 | 5 | 9 |
| 5 | 8 | 6 | 4 | 3 | 6 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 | 6 | 2 | 7 | 5 | 10 | 1 | 14 | 0 | 5 |
| 2 | 3 | 2 | 0 | 6 | 3 | 4 | 4 | 7 | 3 | 7 | 4 | 6 | 5 | 2 | 6 | 9 | 4 | 7 | 3 |
| 6 | 7 | 8 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 | 4 | 5 | 12 | 8 | 4 | 0 | 1 | 0 | 2 | 7 | 4 | 4 |

Tabela 13: Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T5, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 5 | 4 | 8 | 6 | 4 | 2 | 5 | 9 | 2 | 0 | 4 | 3 | 2 | 0 | 1 | 4 | 5 | 8 | 7 | 34 |
| 5 | 4 | 4 | 8 | 5 | 2 | 9 | 9 | 4 | 7 | 5 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 | 5 | 4 | 3 | 35 |
| 3 | 6 | 5 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 5 | 2 | 6 | 3 | 3 | 9 | 8 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | 7 | 3 | 3 | 6 | 9 | 6 | 3 | 4 | 1 | 6 | 8 | 8 | 4 | 0 | 2 | 2 | 5 | 2 | 1 |
| 5 | 9 | 5 | 4 | 8 | 3 | 10 | 7 | 7 | 5 | 6 | 0 | 8 | 2 | 9 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | 6 | 10 | 3 | 4 | 8 | 7 | 2 | 3 | 7 | 6 | 4 | 6 | 2 | 2 | 5 | 9 | 8 | 5 | 5 |
| 6 | 7 | 6 | 9 | 3 | 7 | 5 | 7 | 4 | 7 | 5 | 8 | 6 | 5 | 7 | 15 | 8 | 6 | 0 | 14 |
| 10 | 10 | 13 | 9 | 6 | 7 | 6 | 4 | 6 | 10 | 5 | 1 | 0 | 5 | 11 | 9 | 6 | 6 | 11 | 2 |
| 6 | 8 | 6 | 5 | 8 | 9 | 14 | 5 | 4 | 1 | 8 | 9 | 9 | 14 | 18 | 10 | 8 | 5 | 8 | 11 |
| 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 6 | 6 | 5 | 16 | 9 | 7 | 9 | 7 | 10 | 7 | 9 | 6 | 8 | 12 |
| 8 | 7 | 9 | 5 | 8 | 5 | 9 | 9 | 10 | 10 | 6 | 13 | 11 | 13 | 10 | 8 | 13 | 9 | 4 | 7 |
| 10 | 9 | 5 | 6 | 6 | 9 | 13 | 15 | 11 | 8 | 4 | 16 | 9 | 12 | 3 | 15 | 13 | 9 | 9 | 8 |
| 5 | 6 | 13 | 8 | 5 | 6 | 4 | 10 | 11 | 7 | 4 | 16 | 15 | 21 | 7 | 13 | 9 | 6 | 8 | 4 |
| 3 | 4 | 9 | 3 | 4 | 7 | 5 | 11 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 6 | 3 | 6 | 4 | 8 | 10 | 5 |
| 8 | 5 | 6 | 3 | 6 | 8 | 5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 11 | 9 | 3 | 16 | 13 | 7 | 15 | 13 | 7 |
| 2 | 1 | 3 | 5 | 4 | 9 | 8 | 9 | 7 | 6 | 9 | 13 | 2 | 11 | 9 | 6 | 7 | 17 | 8 | 2 |
| 4 | 4 | 6 | 5 | 4 | 6 | 4 | 7 | 9 | 2 | 7 | 9 | 6 | 8 | 10 | 5 | 6 | 8 | 5 | 10 |
| 5 | 5 | 3 | 7 | 9 | 6 | 4 | 3 | 11 | 2 | 4 | 7 | 6 | 8 | 9 | 9 | 5 | 7 | 10 | 13 |
| 1 | 6 | 5 | 7 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 8 | 6 | 0 | 6 | 11 | 6 | 6 | 4 | 9 | 7 | 9 |
| 8 | 12 | 5 | 7 | 9 | 6 | 10 | 4 | 3 | 7 | 7 | 4 | 2 | 8 | 7 | 10 | 7 | 6 | 8 | 5 |

Tabela 14: Tabela de mapeamento do detector interno CR-39 T6, exposto no primeiro experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7 | 7 | 3 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 8 | 6 | 5 | 7 | 6 | 4 | 3 | 7 | 6 | 6 | 3 | 4 |
| 4 | 5 | 2 | 3 | 0 | 6 | 4 | 5 | 8 | 4 | 5 | 5 | 4 | 8 | 6 | 5 | 4 | 6 | 8 | 5 |
| 5 | 4 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 3 | 4 | 6 | 5 | 3 | 9 | 7 | 7 | 4 | 5 | 12 | 5 |
| 5 | 4 | 2 | 7 | 4 | 4 | 10 | 4 | 3 | 5 | 15 | 7 | 7 | 7 | 17 | 8 | 8 | 5 | 11 | 10 |
| 6 | 14 | 2 | 6 | 5 | 6 | 7 | 15 | 7 | 9 | 14 | 8 | 8 | 11 | 6 | 9 | 7 | 9 | 13 | 15 |
| 7 | 10 | 5 | 3 | 3 | 7 | 4 | 10 | 9 | 8 | 7 | 11 | 10 | 14 | 7 | 8 | 10 | 10 | 2 | 8 |
| 5 | 8 | 7 | 8 | 7 | 10 | 3 | 14 | 6 | 6 | 5 | 11 | 6 | 12 | 5 | 5 | 8 | 5 | 5 | 10 |
| 8 | 5 | 6 | 5 | 11 | 5 | 5 | 6 | 7 | 11 | 8 | 19 | 15 | 8 | 2 | 9 | 9 | 5 | 3 | 2 |
| 7 | 2 | 3 | 6 | 5 | 8 | 11 | 0 | 11 | 10 | 6 | 11 | 11 | 7 | 15 | 6 | 7 | 14 | 11 | 6 |
| 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 10 | 3 | 7 | 6 | 9 | 11 | 11 | 4 | 4 | 6 | 8 | 11 | 5 | 4 |
| 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 4 | 6 | 4 | 6 | 7 | 6 | 6 | 4 | 5 | 8 | 5 | 3 | 3 | 2 | 5 |
| 6 | 3 | 5 | 9 | 2 | 6 | 6 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | 4 | 9 | 9 | 8 | 5 | 4 | 12 | 11 |
| 5 | 9 | 6 | 7 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7 | 9 | 4 | 6 | 7 | 5 | 10 | 6 | 2 | 7 | 8 | 1 |
| 3 | 4 | 6 | 5 | 2 | 7 | 6 | 7 | 3 | 5 | 9 | 7 | 7 | 7 | 4 | 8 | 6 | 9 | 3 | 9 |
| 7 | 4 | 6 | 7 | 3 | 5 | 1 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 11 | 10 | 9 | 9 | 12 | 2 | 4 |
| 4 | 5 | 5 | 9 | 6 | 8 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 9 | 11 | 7 | 9 | 11 | 11 | 10 | 6 | 4 |
| 4 | 2 | 2 | 7 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 | 7 | 7 | 5 | 6 | 5 | 12 | 7 | 5 | 4 | 8 | 6 |
| 6 | 5 | 9 | 5 | 4 | 2 | 3 | 2 | 5 | 8 | 4 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 9 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 8 | 10 | 11 | 1 | 8 | 10 | 4 | 7 | 5 | 10 | 11 | 6 |
| 11 | 6 | 3 | 9 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 8 | 6 | 9 | 9 | 7 | 3 | 3 | 7 | 7 | 3 |

Tabela 15: Tabela de mapeamento do detector interno II-1, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|
| 3 | 2 | 5 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 4 | 4 | 3 | 6 | 7 | 11 | 8 |
| 6 | 4 | 5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 5 | 5 | 6 | 4 | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 6 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 7 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 3 |
| 3 | 8 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 6 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| 5 | 4 | 6 | 5 | 4 | 6 | 5 | 7 | 4 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 7 | 8 | 6 | 5 | 4 | 5 | 9 | 5 | 6 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 6 | 5 | 4 | 4 | 6 |
| 3 | 6 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 6 | 6 | 5 | 6 | 4 | 3 | 5 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| 6 | 4 | 5 | 5 | 2 | 6 | 5 | 4 | 3 | 4 | 6 | 3 | 5 | 4 | 6 | 5 | 3 | 6 | 6 | 2 |
| 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 5 | 2 | 6 | 5 | 0 | 1 | 3 | 2 | 7 | 6 |
| 3 | 5 | 6 | 5 | 6 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 11 | 5 | 4 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 8 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 3 |
| 3 | 4 | 8 | 6 | 5 | 4 | 4 | 7 | 6 | 2 | 3 | 5 | 7 | 5 | 6 | 5 | 4 | 4 | 7 | 9 |
| 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 7 | 5 | 4 |
| 2 | 4 | 5 | 5 | 4 | 6 | 3 | 4 | 6 | 4 | 5 | 6 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 6 | 6 | 9 | 5 | 6 | 4 | 5 | 2 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 7 | 6 | 4 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 6 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 4 | 8 | 4 | 5 | 5 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 5 | 5 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 8 | 6 | 3 | 5 | 4 | 6 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 7 |
| 5 | 5 | 6 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 6 | 3 | 2 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| 0 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 8 | 5 | 4 | 6 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |

Tabela 16: Tabela de mapeamento do detector interno II-2, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 8 | 6 | 4 | 10 | 4 | 5 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 9 | 5 | 4 | 5 | 6 |
| 6 | 6 | 0 | 7 | 2 | 4 | 3 | 4 | 7 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 3 | 6 | 5 | 2 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 6 | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 2 | 2 | 6 | 3 | 2 |
| 4 | 6 | 6 | 2 | 5 | 3 | 9 | 10 | 2 | 7 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 6 | 5 | 4 | 5 | 3 |
| 6 | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 | 6 | 4 | 3 | 5 | 8 | 3 | 5 | 4 | 6 | 4 | 2 | 4 | 6 | 5 |
| 5 | 3 | 7 | 5 | 6 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| 4 | 7 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 4 | 5 | 7 | 6 | 4 | 6 | 2 | 3 | 5 | 5 | 1 | 3 | 6 |
| 3 | 2 | 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 4 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 8 | 5 | 4 | 3 | 6 | 7 | 5 |
| 6 | 3 | 4 | 3 | 2 | 6 | 3 | 8 | 5 | 5 | 3 | 2 | 5 | 5 | 7 | 3 | 5 | 4 | 1 | 7 |
| 7 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 2 | 8 | 3 | 4 |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 0 | 5 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 5 | 4 | 2 | 7 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| 6 | 5 | 2 | 8 | 2 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 2 | 5 | 2 | 2 | 7 | 9 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| 4 | 3 | 7 | 3 | 6 | 5 | 2 | 4 | 5 | 6 | 4 | 3 | 7 | 2 | 1 | 3 | 6 | 3 | 4 | 4 |
| 5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 6 | 3 | 3 | 3 | 7 | 7 | 2 | 2 | 3 | 4 | 7 | 2 | 2 | 6 | 2 |
| 6 | 2 | 5 | 3 | 7 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 8 | 6 | 4 | 4 | 3 | 6 |
| 8 | 3 | 5 | 0 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 6 | 4 | 5 | 4 | 6 | 6 | 7 | 4 |
| 1 | 6 | 3 | 4 | 2 | 5 | 6 | 2 | 7 | 6 | 2 | 4 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 3 | 7 | 4 |
| 2 | 5 | 3 | 4 | 7 | 2 | 5 | 5 | 4 | 6 | 4 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 6 | 5 | 4 | 4 | 1 | 6 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 2 | 4 | 5 | 7 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | 5 | 7 | 5 | 6 | 9 | 5 | 5 | 6 | 6 |

Tabela 17: Tabela de mapeamento do detector interno II-3, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 4 | 5 | 2 | 5 | 3 | 5 | 1 | 6 | 4 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 6 | 3 | 4 | 5 | 7 | 2 | 5 | 3 | 1 | 6 | 0 | 4 | 6 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| 4 | 8 | 9 | 5 | 8 | 1 | 7 | 4 | 3 | 0 | 6 | 5 | 3 | 4 | 7 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 4 | 8 | 9 | 2 | 3 | 6 | 2 | 0 | 3 | 2 | 3 | 3 | 7 | 5 | 6 | 4 | 2 | 2 | 7 | 4 |
| 6 | 5 | 3 | 4 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| 8 | 5 | 3 | 3 | 0 | 2 | 5 | 3 | 2 | 2 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 4 | 6 | 6 | 5 | 3 | 2 | 8 | 1 | 2 | 6 | 4 | 7 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 2 |
| 5 | 3 | 4 | 2 | 6 | 4 | 0 | 3 | 6 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 0 | 7 | 6 | 0 |
| 4 | 2 | 1 | 5 | 4 | 0 | 1 | 6 | 3 | 3 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 6 | 5 | 4 | 5 |
| 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 12 | 6 | 2 | 2 | 5 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 3 | 5 |
| 7 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 5 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 3 | 5 | 2 |
| 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 6 | 2 | 4 |
| 7 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 7 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 3 | 0 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 |
| 2 | 4 | 3 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 |
| 1 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 5 | 5 | 3 | 3 | 7 | 2 | 4 | 2 | 7 | 3 | 2 |
| 2 | 4 | 6 | 3 | 1 | 5 | 4 | 0 | 2 | 1 | 3 | 2 | 6 | 7 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 |
| 5 | 3 | 1 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 5 | 0 | 1 |
| 5 | 4 | 5 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 0 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 6 | 4 | 5 | 4 |
| 4 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 5 | 1 | 3 | 2 | 5 | 6 | 5 | 6 | 4 | 3 | 6 | 6 |

Tabela 18: Tabela de mapeamento do detector interno II-4, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 4 | 4 | 0 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 | 3 | 7 | 3 | 5 | 4 | 4 | 2 | 6 | 7 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| 5 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 6 | 2 | 6 | 5 | 6 | 3 | 8 | 6 | 4 | 6 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 8 | 3 | 3 | 0 | 5 | 4 | 3 | 7 | 1 | 7 | 4 | 5 | 2 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 2 | 5 |
| 2 | 4 | 3 | 0 | 5 | 6 | 4 | 2 | 7 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 6 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 5 | 6 | 6 | 5 | 3 | 2 | 5 | 4 | 1 | 3 | 6 | 5 | 7 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 4 | 0 | 2 | 4 | 6 | 9 | 2 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 6 | 3 | 1 | 4 | 7 | 4 | 3 |
| 5 | 4 | 5 | 6 | 2 | 4 | 1 | 5 | 2 | 5 | 3 | 5 | 4 | 2 | 0 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 |
| 6 | 4 | 5 | 6 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 11 | 4 | 4 | 0 | 5 | 1 | 3 | 9 | 4 | 4 |
| 3 | 8 | 7 | 4 | 2 | 5 | 3 | 3 | 6 | 6 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 7 | 5 | 4 | 5 |
| 3 | 9 | 8 | 3 | 6 | 3 | 2 | 4 | 0 | 3 | 3 | 4 | 2 | 7 | 1 | 7 | 5 | 2 | 5 | 5 |
| 14 | 10 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 5 | 6 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 6 | 5 | 7 | 4 | 4 |
| 3 | 5 | 7 | 6 | 6 | 7 | 0 | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 5 | 5 | 4 | 7 | 3 |
| 5 | 4 | 5 | 1 | 0 | 6 | 5 | 5 | 2 | 6 | 7 | 6 | 3 | 5 | 7 | 2 | 2 | 4 | 1 | 8 |
| 1 | 0 | 6 | 3 | 4 | 4 | 4 | 6 | 5 | 4 | 4 | 6 | 9 | 5 | 7 | 1 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 9 | 3 | 4 | 3 | 8 | 3 | 6 | 3 | 4 | 9 | 1 | 3 | 6 |
| 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 9 | 3 | 4 | 3 | 8 | 3 | 6 | 3 | 4 | 9 | 5 | 4 | 3 |
| 5 | 4 | 4 | 7 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 | 6 | 6 | 3 | 5 | 5 | 3 | 4 | 7 |

Tabela 19: Tabela de mapeamento do detector interno II-5, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 14 | 12 | 8 | 8 | 7 | 9 | 10 | 7 | 15 | 10 | 18 | 16 | 7 | 8 | 9 | 8 | 7 | 8 | 9 | 12 |
| 14 | 12 | 10 | 7 | 18 | 10 | 19 | 17 | 15 | 5 | 16 | 4 | 5 | 6 | 9 | 6 | 8 | 8 | 9 | 6 |
| 16 | 8 | 7 | 7 | 15 | 11 | 16 | 18 | 11 | 14 | 13 | 11 | 6 | 8 | 9 | 10 | 8 | 7 | 6 | 7 |
| 7 | 12 | 11 | 13 | 10 | 5 | 13 | 19 | 19 | 11 | 8 | 15 | 10 | 8 | 12 | 10 | 13 | 11 | 11 | 12 |
| 17 | 10 | 10 | 15 | 18 | 6 | 13 | 19 | 18 | 11 | 18 | 15 | 10 | 8 | 18 | 10 | 11 | 13 | 11 | 11 |
| 14 | 12 | 11 | 12 | 13 | 12 | 9 | 17 | 9 | 8 | 7 | 10 | 10 | 10 | 13 | 9 | 10 | 13 | 11 | 9 |
| 17 | 12 | 14 | 8 | 13 | 14 | 13 | 11 | 11 | 13 | 14 | 15 | 13 | 15 | 21 | 16 | 16 | 9 | 14 | 12 |
| 15 | 9 | 13 | 10 | 11 | 12 | 17 | 18 | 17 | 15 | 16 | 9 | 11 | 9 | 12 | 12 | 15 | 14 | 12 | 15 |
| 11 | 12 | 11 | 10 | 11 | 13 | 11 | 10 | 13 | 11 | 12 | 8 | 15 | 14 | 12 | 13 | 11 | 6 | 8 | 9 |
| 11 | 12 | 13 | 11 | 11 | 10 | 14 | 15 | 9 | 17 | 13 | 15 | 11 | 16 | 9 | 12 | 13 | 11 | 13 | 15 |
| 9 | 10 | 12 | 13 | 12 | 17 | 14 | 14 | 11 | 12 | 16 | 13 | 9 | 10 | 13 | 7 | 16 | 9 | 13 | 10 |
| 12 | 11 | 12 | 15 | 14 | 13 | 14 | 14 | 17 | 13 | 13 | 16 | 14 | 15 | 9 | 12 | 10 | 9 | 12 | 9 |
| 10 | 9 | 10 | 11 | 11 | 9 | 10 | 12 | 13 | 10 | 11 | 9 | 11 | 15 | 11 | 11 | 13 | 10 | 9 | 14 |
| 11 | 12 | 10 | 13 | 8 | 11 | 14 | 9 | 16 | 19 | 11 | 18 | 15 | 17 | 13 | 10 | 11 | 9 | 13 | 11 |
| 16 | 15 | 13 | 11 | 11 | 13 | 15 | 15 | 18 | 10 | 18 | 19 | 14 | 18 | 12 | 11 | 11 | 9 | 9 | 7 |
| 16 | 17 | 14 | 15 | 11 | 18 | 8 | 14 | 19 | 18 | 19 | 17 | 11 | 14 | 13 | 8 | 11 | 11 | 12 | 12 |
| 14 | 14 | 15 | 12 | 10 | 9 | 14 | 11 | 12 | 16 | 15 | 10 | 14 | 17 | 15 | 12 | 15 | 14 | 16 | 13 |
| 8 | 12 | 8 | 13 | 15 | 11 | 13 | 12 | 11 | 16 | 14 | 14 | 17 | 15 | 18 | 14 | 13 | 13 | 12 | 7 |
| 7 | 10 | 12 | 9 | 8 | 11 | 10 | 7 | 8 | 11 | 13 | 12 | 12 | 12 | 14 | 19 | 11 | 12 | 14 | 13 |
| 4 | 15 | 18 | 15 | 17 | 13 | 9 | 14 | 10 | 14 | 11 | 12 | 13 | 11 | 14 | 12 | 10 | 10 | 13 | 12 |

Tabela 20: Tabela de mapeamento do detector interno II-6, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 4 | 4 | 2 | 7 | 2 | 4 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 |
| 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 6 | 2 | 3 | 5 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| 3 | 2 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 5 | 1 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 |
| 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 0 | 0 | 2 |
| 1 | 1 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 4 | 2 | 4 | 5 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 14 | 0 | 0 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 6 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 |

Tabela 21: Tabela de mapeamento do detector interno III-1, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 2 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 |
| 3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 2 | 11 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 0 | 1 | 4 | 7 |
| 3 | 2 | 7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 4 |
| 1 | 10 | 5 | 5 | 7 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 4 | 5 | 5 | 4 | 11 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 12 | 10 | 5 | 4 | 8 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | 11 | 8 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 |
| 1 | 7 | 9 | 10 | 4 | 5 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 11 | 8 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | 6 | 7 | 8 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 2 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |

Tabela 22: Tabela de mapeamento do detector interno III-2, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 0 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 0 | 3 | 2 | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 6 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| 2 | 5 | 4 | 4 | 6 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 |
| 3 | 2 | 0 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 7 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 4 |
| 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 7 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 23: Tabela de mapeamento do detector interno III-3, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| 2 | 4 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 6 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 5 | 0 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 6 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 2 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 3 | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 2 | 7 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 5 | 6 | 0 | 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 |

Tabela 24: Tabela de mapeamento do detector interno III-4, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 4 | 3 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 6 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| 1 | 5 | 4 | 4 | 0 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | 3 | 2 | 3 | 6 | 5 | 1 | 1 | 0 | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 1 | 4 | 1 | 1 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 |
| 5 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 3 | 1 | 2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 7 | 5 | 6 | 0 | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 7 | 2 | 1 | 3 |
| 7 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 4 | 5 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 5 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 6 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 |
| 0 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 6 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 6 |
| 3 | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 |
| 2 | 3 | 2 | 6 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |

Tabela 25: Tabela de mapeamento do detector interno III-5, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 10 | 6 | 7 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 8 | 4 | 3 | 4 | 5 | 7 | 7 | 5 | 8 |
| 8 | 7 | 5 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 0 | 1 | 1 | 4 | 8 | 4 |
| 9 | 9 | 6 | 7 | 5 | 2 | 0 | 3 | 4 | 6 | 4 | 2 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 7 |
| 8 | 7 | 4 | 5 | 5 | 3 | 7 | 10 | 5 | 3 | 8 | 5 | 8 | 8 | 12 | 5 | 5 | 4 | 8 | 5 |
| 5 | 5 | 6 | 9 | 8 | 5 | 6 | 8 | 7 | 4 | 7 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 | 7 | 4 | 5 | 6 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 4 | 5 | 4 | 5 | 7 | 12 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 9 | 6 |
| 5 | 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 6 | 5 | 9 | 6 | 7 | 11 | 9 | 8 | 6 | 10 | 9 | 5 |
| 6 | 7 | 7 | 8 | 7 | 9 | 7 | 8 | 7 | 5 | 6 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 | 3 | 2 | 2 | 11 |
| 7 | 8 | 9 | 6 | 8 | 5 | 8 | 8 | 7 | 6 | 8 | 6 | 6 | 5 | 9 | 6 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 9 | 5 | 6 | 6 | 10 | 7 | 6 | 5 | 6 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 |
| 7 | 6 | 6 | 5 | 8 | 6 | 6 | 8 | 9 | 8 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 7 | 8 | 5 |
| 8 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 5 | 6 | 6 | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 7 |
| 7 | 6 | 8 | 10 | 12 | 9 | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6 | 9 |
| 6 | 8 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 6 | 6 | 8 | 6 | 6 | 7 | 6 | 5 | 8 | 9 | 13 | 12 | 10 |
| 7 | 9 | 10 | 11 | 10 | 12 | 10 | 9 | 10 | 9 | 8 | 9 | 9 | 7 | 9 | 13 | 12 | 10 | 9 | 10 |
| 6 | 8 | 7 | 9 | 10 | 8 | 9 | 9 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 | 9 | 10 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 |
| 7 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 6 | 8 | 8 | 9 | 8 | 7 | 10 | 10 | 11 | 10 | 9 | 9 |
| 6 | 5 | 7 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 9 | 8 | 7 | 7 | 8 | 9 | 9 | 10 | 9 | 8 | 10 |
| 6 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 5 | 6 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 5 | 5 | 4 | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6 | 4 | 3 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 |

Tabela 26: Tabela de mapeamento do detector interno III-6, exposto no segundo experimento, as entradas numeradas da tabela representam o número de traços contados em cada campo.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 5 | 7 | 6 | 5 |
| 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 4 | 3 | 3 | 1 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 5 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| 1 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 5 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 |
| 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 | 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| 5 | 6 | 1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 4 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |

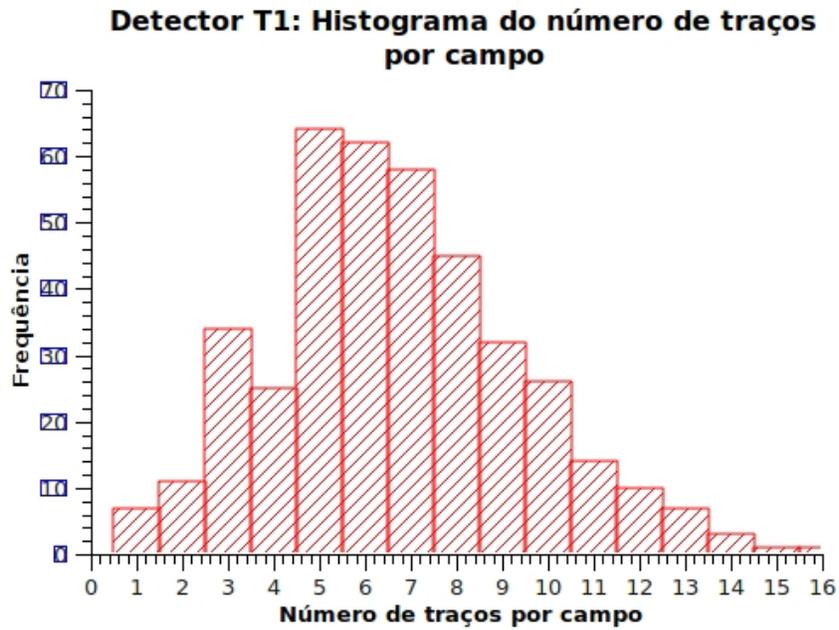


Figura 12: Histograma da distribuição dos traços por campo

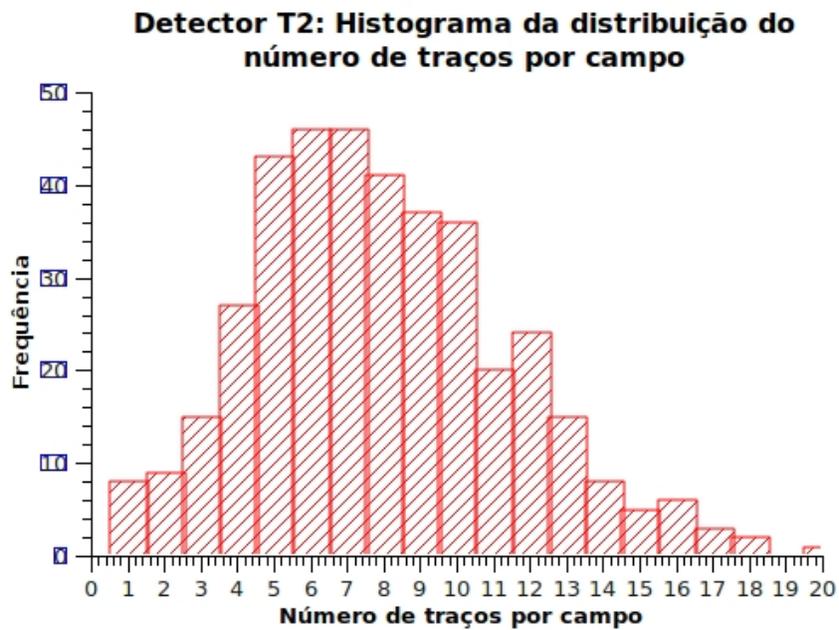


Figura 13: Histograma da distribuição dos traços por campo

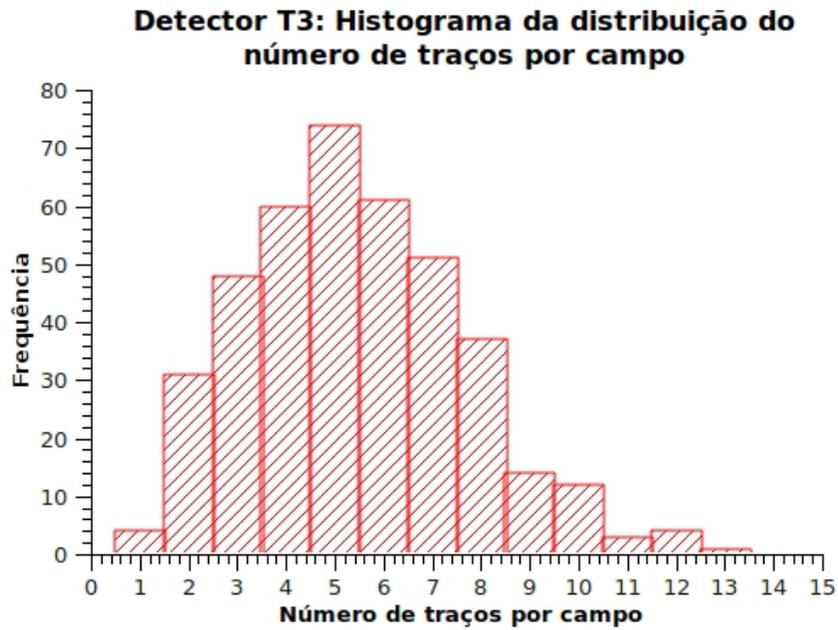


Figura 14: Histograma da distribuição dos traços por campo

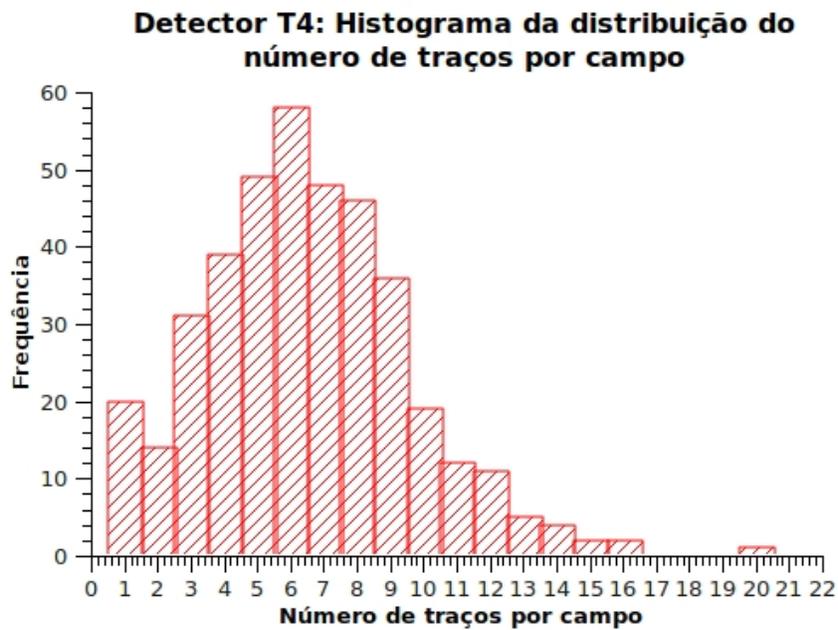


Figura 15: Histograma da distribuição dos traços por campo

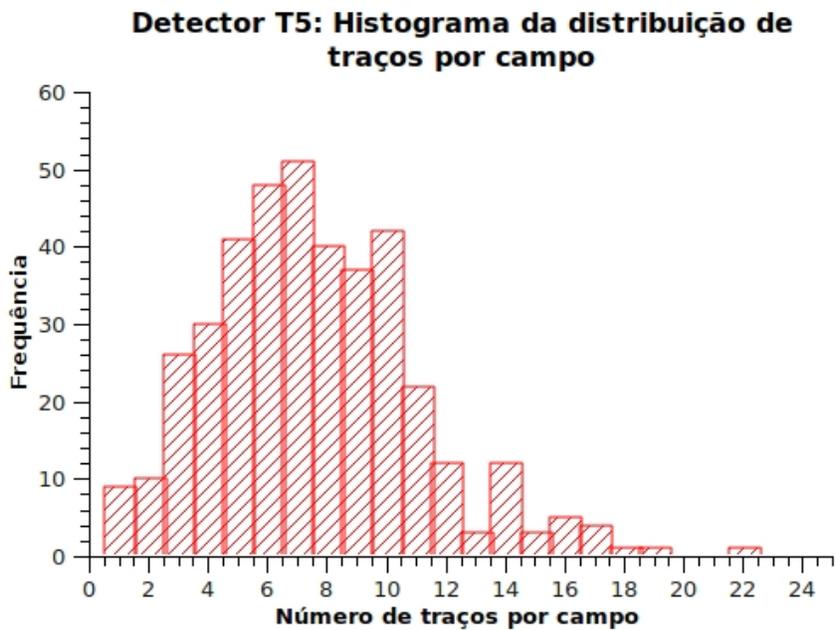


Figura 16: Histograma da distribuição dos traços por campo

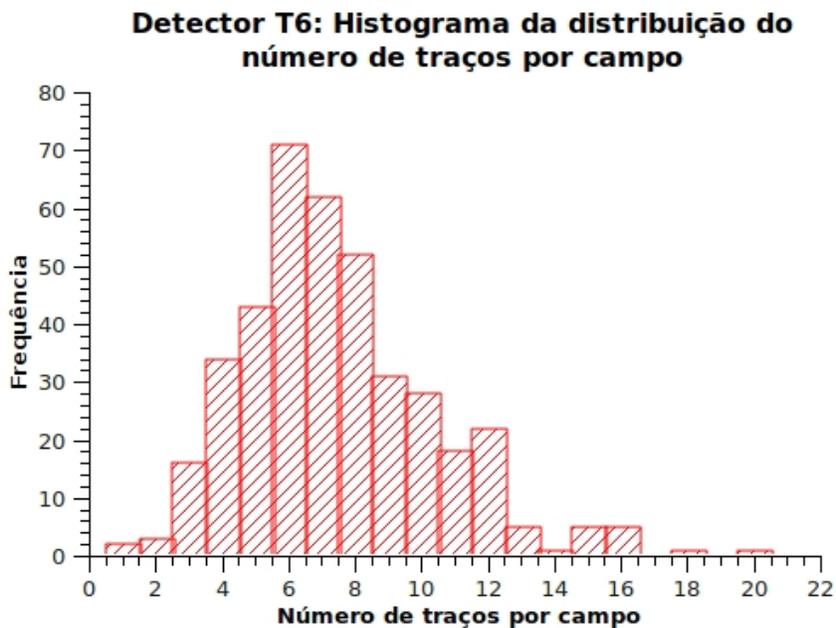


Figura 17: Histograma da distribuição dos traços por campo

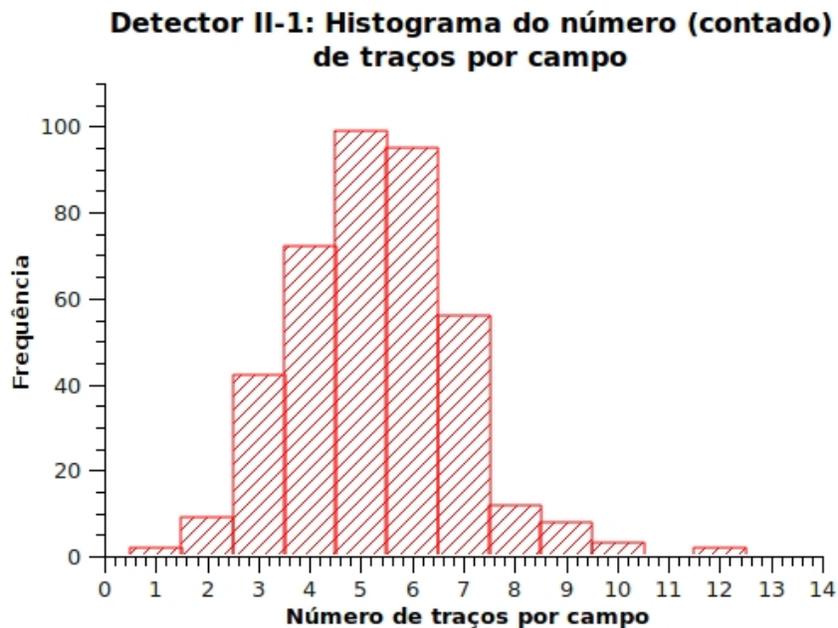


Figura 18: Histograma da distribuição dos traços por campo

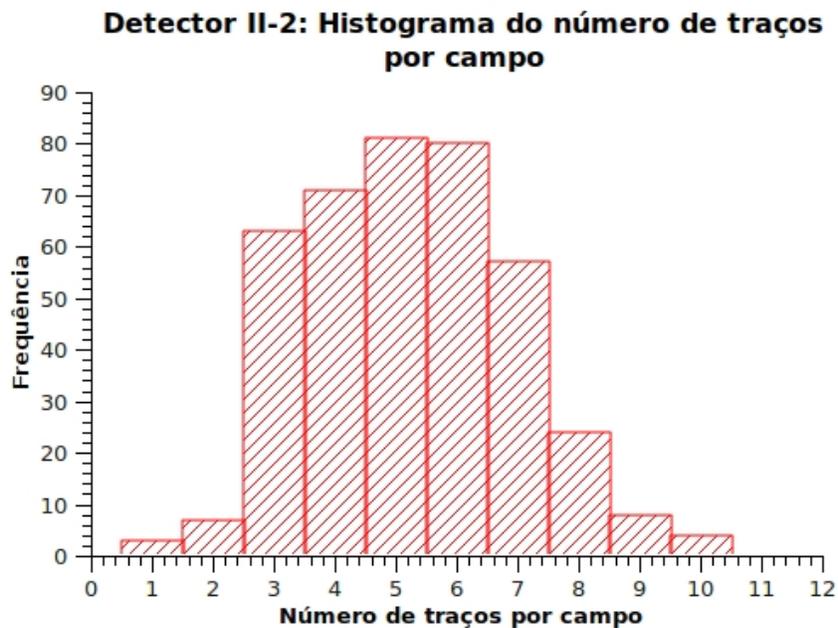


Figura 19: Histograma da distribuição dos traços por campo

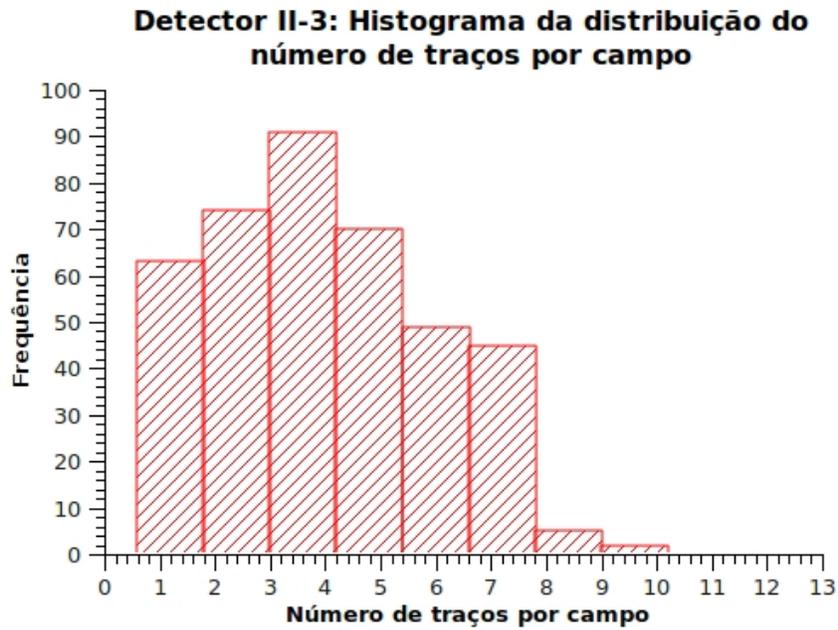


Figura 20: Histograma da distribuição dos traços por campo.

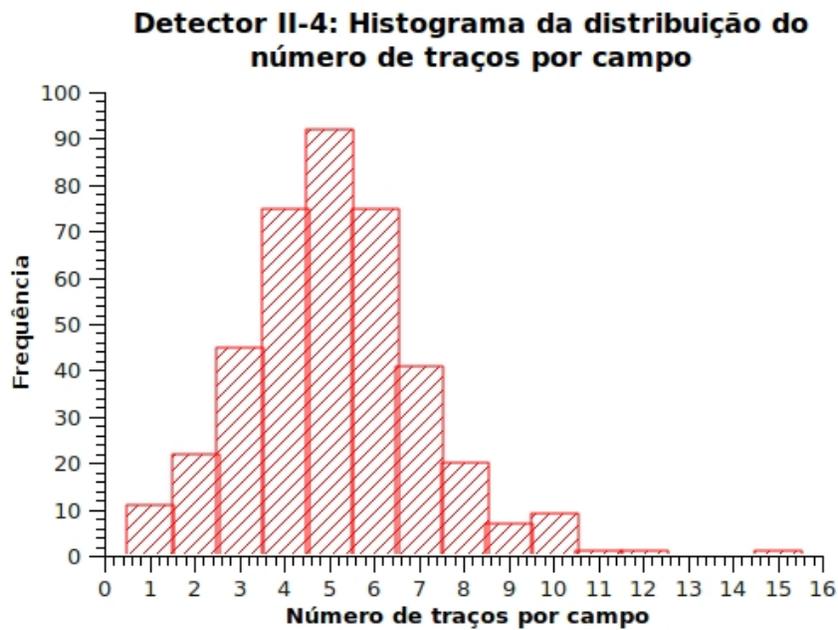


Figura 21: Histograma da distribuição dos traços por campo

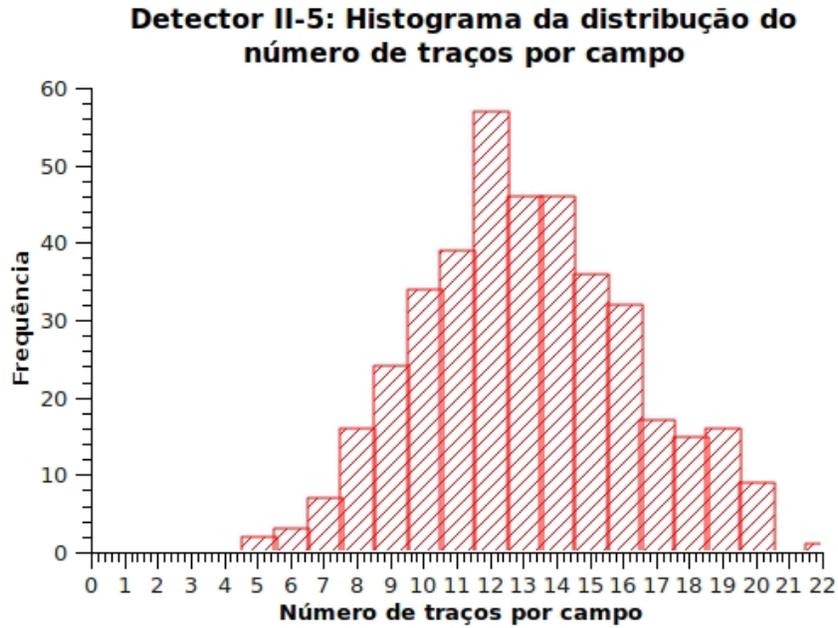


Figura 22: Histograma da distribuição dos traços por campo

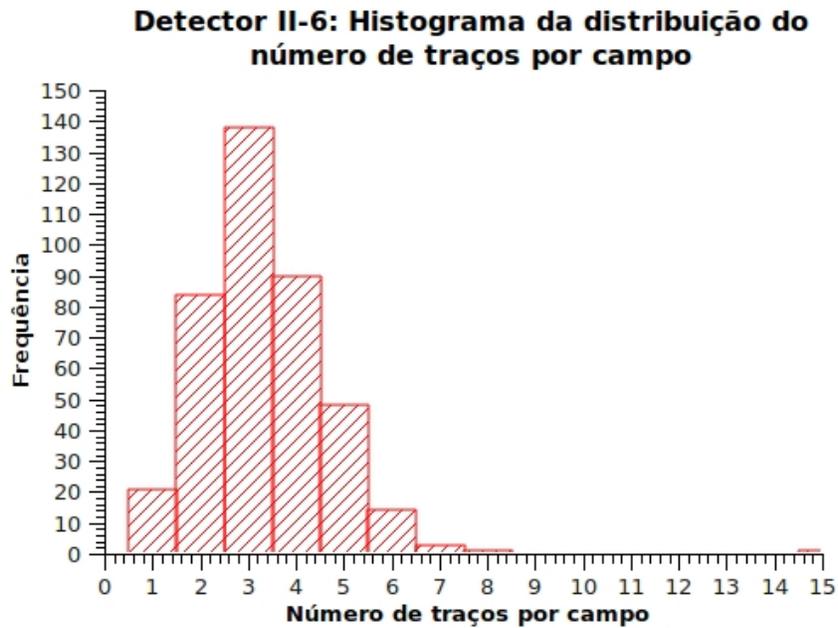


Figura 23: Histograma da distribuição dos traços por campo

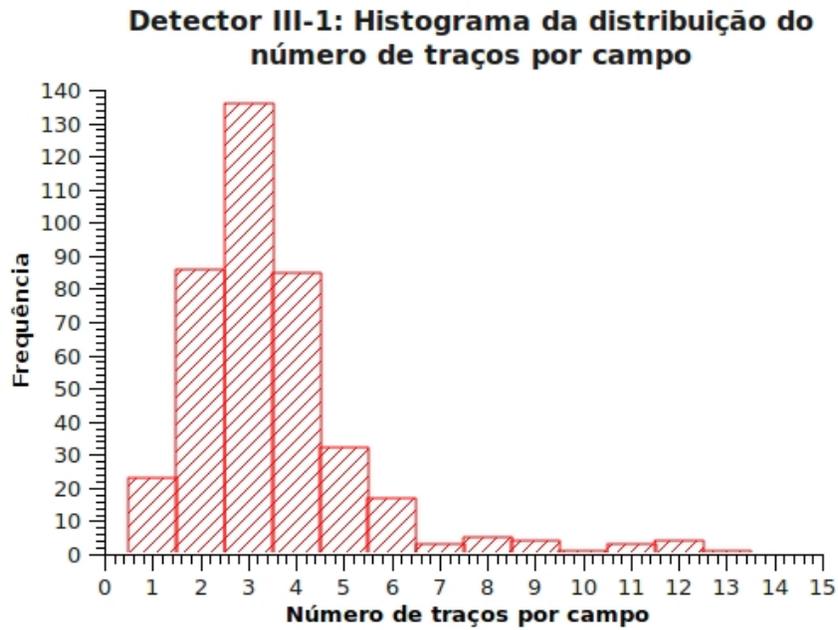


Figura 24: Histograma da distribuição dos traços por campo

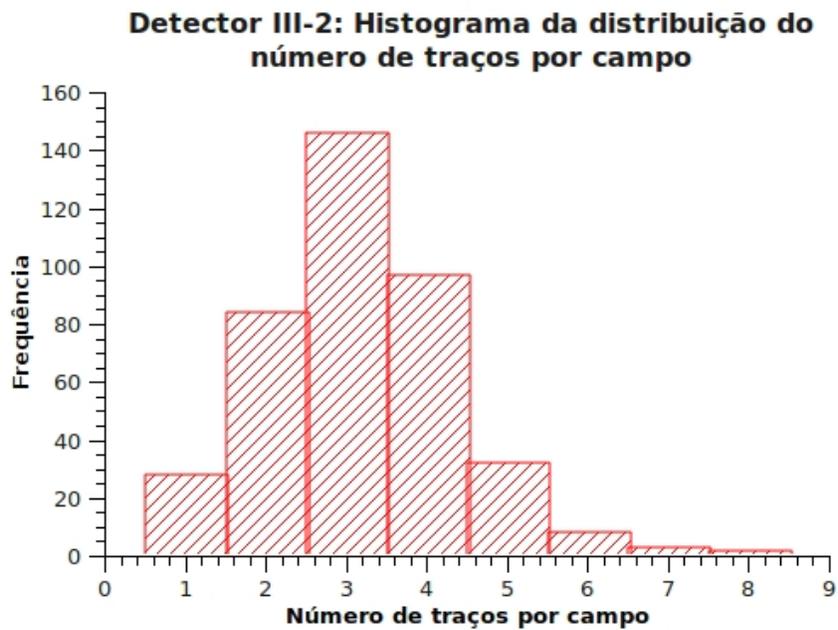


Figura 25: Histograma da distribuição dos traços por campo

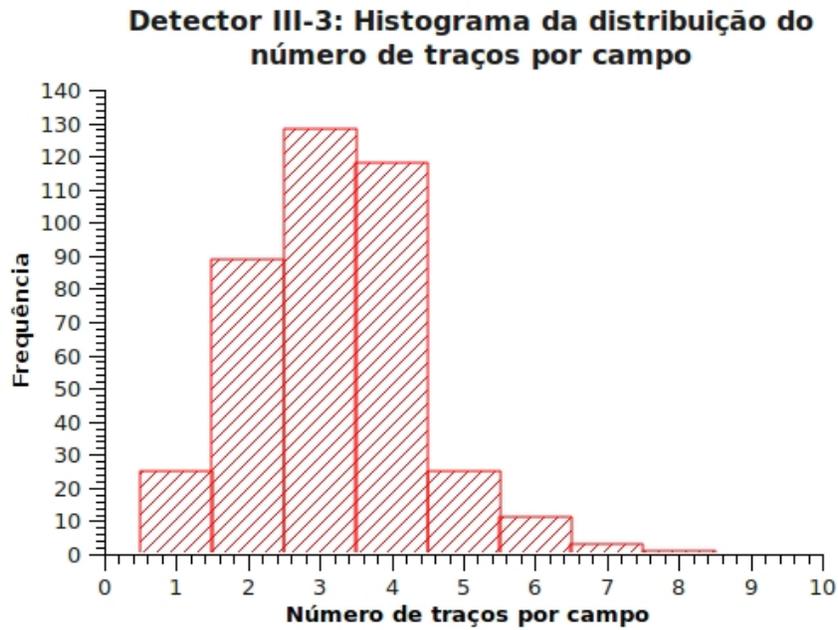


Figura 26: Histograma da distribuição dos traços por campo

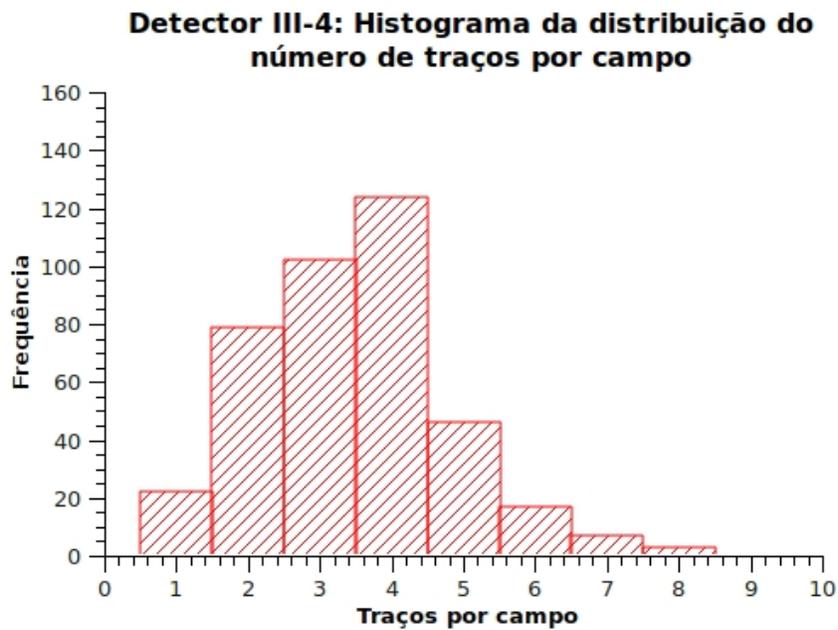


Figura 27: Histograma da distribuição dos traços por campo

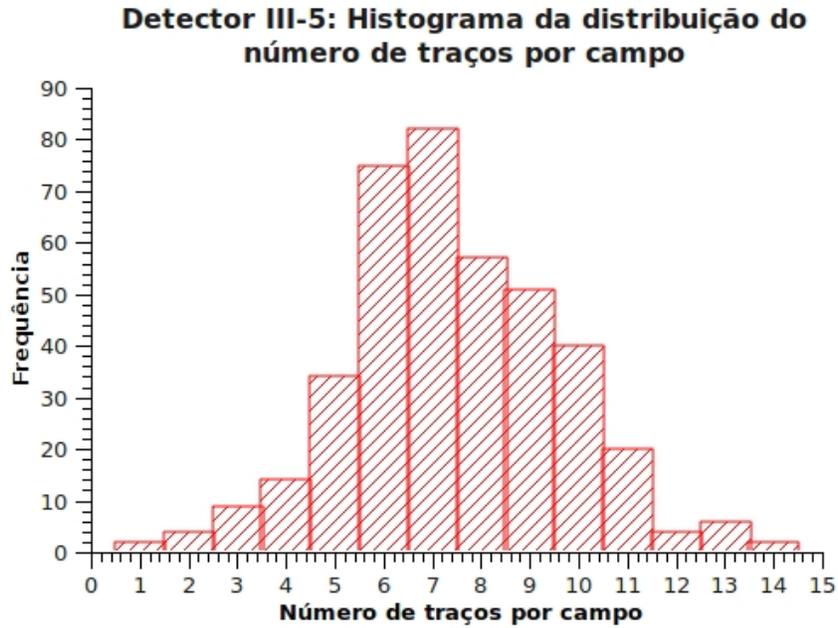


Figura 28: Histograma da distribuição dos traços por campo

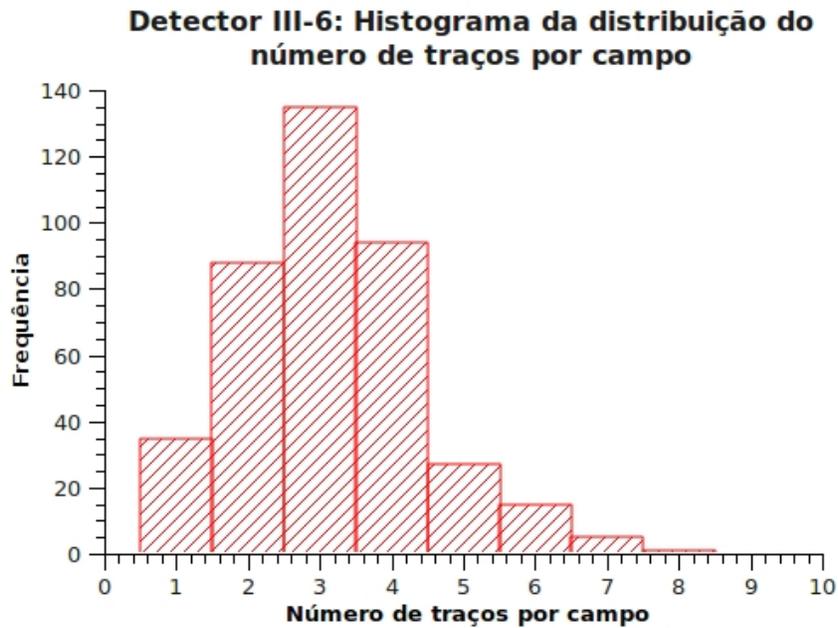


Figura 29: Histograma da distribuição dos traços por campo

B Análise das linhas

Tabela 27: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 3 | 109 | 10 |
| 6 | 2 | 110 | 10 |
| 5 | 3 | 93 | 10 |
| 6 | 2 | 114 | 11 |
| 7 | 3 | 134 | 12 |
| 5 | 2 | 101 | 10 |
| 7 | 3 | 130 | 11 |
| 6 | 3 | 118 | 11 |
| 5 | 3 | 103 | 10 |
| 6 | 3 | 116 | 11 |
| 6 | 3 | 122 | 11 |
| 5 | 3 | 95 | 10 |
| 6 | 3 | 121 | 11 |
| 6 | 4 | 112 | 11 |
| 7 | 3 | 139 | 12 |
| 5 | 2 | 107 | 10 |
| 6 | 3 | 112 | 11 |
| 5 | 2 | 106 | 10 |
| 6 | 2 | 119 | 11 |
| 6 | 3 | 114 | 11 |

Tabela 28: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 4 | 2 | 75 | 9 |
| 4 | 3 | 76 | 9 |
| 5 | 3 | 105 | 10 |
| 4 | 3 | 82 | 9 |
| 6 | 4 | 127 | 11 |
| 7 | 3 | 133 | 12 |
| 7 | 3 | 136 | 12 |
| 8 | 4 | 158 | 13 |
| 9 | 3 | 179 | 13 |
| 10 | 3 | 209 | 14 |
| 10 | 3 | 194 | 14 |
| 9 | 4 | 180 | 13 |
| 9 | 3 | 184 | 14 |
| 8 | 4 | 160 | 13 |
| 6 | 2 | 117 | 11 |
| 7 | 3 | 131 | 11 |
| 7 | 2 | 144 | 12 |
| 6 | 3 | 101 | 10 |
| 7 | 2 | 125 | 11 |

Tabela 29: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 3 | 98 | 10 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 1 | 97 | 10 |
| 5 | 3 | 100 | 10 |
| 4 | 2 | 77 | 9 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 2 | 99 | 10 |
| 5 | 3 | 97 | 10 |
| 6 | 2 | 110 | 10 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 1 | 78 | 9 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 5 | 2 | 97 | 10 |
| 5 | 3 | 101 | 10 |
| 3 | 2 | 69 | 8 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 3 | 2 | 62 | 8 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |

Tabela 30: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 6 | 5 | 114 | 11 |
| 6 | 2 | 122 | 11 |
| 6 | 3 | 128 | 11 |
| 6 | 3 | 122 | 11 |
| 6 | 4 | 123 | 11 |
| 7 | 4 | 130 | 11 |
| 6 | 2 | 124 | 11 |
| 7 | 3 | 144 | 12 |
| 7 | 3 | 138 | 12 |
| 7 | 2 | 141 | 12 |
| 5 | 3 | 90 | 9 |
| 4 | 3 | 88 | 9 |
| 5 | 2 | 104 | 10 |
| 4 | 3 | 75 | 9 |
| 5 | 2 | 101 | 10 |
| 5 | 3 | 94 | 10 |
| 5 | 3 | 97 | 10 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |
| 4 | 3 | 80 | 9 |

Tabela 31: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 4 | 3 | 79 | 9 |
| 5 | 2 | 92 | 10 |
| 4 | 2 | 75 | 9 |
| 5 | 3 | 91 | 10 |
| 5 | 3 | 105 | 10 |
| 5 | 2 | 105 | 10 |
| 7 | 3 | 135 | 12 |
| 7 | 4 | 137 | 12 |
| 8 | 4 | 166 | 13 |
| 7 | 4 | 133 | 12 |
| 9 | 3 | 174 | 13 |
| 10 | 4 | 190 | 14 |
| 9 | 5 | 178 | 13 |
| 7 | 3 | 137 | 12 |
| 8 | 4 | 153 | 12 |
| 7 | 4 | 138 | 12 |
| 6 | 2 | 125 | 11 |
| 7 | 3 | 133 | 12 |
| 6 | 3 | 116 | 11 |
| 7 | 2 | 135 | 12 |

Tabela 32: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector T6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 2 | 104 | 10 |
| 5 | 2 | 97 | 10 |
| 6 | 2 | 118 | 11 |
| 7 | 4 | 143 | 12 |
| 9 | 4 | 177 | 13 |
| 8 | 3 | 153 | 12 |
| 7 | 3 | 146 | 12 |
| 7 | 4 | 149 | 12 |
| 8 | 4 | 157 | 13 |
| 6 | 3 | 129 | 11 |
| 5 | 2 | 104 | 10 |
| 7 | 3 | 130 | 11 |
| 6 | 2 | 120 | 11 |
| 6 | 2 | 117 | 11 |
| 6 | 3 | 124 | 11 |
| 7 | 3 | 139 | 12 |
| 5 | 2 | 108 | 10 |
| 5 | 2 | 108 | 10 |
| 7 | 3 | 132 | 11 |
| 6 | 3 | 121 | 11 |

Tabela 33: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 4 | 2 | 79 | 9 |
| 4 | 1 | 83 | 9 |
| 4 | 1 | 77 | 9 |
| 4 | 1 | 77 | 9 |
| 4 | 2 | 83 | 9 |
| 5 | 1 | 105 | 10 |
| 4 | 2 | 81 | 9 |
| 5 | 1 | 90 | 9 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 5 | 2 | 93 | 10 |
| 5 | 2 | 104 | 10 |
| 4 | 1 | 89 | 9 |
| 4 | 1 | 80 | 9 |
| 5 | 2 | 92 | 10 |
| 5 | 1 | 98 | 10 |
| 4 | 2 | 86 | 9 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 1 | 75 | 9 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |

Tabela 34: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 6 | 2 | 111 | 11 |
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |
| 5 | 2 | 96 | 10 |
| 5 | 1 | 93 | 10 |
| 4 | 1 | 83 | 9 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 3 | 2 | 67 | 8 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 4 | 2 | 86 | 9 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 5 | 1 | 90 | 9 |
| 4 | 1 | 76 | 9 |
| 5 | 2 | 94 | 10 |

Tabela 35: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-31. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 3 | 2 | 55 | 7 |
| 4 | 2 | 70 | 8 |
| 4 | 3 | 86 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 4 | 1 | 79 | 9 |
| 3 | 2 | 50 | 7 |
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 3 | 2 | 64 | 8 |
| 3 | 2 | 54 | 7 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 4 | 2 | 74 | 9 |
| 3 | 2 | 57 | 8 |
| 3 | 2 | 64 | 8 |
| 3 | 2 | 50 | 7 |
| 3 | 2 | 61 | 8 |
| 3 | 2 | 65 | 8 |
| 3 | 2 | 53 | 7 |
| 3 | 2 | 68 | 8 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |

Tabela 36: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 3 | 2 | 57 | 8 |
| 4 | 2 | 77 | 9 |
| 4 | 2 | 86 | 9 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 2 | 71 | 8 |
| 4 | 2 | 75 | 9 |
| 4 | 2 | 76 | 9 |
| 4 | 1 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 70 | 8 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 5 | 3 | 95 | 10 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 4 | 2 | 88 | 9 |
| 4 | 2 | 89 | 9 |
| 5 | 2 | 93 | 10 |
| 5 | 1 | 92 | 10 |
| 4 | 1 | 83 | 9 |

Tabela 37: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 10 | 3 | 202 | 14 |
| 10 | 5 | 204 | 14 |
| 10 | 4 | 208 | 14 |
| 12 | 3 | 230 | 15 |
| 13 | 4 | 262 | 16 |
| 11 | 2 | 219 | 15 |
| 14 | 3 | 271 | 16 |
| 13 | 3 | 262 | 16 |
| 11 | 2 | 221 | 15 |
| 13 | 2 | 251 | 16 |
| 12 | 3 | 240 | 15 |
| 13 | 2 | 254 | 16 |
| 11 | 2 | 219 | 15 |
| 13 | 3 | 251 | 16 |
| 13 | 3 | 265 | 16 |
| 14 | 3 | 278 | 17 |
| 13 | 2 | 268 | 16 |
| 13 | 3 | 256 | 16 |
| 11 | 3 | 225 | 15 |
| 12 | 3 | 247 | 16 |

Tabela 38: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector II-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 3 | 2 | 50 | 7 |
| 3 | 1 | 56 | 7 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 3 | 1 | 52 | 7 |
| 3 | 1 | 57 | 8 |
| 3 | 1 | 63 | 8 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 3 | 2 | 52 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 2 | 48 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 2 | 3 | 43 | 7 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 31 | 6 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 2 | 1 | 34 | 6 |

Tabela 39: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 3 | 1 | 51 | 7 |
| 3 | 1 | 53 | 7 |
| 4 | 2 | 75 | 9 |
| 3 | 2 | 56 | 7 |
| 3 | 2 | 65 | 8 |
| 3 | 2 | 57 | 8 |
| 3 | 3 | 57 | 8 |
| 2 | 3 | 45 | 7 |
| 3 | 3 | 54 | 7 |
| 3 | 2 | 67 | 8 |
| 3 | 2 | 67 | 8 |
| 2 | 1 | 32 | 6 |
| 2 | 1 | 35 | 6 |
| 1 | 1 | 28 | 5 |

Tabela 40: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 31 | 6 |
| 2 | 1 | 33 | 6 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 37 | 6 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 35 | 6 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 3 | 2 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 3 | 1 | 61 | 8 |
| 3 | 1 | 55 | 7 |
| 3 | 1 | 61 | 8 |
| 3 | 1 | 60 | 8 |
| 3 | 1 | 57 | 8 |
| 2 | 1 | 33 | 6 |
| 2 | 1 | 34 | 6 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 30 | 5 |

Tabela 41: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 3 | 1 | 51 | 7 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 3 | 1 | 51 | 7 |
| 2 | 1 | 34 | 6 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 3 | 1 | 59 | 8 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 37 | 6 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 1 | 1 | 29 | 5 |
| 1 | 1 | 28 | 5 |

Tabela 42: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 2 | 49 | 7 |
| 3 | 1 | 51 | 7 |
| 3 | 1 | 51 | 7 |
| 3 | 2 | 65 | 8 |
| 3 | 1 | 51 | 7 |
| 3 | 1 | 61 | 8 |
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 3 | 2 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 3 | 1 | 56 | 7 |
| 3 | 2 | 54 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 3 | 1 | 54 | 7 |

Tabela 43: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 2 | 108 | 10 |
| 3 | 2 | 66 | 8 |
| 5 | 2 | 96 | 10 |
| 6 | 2 | 125 | 11 |
| 6 | 1 | 116 | 11 |
| 6 | 2 | 116 | 11 |
| 7 | 2 | 132 | 11 |
| 6 | 2 | 124 | 11 |
| 7 | 1 | 138 | 12 |
| 7 | 1 | 131 | 11 |
| 7 | 1 | 132 | 11 |
| 6 | 1 | 115 | 11 |
| 7 | 2 | 145 | 12 |
| 7 | 2 | 147 | 12 |
| 10 | 2 | 193 | 14 |
| 9 | 1 | 173 | 13 |
| 8 | 1 | 164 | 13 |
| 8 | 1 | 156 | 12 |
| 5 | 1 | 101 | 10 |
| 5 | 1 | 98 | 10 |

Tabela 44: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das linhas do mapeamento do detector III-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por linha, e número total de traços por linha.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 3 | 2 | 55 | 7 |
| 2 | 2 | 48 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 3 | 1 | 57 | 8 |
| 2 | 1 | 36 | 6 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |
| 2 | 1 | 37 | 6 |
| 2 | 1 | 37 | 6 |
| 2 | 1 | 35 | 6 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 3 | 2 | 59 | 8 |
| 2 | 2 | 45 | 7 |
| 1 | 1 | 21 | 5 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 1 | 1 | 26 | 5 |

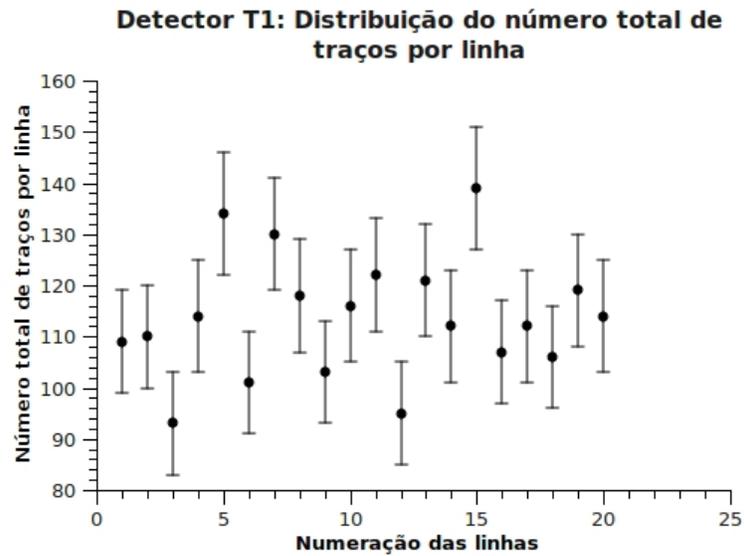


Figura 30: Distribuição do número total de de traços por linhas.

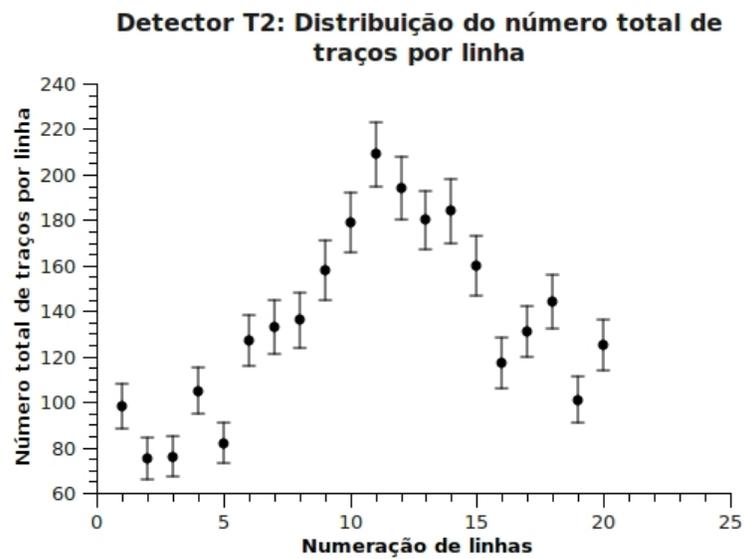


Figura 31: Distribuição do número total de de traços por linhas.

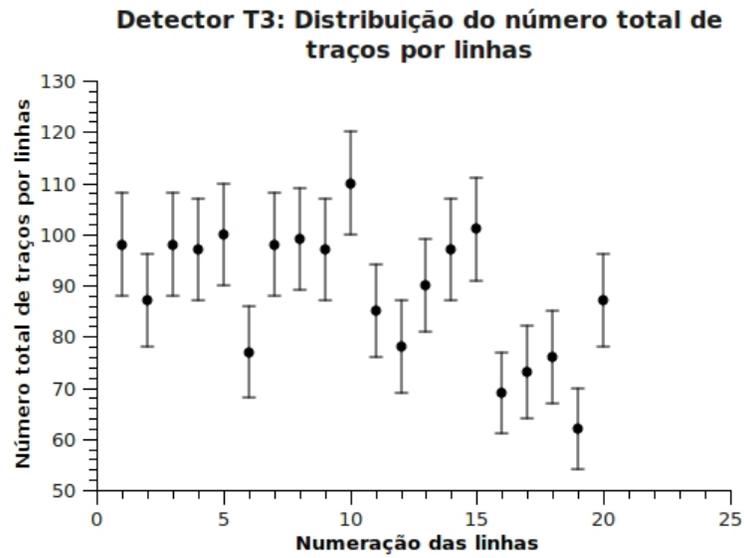


Figura 32: Distribuição do número total de de traços por linhas.

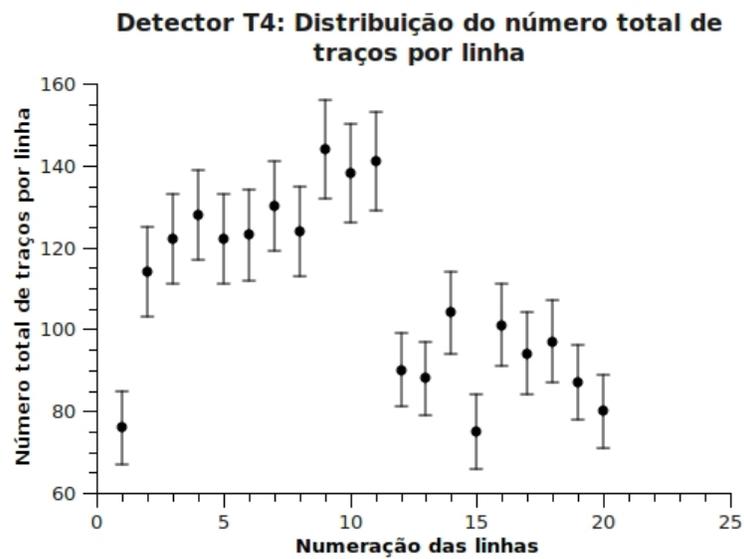


Figura 33: Distribuição do número total de de traços por linhas.

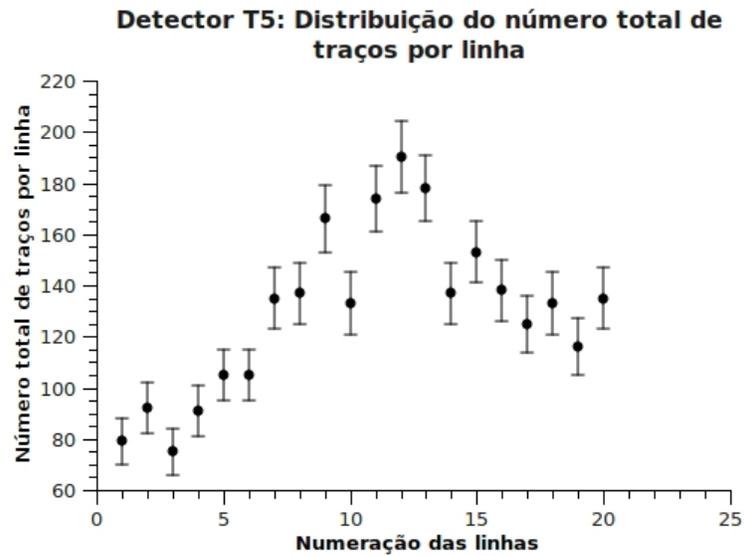


Figura 34: Distribuição do número total de de traços por linhas.

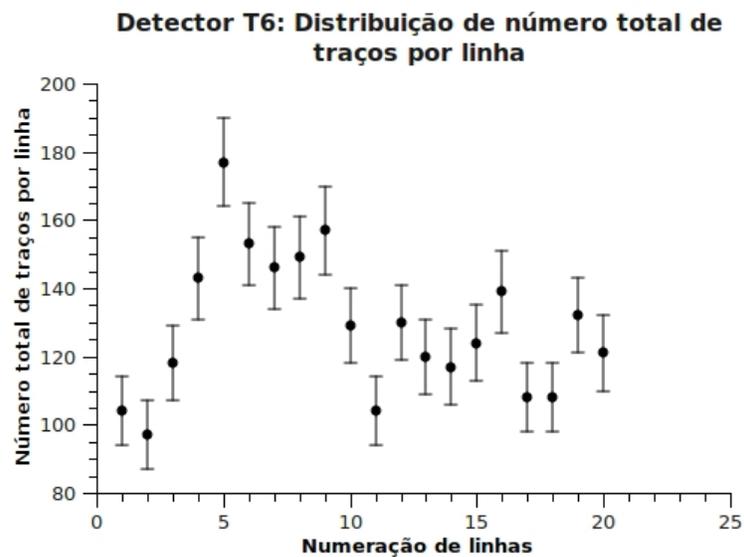


Figura 35: Distribuição do número total de de traços por linhas.

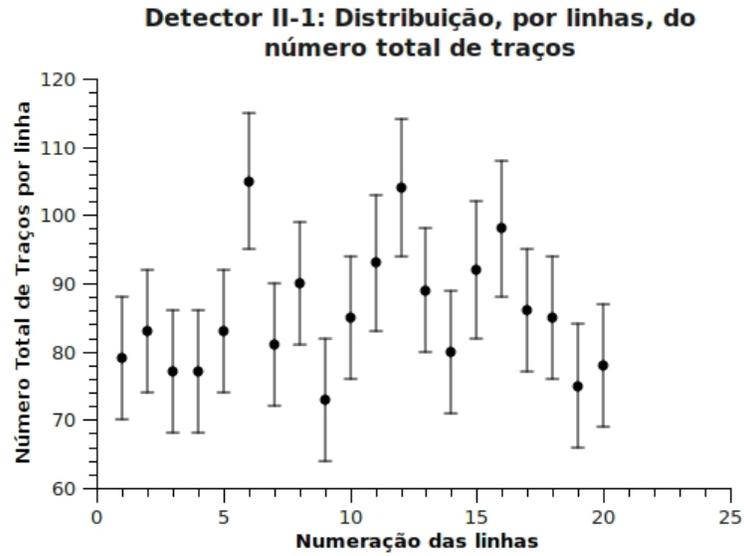


Figura 36: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-1.

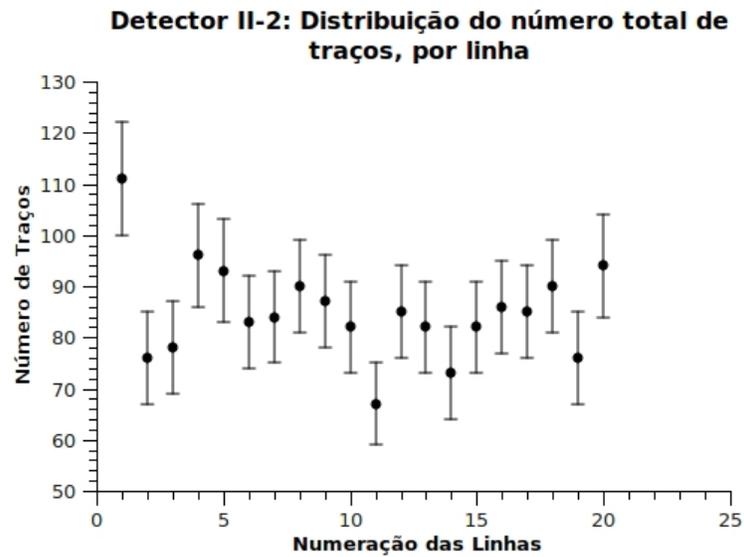


Figura 37: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-2.

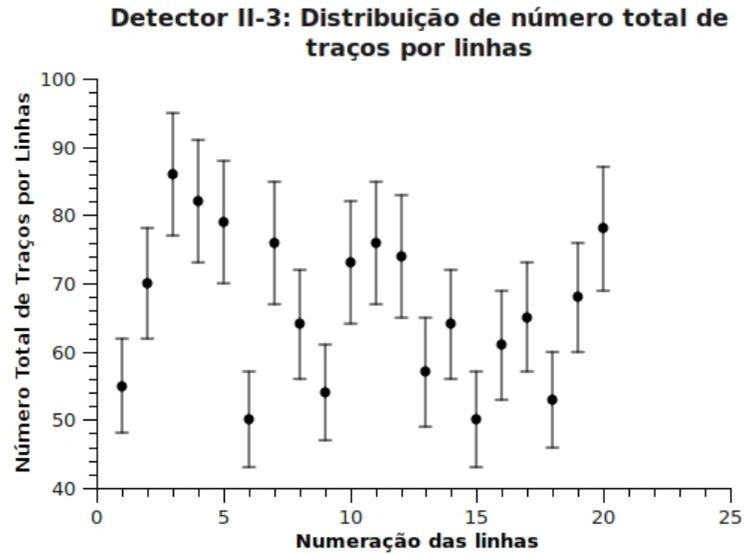


Figura 38: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-3.

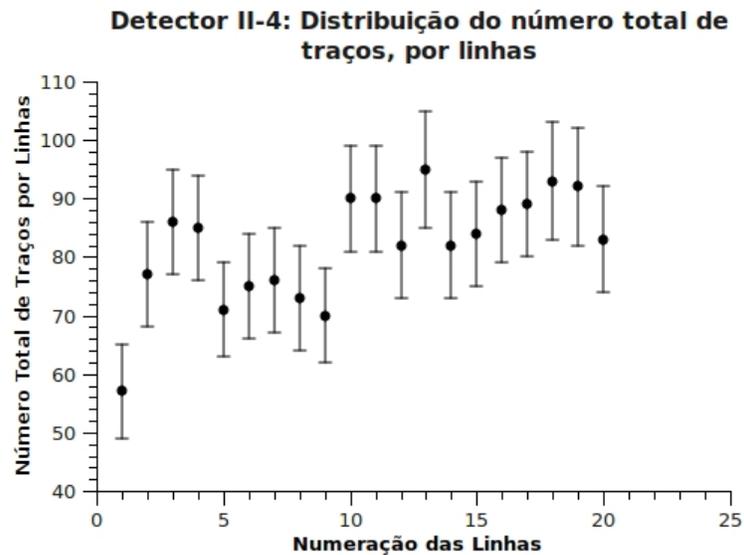


Figura 39: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-4.

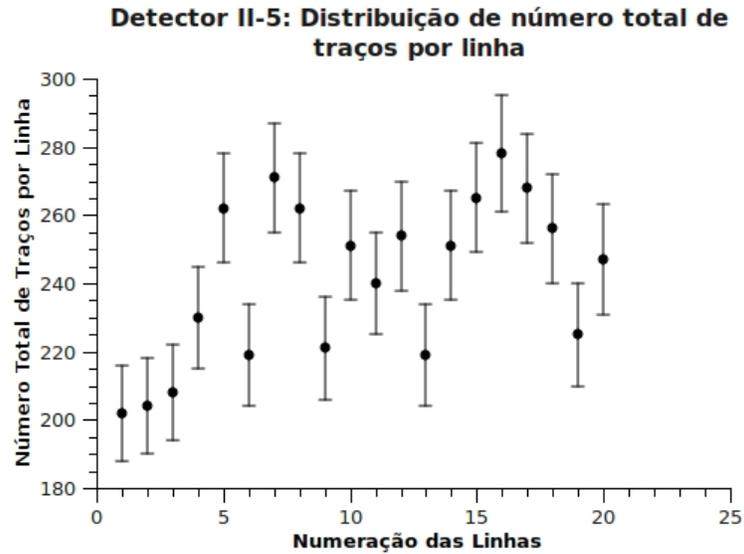


Figura 40: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-5.

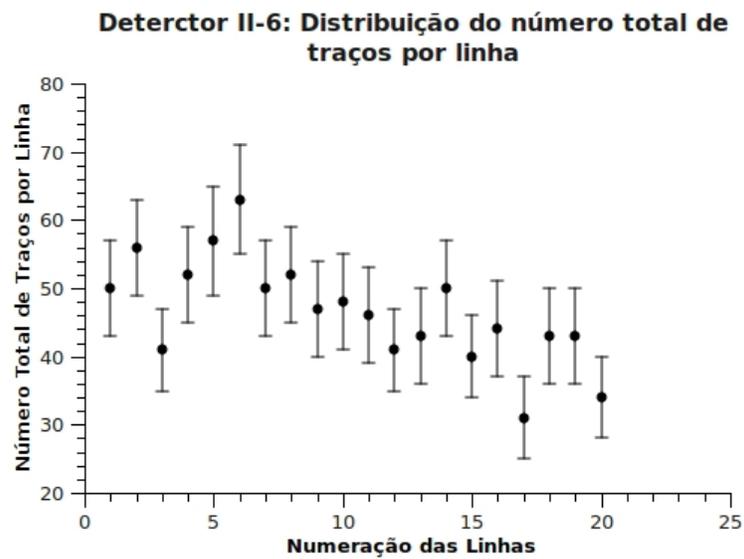


Figura 41: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector II-6.

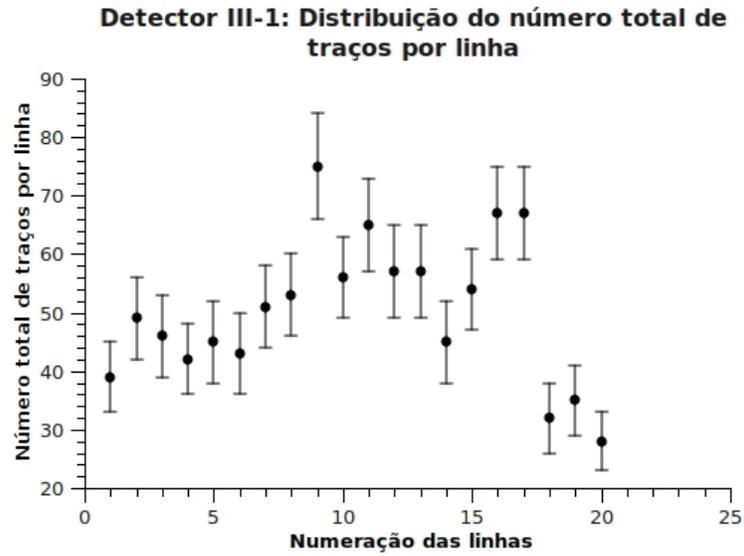


Figura 42: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-1.

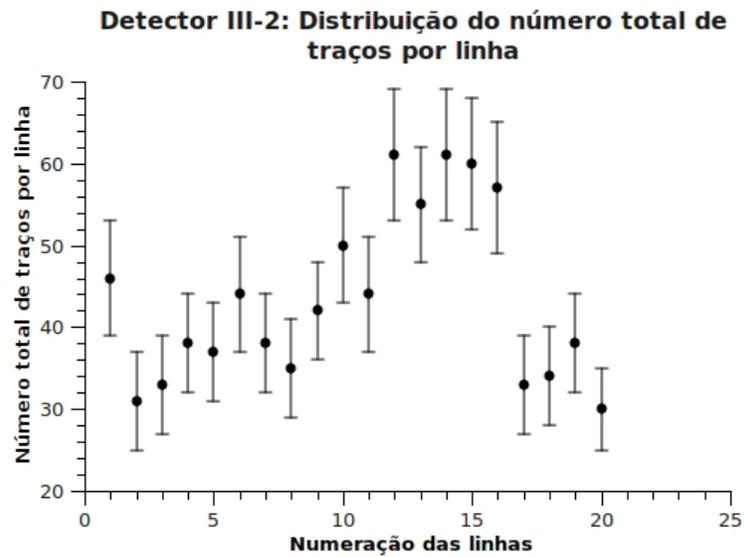


Figura 43: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-2.

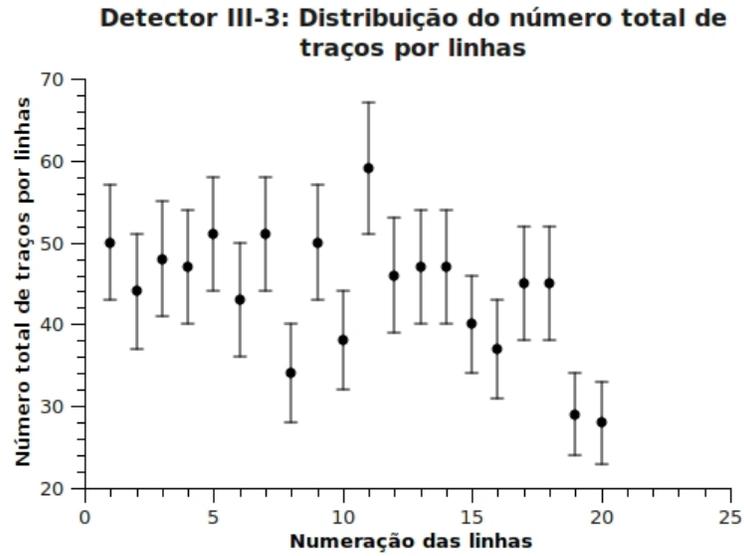


Figura 44: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-3.

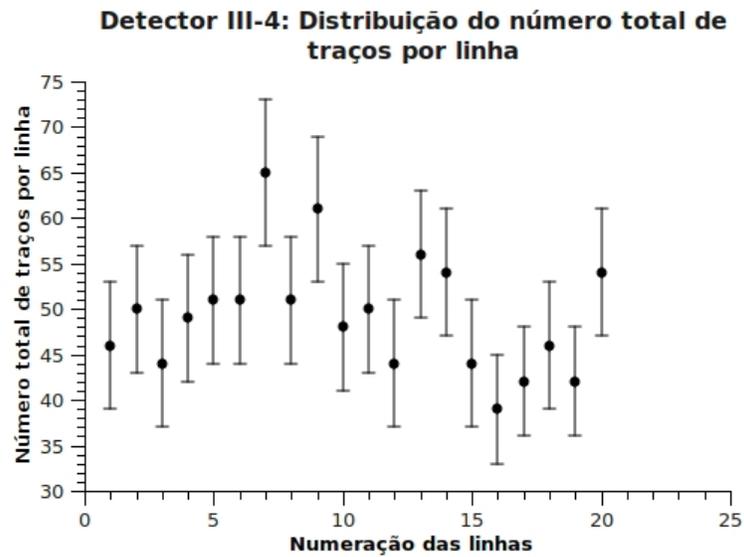


Figura 45: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-4.

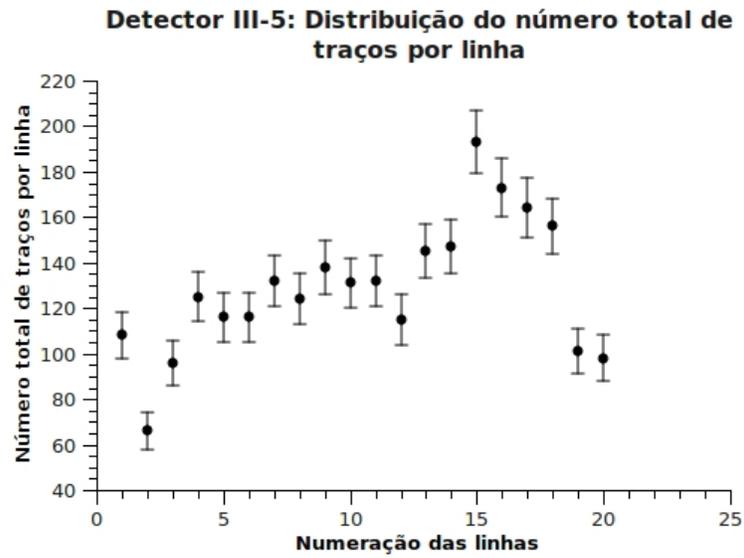


Figura 46: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-6.

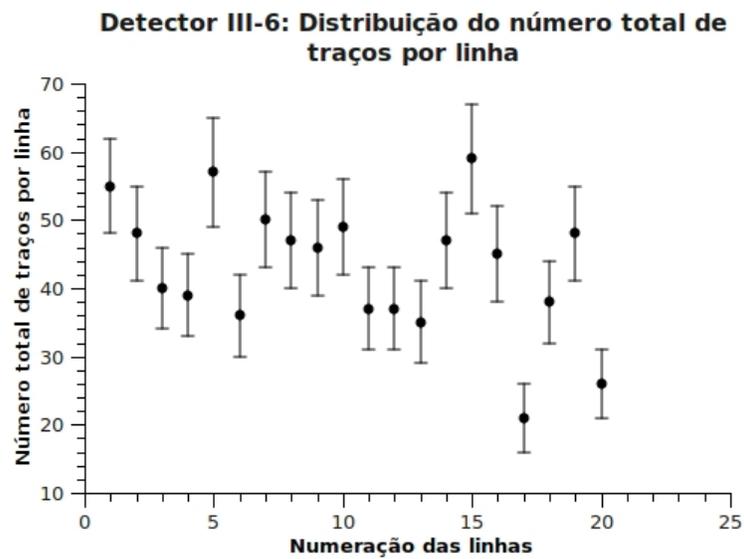


Figura 47: Distribuição do número total de de traços por linhas, no detector III-6.

C Análise das Colunas

Tabela 45: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 3 | 93 | 10 |
| 6 | 3 | 113 | 11 |
| 6 | 2 | 114 | 11 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 6 | 2 | 121 | 11 |
| 5 | 2 | 103 | 10 |
| 6 | 3 | 121 | 11 |
| 5 | 3 | 92 | 10 |
| 6 | 2 | 115 | 11 |
| 7 | 3 | 130 | 11 |
| 6 | 2 | 113 | 11 |
| 6 | 2 | 121 | 11 |
| 5 | 2 | 101 | 10 |
| 6 | 3 | 125 | 11 |
| 5 | 2 | 106 | 10 |
| 6 | 3 | 110 | 10 |
| 6 | 3 | 129 | 11 |
| 7 | 3 | 140 | 12 |
| 6 | 4 | 124 | 11 |
| 5 | 3 | 106 | 10 |

Tabela 46: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 6 | 3 | 110 | 10 |
| 7 | 3 | 118 | 11 |
| 6 | 3 | 125 | 11 |
| 7 | 2 | 137 | 12 |
| 7 | 3 | 136 | 12 |
| 6 | 3 | 117 | 11 |
| 7 | 3 | 136 | 12 |
| 6 | 3 | 122 | 11 |
| 7 | 4 | 134 | 12 |
| 8 | 3 | 151 | 12 |
| 8 | 4 | 161 | 13 |
| 8 | 4 | 151 | 12 |
| 8 | 5 | 158 | 13 |
| 8 | 3 | 152 | 12 |
| 7 | 4 | 140 | 12 |
| 7 | 3 | 149 | 12 |
| 7 | 3 | 137 | 12 |
| 6 | 4 | 117 | 11 |
| 8 | 4 | 157 | 13 |
| 6 | 4 | 106 | 10 |

Tabela 47: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 2 | 101 | 10 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 5 | 2 | 100 | 10 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 5 | 2 | 96 | 10 |
| 5 | 2 | 107 | 10 |
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 4 | 2 | 79 | 9 |
| 5 | 3 | 97 | 10 |
| 5 | 3 | 95 | 10 |
| 4 | 3 | 88 | 9 |
| 5 | 2 | 92 | 10 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 5 | 2 | 93 | 10 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 5 | 3 | 94 | 10 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |

Tabela 48: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 4 | 3 | 86 | 9 |
| 5 | 3 | 105 | 10 |
| 5 | 2 | 104 | 10 |
| 5 | 3 | 96 | 10 |
| 6 | 3 | 113 | 11 |
| 5 | 2 | 99 | 10 |
| 5 | 3 | 104 | 10 |
| 4 | 3 | 83 | 9 |
| 5 | 3 | 107 | 10 |
| 6 | 3 | 120 | 11 |
| 7 | 4 | 132 | 11 |
| 6 | 2 | 125 | 11 |
| 6 | 3 | 118 | 11 |
| 5 | 3 | 108 | 10 |
| 5 | 3 | 107 | 10 |
| 6 | 4 | 120 | 11 |
| 6 | 3 | 112 | 11 |
| 6 | 3 | 113 | 11 |
| 6 | 4 | 113 | 11 |
| 6 | 3 | 113 | 11 |

Tabela 49: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 3 | 109 | 10 |
| 6 | 3 | 123 | 11 |
| 6 | 3 | 126 | 11 |
| 5 | 2 | 109 | 10 |
| 5 | 2 | 109 | 10 |
| 6 | 2 | 124 | 11 |
| 7 | 3 | 139 | 12 |
| 7 | 3 | 130 | 11 |
| 6 | 3 | 126 | 11 |
| 6 | 4 | 121 | 11 |
| 6 | 2 | 123 | 11 |
| 7 | 5 | 145 | 12 |
| 6 | 4 | 129 | 11 |
| 8 | 5 | 153 | 12 |
| 7 | 5 | 148 | 12 |
| 8 | 4 | 160 | 13 |
| 7 | 3 | 130 | 11 |
| 7 | 4 | 144 | 12 |
| 6 | 4 | 129 | 11 |
| 7 | 4 | 120 | 11 |

Tabela 50: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector T6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 6 | 2 | 117 | 11 |
| 6 | 3 | 117 | 11 |
| 5 | 2 | 94 | 10 |
| 6 | 2 | 122 | 11 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 6 | 2 | 113 | 11 |
| 6 | 3 | 114 | 11 |
| 6 | 4 | 119 | 11 |
| 6 | 2 | 128 | 11 |
| 7 | 2 | 135 | 12 |
| 7 | 3 | 145 | 12 |
| 8 | 4 | 152 | 12 |
| 7 | 3 | 149 | 12 |
| 8 | 3 | 162 | 13 |
| 8 | 4 | 151 | 12 |
| 7 | 2 | 138 | 12 |
| 6 | 3 | 128 | 11 |
| 7 | 3 | 147 | 12 |
| 7 | 4 | 137 | 12 |
| 6 | 3 | 123 | 11 |

Tabela 51: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 5 | 1 | 95 | 10 |
| 4 | 1 | 87 | 9 |
| 4 | 1 | 81 | 9 |
| 5 | 1 | 97 | 10 |
| 4 | 2 | 88 | 9 |
| 5 | 2 | 91 | 10 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 4 | 1 | 79 | 9 |
| 5 | 1 | 92 | 10 |
| 5 | 1 | 94 | 10 |
| 5 | 2 | 98 | 10 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 4 | 1 | 74 | 9 |
| 4 | 2 | 77 | 9 |
| 4 | 3 | 81 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |

Tabela 52: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 2 | 93 | 10 |
| 4 | 2 | 83 | 9 |
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 4 | 2 | 79 | 9 |
| 5 | 2 | 90 | 9 |
| 5 | 1 | 91 | 10 |
| 5 | 2 | 94 | 10 |
| 4 | 2 | 73 | 9 |
| 4 | 1 | 70 | 8 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 5 | 2 | 97 | 10 |
| 5 | 2 | 103 | 10 |
| 4 | 1 | 83 | 9 |
| 4 | 2 | 83 | 9 |
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 1 | 86 | 9 |

Tabela 53: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 4 | 2 | 85 | 9 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |
| 4 | 2 | 74 | 9 |
| 3 | 1 | 68 | 8 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 4 | 3 | 74 | 9 |
| 3 | 2 | 59 | 8 |
| 3 | 2 | 57 | 8 |
| 3 | 2 | 56 | 7 |
| 3 | 2 | 52 | 7 |
| 3 | 2 | 69 | 8 |
| 3 | 2 | 59 | 8 |
| 4 | 2 | 71 | 8 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 3 | 2 | 58 | 8 |
| 3 | 1 | 63 | 8 |
| 3 | 2 | 67 | 8 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 3 | 2 | 64 | 8 |
| 3 | 2 | 56 | 7 |

Tabela 54: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 5 | 3 | 95 | 10 |
| 4 | 2 | 84 | 9 |
| 4 | 2 | 89 | 9 |
| 3 | 2 | 69 | 8 |
| 4 | 2 | 74 | 9 |
| 4 | 1 | 83 | 9 |
| 3 | 2 | 59 | 8 |
| 4 | 2 | 87 | 9 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |
| 4 | 1 | 89 | 9 |
| 5 | 2 | 91 | 10 |
| 4 | 2 | 83 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 4 | 2 | 88 | 9 |
| 4 | 2 | 78 | 9 |
| 4 | 2 | 80 | 9 |
| 5 | 2 | 91 | 10 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |
| 4 | 2 | 74 | 9 |
| 4 | 2 | 82 | 9 |

Tabela 55: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 12 | 4 | 243 | 16 |
| 12 | 2 | 236 | 15 |
| 12 | 3 | 232 | 15 |
| 11 | 3 | 228 | 15 |
| 12 | 3 | 244 | 16 |
| 11 | 3 | 227 | 15 |
| 13 | 3 | 256 | 16 |
| 14 | 4 | 273 | 17 |
| 14 | 4 | 272 | 16 |
| 13 | 3 | 254 | 16 |
| 14 | 3 | 276 | 17 |
| 13 | 4 | 258 | 16 |
| 11 | 3 | 228 | 15 |
| 12 | 4 | 246 | 16 |
| 13 | 3 | 256 | 16 |
| 11 | 3 | 222 | 15 |
| 12 | 3 | 233 | 15 |
| 10 | 2 | 206 | 14 |
| 11 | 2 | 227 | 15 |
| 11 | 3 | 216 | 15 |

Tabela 56: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector II-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 2 | 43 | 7 |
| 3 | 1 | 53 | 7 |
| 3 | 1 | 55 | 7 |
| 3 | 3 | 67 | 8 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 3 | 1 | 52 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 30 | 5 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |

Tabela 57: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-1. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 34 | 6 |
| 4 | 3 | 83 | 9 |
| 5 | 3 | 100 | 10 |
| 4 | 3 | 78 | 9 |
| 3 | 1 | 64 | 8 |
| 4 | 2 | 72 | 8 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 37 | 6 |
| 2 | 1 | 37 | 6 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 36 | 6 |
| 2 | 1 | 35 | 6 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |

Tabela 58: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-2. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |
| 2 | 1 | 35 | 6 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 33 | 6 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 2 | 46 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 2 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |

Tabela 59: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-3. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 3 | 2 | 55 | 7 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 3 | 2 | 52 | 7 |
| 3 | 2 | 55 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 33 | 6 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |

Tabela 60: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-4. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 3 | 1 | 50 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 2 | 43 | 7 |
| 3 | 1 | 53 | 7 |
| 3 | 1 | 55 | 7 |
| 3 | 3 | 67 | 8 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 1 | 48 | 7 |
| 3 | 1 | 52 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 30 | 5 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 44 | 7 |

Tabela 61: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-5. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 7 | 2 | 132 | 11 |
| 7 | 1 | 134 | 12 |
| 6 | 2 | 127 | 11 |
| 7 | 2 | 134 | 12 |
| 7 | 2 | 135 | 12 |
| 6 | 2 | 125 | 11 |
| 6 | 2 | 120 | 11 |
| 7 | 2 | 130 | 11 |
| 6 | 2 | 126 | 11 |
| 6 | 2 | 119 | 11 |
| 6 | 2 | 124 | 11 |
| 6 | 2 | 125 | 11 |
| 7 | 2 | 132 | 11 |
| 6 | 2 | 119 | 11 |
| 7 | 3 | 134 | 12 |
| 6 | 3 | 122 | 11 |
| 6 | 3 | 126 | 11 |
| 6 | 3 | 129 | 11 |
| 7 | 2 | 138 | 12 |
| 7 | 2 | 145 | 12 |

Tabela 62: Tabela de Valores de análise tomados para cada uma das colunas do mapeamento do detector III-6. Os valores abaixo na tabela são relativos aos número médio de traços por coluna, e número total de traços por coluna.

| Número médio | Erro número médio | Número total | Erro Número total |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 2 | 1 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |
| 2 | 1 | 35 | 6 |
| 2 | 1 | 41 | 6 |
| 2 | 1 | 38 | 6 |
| 2 | 1 | 33 | 6 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 40 | 6 |
| 2 | 1 | 43 | 7 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 2 | 46 | 7 |
| 2 | 2 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 42 | 6 |
| 2 | 1 | 39 | 6 |
| 2 | 1 | 45 | 7 |
| 2 | 1 | 46 | 7 |
| 2 | 2 | 44 | 7 |
| 2 | 1 | 47 | 7 |
| 2 | 1 | 49 | 7 |

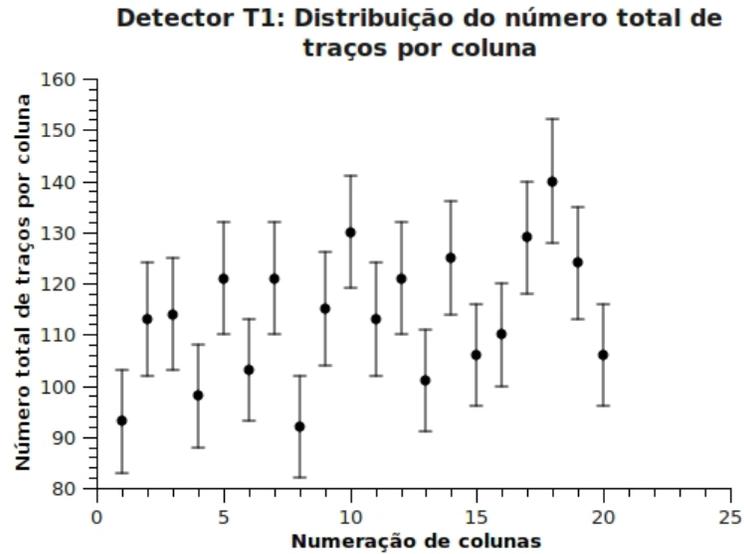


Figura 48: Distribuição do número total de de traços por colunas.

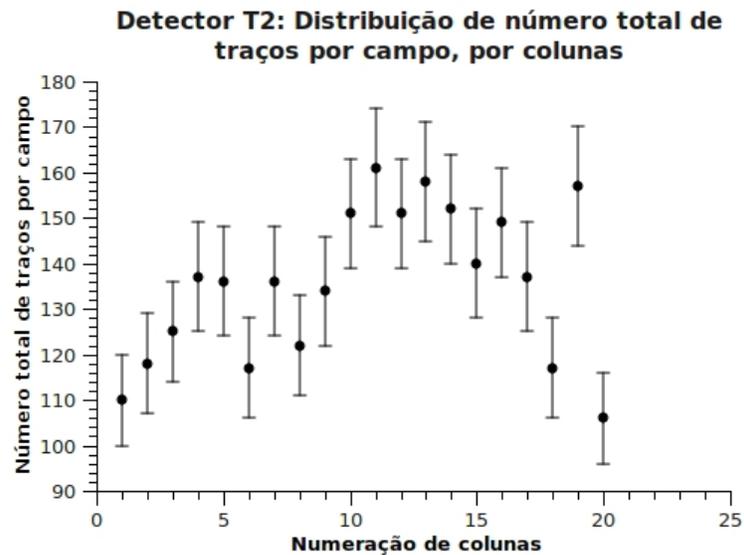


Figura 49: Distribuição do número total de de traços por colunas.

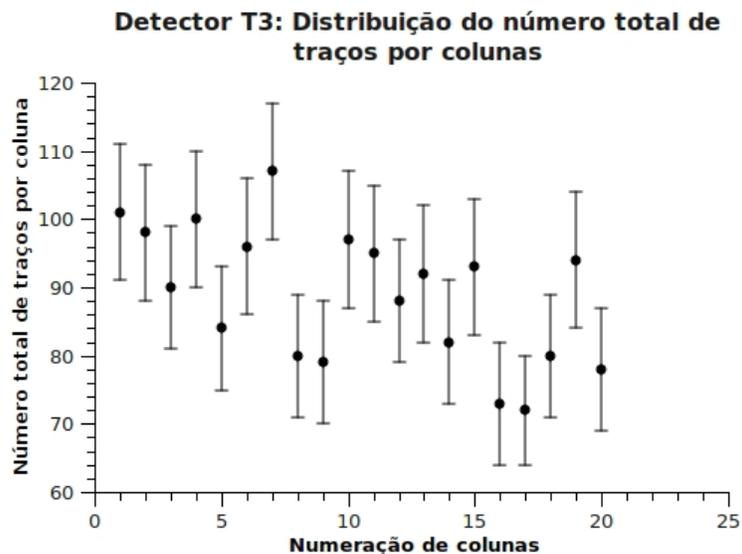


Figura 50: Distribuição do número total de de traços por colunas.

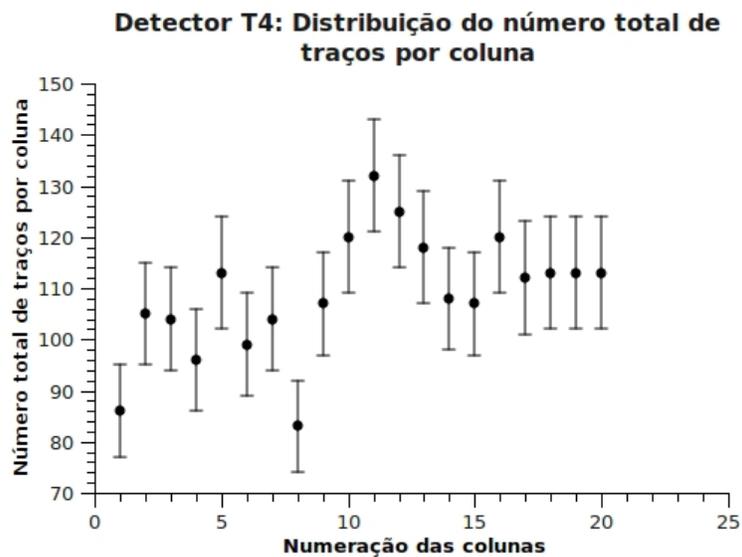


Figura 51: Distribuição do número total de de traços por colunas.

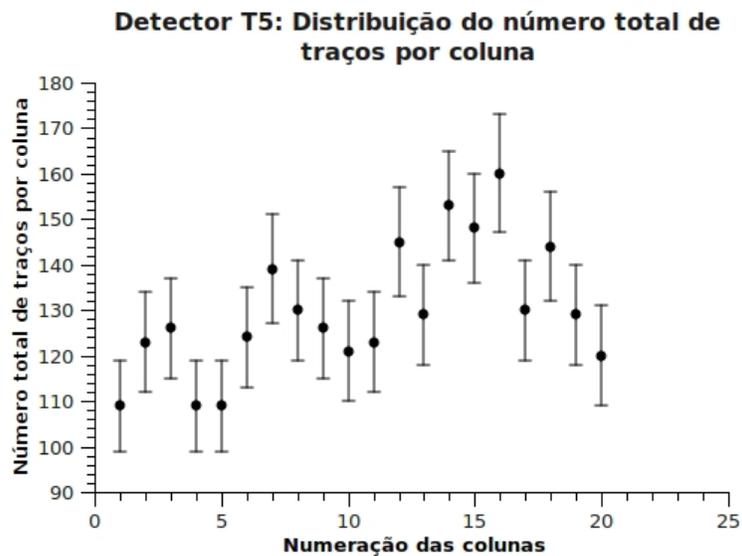


Figura 52: Distribuição do número total de de traços por colunas.

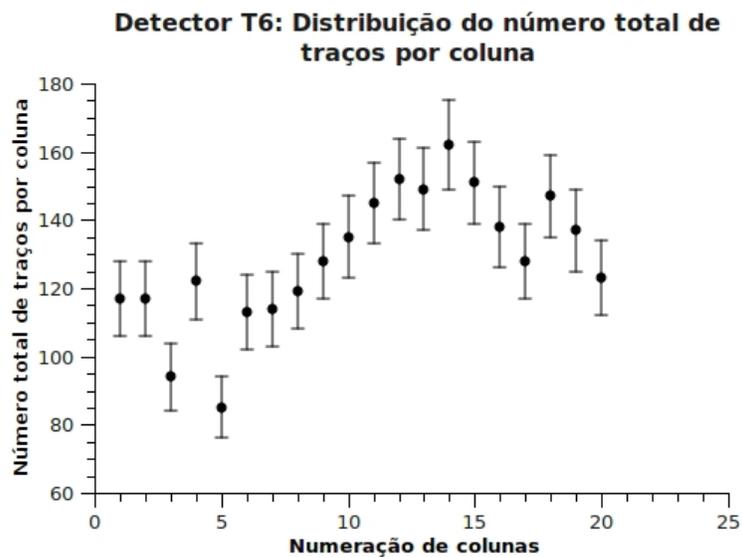


Figura 53: Distribuição do número total de de traços por colunas.

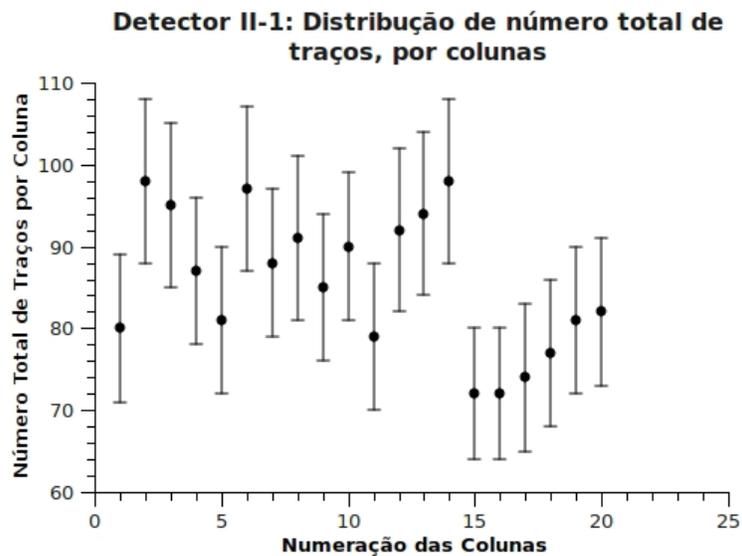


Figura 54: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-1.

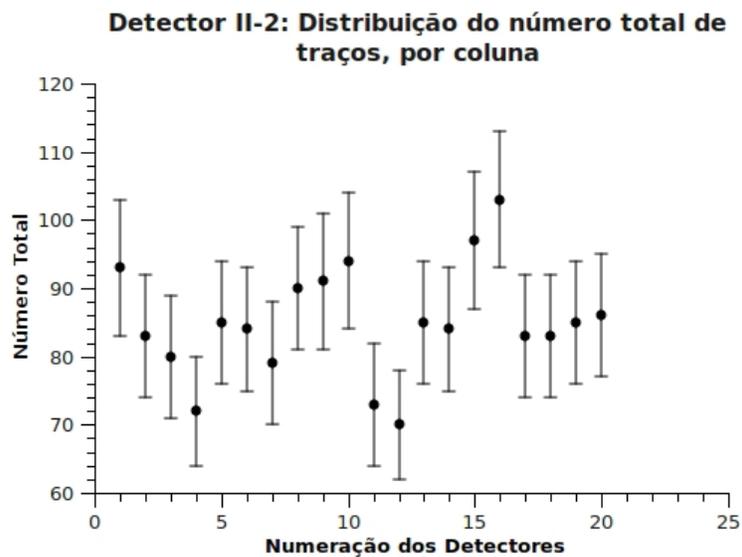


Figura 55: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-2.

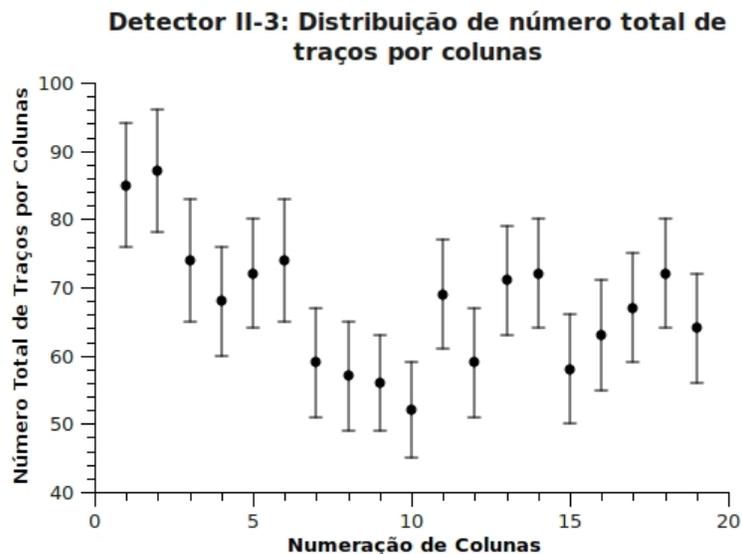


Figura 56: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-3.

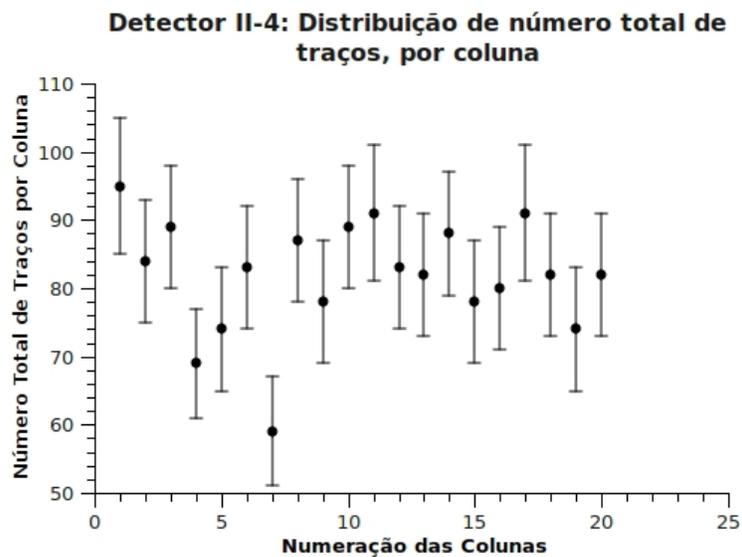


Figura 57: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-4.

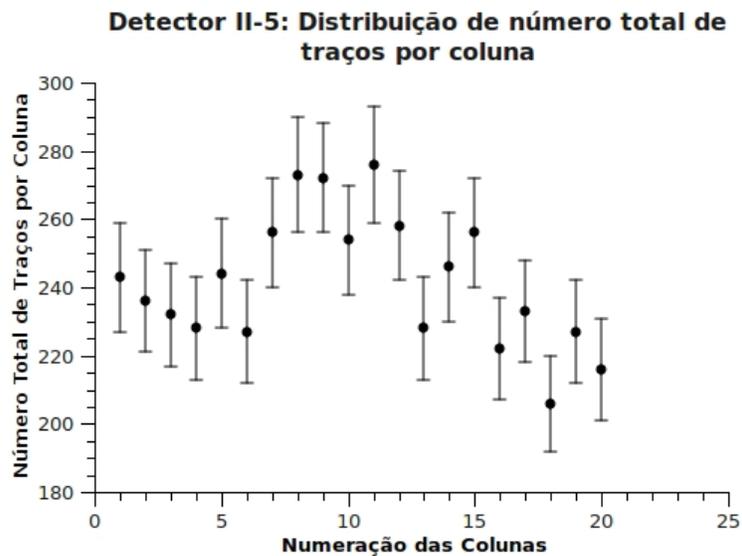


Figura 58: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-5.

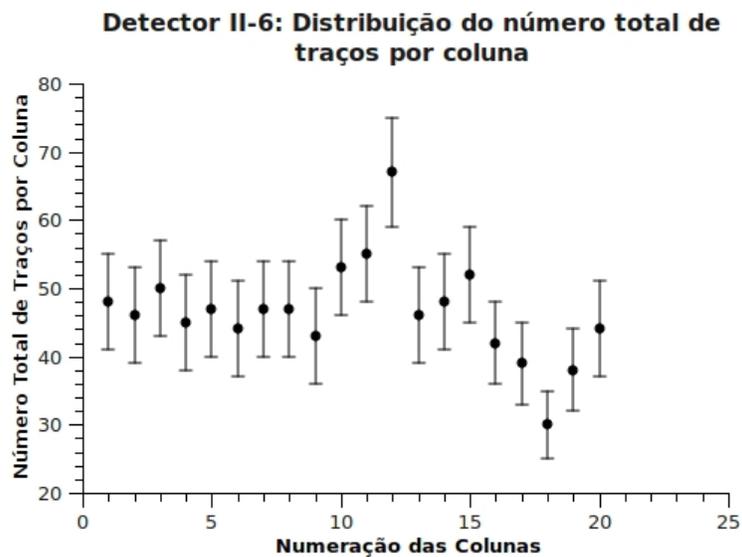


Figura 59: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector II-6.

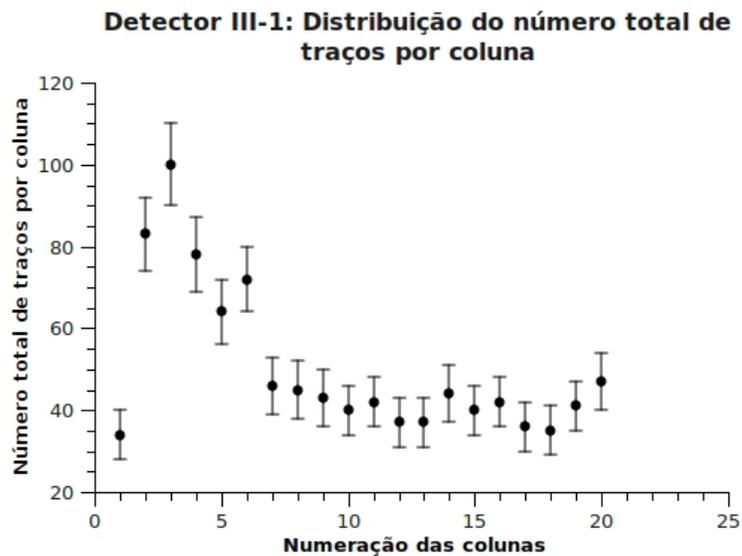


Figura 60: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-1.

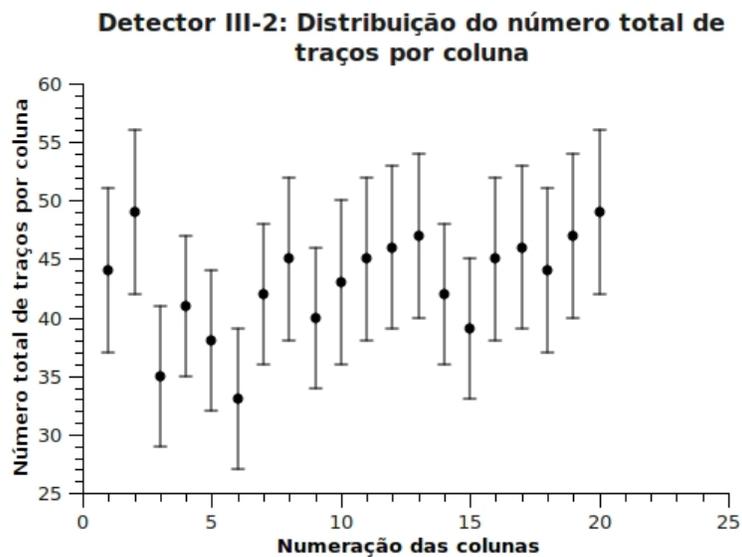


Figura 61: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-2.

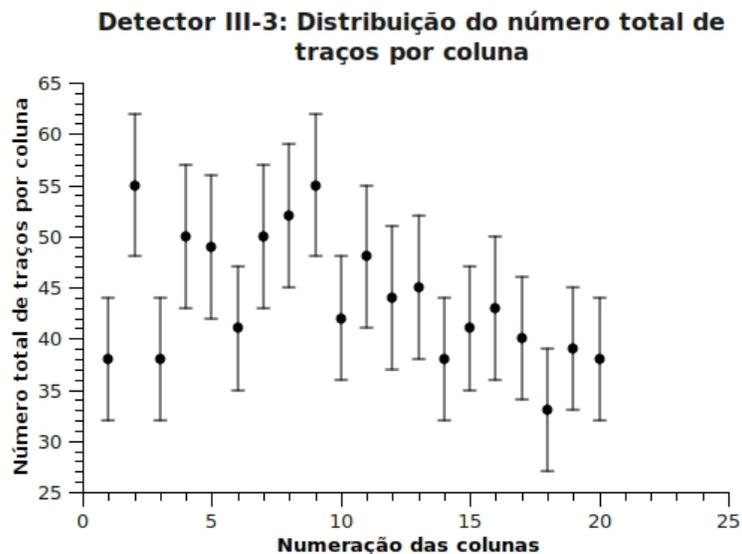


Figura 62: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-3.

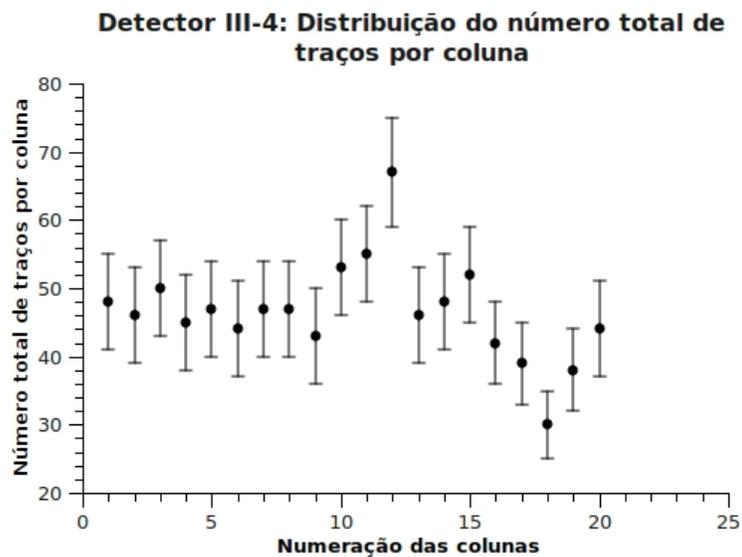


Figura 63: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-4.

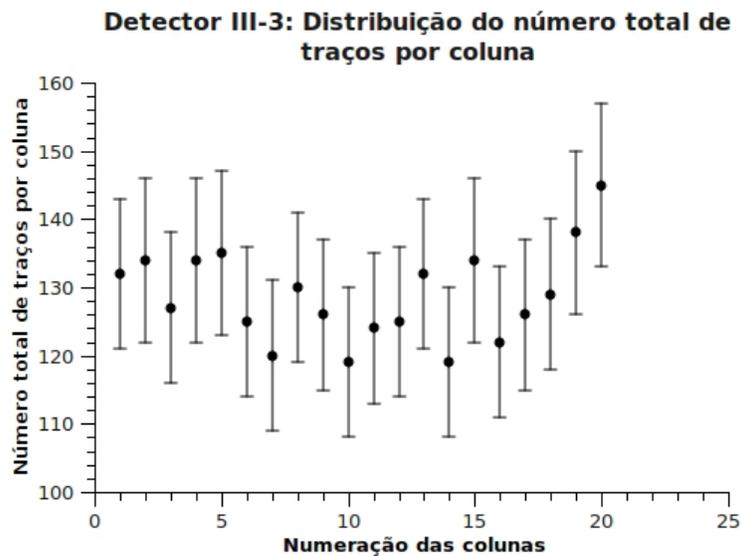


Figura 64: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-6.

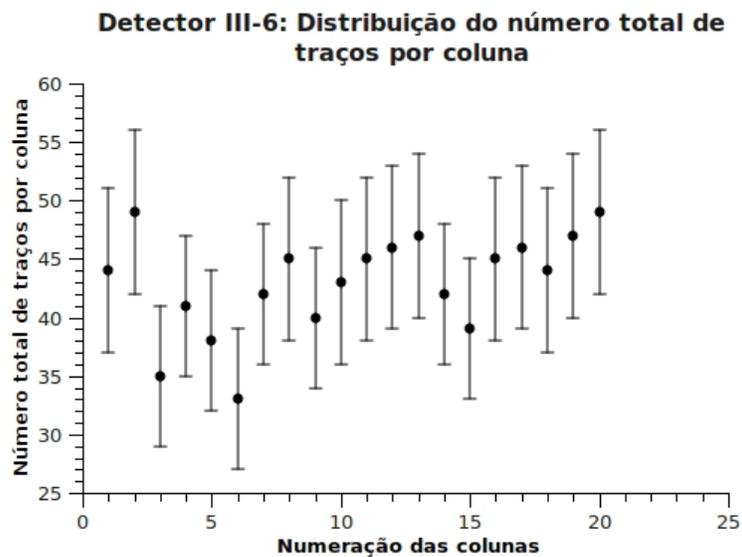


Figura 65: Distribuição do número total de de traços por colunas, no detector III-6.

Referências

- [1] Abu-Jarad, F.A. Application of nuclear track detectors for radon related measurements. *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, n. **15**, pp. 525-534, 1998.
- [2] Bastos, R. O. *Radiação gama natural de distintos litotipos e a estimativa de dose a eles associada, em municípios do leste do Estado de São PAULO*. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- [3] Bochicchio, F.; Forastiere, F.; Farchi, S.; Quarto, M.; Axelson, O. Residential radon exposure diet and lung cancer: a case control study in a Mediterranean region. *International Journal of Cancer*, n. **114**, pp. 983-991, 2005. 1
- [4] Cohen, B.L. Health effects of radon from insulating buildings, *Health Physics*, n. **39**, pp. 937-941, 1980. 1
- [5] Cohen, B.L.; Cohen, E. S. Theory and practice of radon monitoring with charcoal adsorption. *Health Physics*, n. **45**, pp. 501-508, 1983.
- [6] Cohen, B.L. Compilation and integration of studies of radon levels in U.S. homes by states and counties. *Critical Rev. Environ. Control*, n. **23**, pp. 243-364, 1992. 1
- [7] Cohen, B.L. Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Physics*, n. **68**, pp. 157-174, 1995. 1
- [8] Cohen, B.L. Cancer risk from low-level radiation. *American Journal of Roentgenology*, n. 179, pp. 1137-1143, 2002. 1
- [9] Cole, J., et. al. Lack of evidence for an association between the frequency of mutants or translocations in circulating lymphocytes and the exposure to radon gas in the home. *Radiation Research*, n. **145**, pp. 61-69, 1996.
- [10] Darby, S. et. al Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European cases-control studies. *BMJ*, n. **330**, pp. 223-226, 2005. 1
- [11] Durrani, Saeed A.; Ilic, Radomir. **Radon Measurements by Etched Track Detectors**. Singapura: World Scientific Publishing Co. Pte Ltd, 1997.
- [12] Foreman, N.K.; Thorne, cR.; Berry, P. J.; Oakhill, A.; Mott, M.G. Childhood malignancies in the South-West region of England, 1976-1985, *Medical and Pediatric Oncology*, n. **23**, pp. 14-19, 1994. 1

- [13] Godoy, M. ; Hadler N, J.C. ; Iunes, P.J.; MestanzaM, S.N. ; Oliveira, R.A.; Osorio A, A.M. ; Paulo, S.R. Effects of environmental conditions on the radon daughters spatial distribution. *Radiation Protection Dosimetry*, **n. 35**, pp. 213-221, 2002. 1
- [14] Guedes, S.; Hadler Neto, J. C.; Iunes, P.J.; Navia, L. M. S.; Neman, R. S.; Paulo, S. R.; Rodrigues, V. C.; Souza, W. F.; Tello, C. A.; Zúniga, A. Indoor radon daughters survey at Campinas-Brazil using CR-39: First results. *Radiation Measurements*, **n. 31**, pp. 287-290, 1999. 1
- [15] Guedes, S.; Hadler Neto, J. C. N.; Iunes, P. J.; Neman, R. S.; Paulo, S. R.; Souza, W. F.; Tello, C. A. Comparing summer and winter indoor radon and radon daughters activity in Campinas-SP, Brazil. *IAEA-TECDOC*, **n. 1271**, pp. 333-338, 2002. 1
- [16] Hadler N. ; J.C, P.J.Iunes ; A.M Osorio A. ; SR.Paulo. Relationship between track size and energy for alpha particles in CR-39. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **19**, Nos. 1-4, pp. 313-317, 1991. 1
- [17] Hadler Neto, J.C.; Paulo, S. R. Indoor Radon Daughters Contamination Monitoring: the Absolute Efficiency of CR-39 taking into Account the Plate-out Effect and Environmental Conditions. *Radiation Protection Dosimetry*, **n. 51**, pp. 283-296, 1994. 1, 2, 3
- [18] Hadler Neto, J.C.; Iunes, P.J.; Paulo, S. R. A; Policastro, A. P.; TELLO S., C. A. Discussion on the Reliability of alpha-spectroscopy Using CR-39 and a Image Processor. *Radiation Measurements*, Vol. 25, **Nos 1-4**, pp. 749-752, 1995
- [19] Hadler Neto, J.C.; Iunes, P.J.; Paulo, S. R. A Possibility of Monitoring Indoor Radon Daughters by Using CR-39 as an alpha-spectrometer. *Radiation Measurements*, Vol. 25, **Nos 1-4**, pp. 609-610, 1995
- [20] Harley, N. ; Samet, J.M. ; Cross, F.T. ; Hess, T. ; Muller, J. ; Thomas, D. Contribution of Radon and Radon Daughters to Respiratory Cancer *Environmental Health Perspectives* **Vol. 70**, pp. 17-21, 1986. 1
- [21] Henshaw, D.L. (1993). Radon Exposure in the home: its occurrence and possible health effects. *Contemporary Physics*, **n. 34**, pp. 31-48, 1993.
- [22] Marx, G. Risks of radioactivity, *Physics Education*, n. 28, pp. 121-125, 1993.
- [23] Neman, R. S. *Medida separada de radônio-222 e de seus filhos no ar: Monitoração na cidade de Poços de Caldas-MG e comparação de atividades envolvendo 2 outras técnicas de medida de radônio-222 no ar*. Tese (Doutoramento) - Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. 1, 2, 3, 5, 25

- [24] Neman, R. S. ; Hadler Neto, J.C. ; Iunes, P.J. ; Paulo, S.R. On indoor radon daughter's plate-out on material surfaces *Radiation Measurements* **39**, pp. 653-655, 2005. 1
- [25] Nikezic, D.; Yu, K.N. Formation and growth of tracks in nuclear track materials. *Materials Science and Engineering*, n. **R46**, pp. 51-123, 2004.
- [26] Orlando, C.; Orlando, P.; Patrizii, L.; Tommasino, L.; Tonnarini, L.; Trevisi, R. ; Viola, P. A passive radon dosimeter suitable for workplaces *Radiation Protection Dosimetry*, **102**, pp. 163-168, 2002.
- [27] Paulo, S. R. *Dosimetria ambiental de Rn-222 e filhos: Medida da eficiência absoluta do CR-39 levando-se em conta os efeitos do plate-out e fatores ambientais*. Tese (Doutorado), Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991. 1, 2
- [28] Paulo, S.R.; Hadler, Neman, R. S.; J. C.; Iunes, P.J., Hadler Neto, J.C. Simulating radon daughters diffusion through the air and their depletion on material surfaces *Radiation Measurements*, n. **34**, pp. 517-519, 2001. 1
- [29] Paulo, S.R.; Hadler Neto, J.C.; Iunes, P. J.; Neman, R. S.; Guedes, S.; Osório, A. M.; Tello, C. A. Radon Surveys in Brazil using CR-39. *Radiation Measurements*, n. **39**, pp. 657-660, 2005. 2
- [30] Pershagen, G.; Liang, Z. H.; Hubrek, Z.; Svensson, C.; Boyce, J. D. Residential radon exposure and lung cancer in Swedish women. *Health Physics*, n. **63**, pp. 179-186, 1992.
- [31] Pershagen, G.; Akerblom, G.; Axelson, O.; Clavensio, B.; Damber, L.; Desai, G.; Enflo, A.; Lagarde, F.; Mellander, H.; Svartengren, M.; Swedjemark, G. A. Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden. *New England Journal of Medicine*, n. **330**, pp. 159-164, 1994.
- [32] Segre, E. *Experimental Nuclear Physics*, Vol. 1, Jhon Wiley, N.Y, 1953.
- [33] Tommasino, L.; Cherouati, D. E.; Seidel, J. L.; Monin, M. A plastic-bag sampler for passive radon monitoring. *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, n. **12**, pp. 681-684, 1986.
- [34] UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 1998. 1
- [35] Zúñiga Gamarra, A.R. . *Caracterização do CR-39 como espectrômetro alfa*. Tese (Doutoramento) - Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

Índice

- acrílico, 19, 20
- alumínio, 19, 20
- análise estatística, 11
- análise por linhas, 13
- análises por colunas, 13
- ataque químico, 15
- atividade média, 18

- câmara de difusão, 5
- câncer, 1
- câncer de pulmão, 1
- campânula, 18
- campânula de vidro, 17
- campos de visão, 16
- condutor, 18
- correntes de convecção, 18
- CR-39, 19, 20

- densidade superficial de traços, 2
- detecção, 15
- detector CR-39, 2
- detectores externos, 15
- dielétrico, 18
- difusão, 1
- difusão de radônio, 3
- distribuição, 13

- emissores alfa, 2
- equilíbrio de atividades, 2
- erro poisson, 21–23
- erros experimentais, 15
- estatística de Poisson, 13
- evento raro, 13
- Experimento I, 17
- exposição, 15

- filhos de radônio, 2

- gás nobre, 1
- geometria de detecção, 3
- geometria de filme fino, 3, 4
- gradiente, 18
- Grupo Cronologia, 1

- mapeamento, 11
- material dielétrico, 5, 17
- matrizes de mapeamento, 13
- microscópio, 11
- microscópio óptico, 15
- monitor metálico, 3
- monitor NRPP/SSI, 5
- monitores, 17, 18
- monitores de plástico, 17

- NRPB/SSI, 17

- outliers, 16

- partículas alfa, 15
- plástico condutor, 5
- propileno, 5

- régua micrométrica, 10
- radônio, 1, 3, 18
- radônio ambiental, 1
- radiação alfa, 5
- reservatório térmico, 15

- sensibilidade de resposta, 5
- sistema de digitalização, 16
- software gráfico, 16

- temperatura, 18

- uniformidades, 17