PERCEPÇÃO DE RADIAÇÕES IONIZANTES POR INSETOS

CLAYTON CAMPANHOLA

Orientador: Julio Marcos Melges Walder

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Abril, 1980

A

MEUS PAIS E IRMÃOS

D E D I C O.

AGRADECIMENTOS

- Ao Dr. Julio Marcos Melges Walder, a orientação e amizade.
- A minha esposa *Silvia de Toledo Campanhola*, a compreensão e boa vontade com que cedeu nossas horas de lazer.
- Aos Drs. *Frederico Maximiliano Wiendl* e *Ricardo Bohrer Sgrillo*, as críticas e sugestões.
- Ao Dr. *Humberto de Campos*, o auxílio na oção das análises estatísticas.
- Ao Dr. *Francisco de Assis Menezes Mariconi*, o interesse e entusiasmo com que sempre me recebeu.
- À Dra. *Elza Flores Rüegg*, a compreensão e apoio.
- À Dra. *Diva Athié*, pela versão do resumo em inglês.
- Aos amigos da *Seção de Entomologia do CENA*, a solidariedade.
- Ao *Centro de Energia Nuclear na Agricultura*, as facilidades concedidas.
- À *Comissão Nacional de Energia Nuclear*, o suporte financeiro.
- A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.
- A *Deus*, por ter-me dado forças nas horas difíceis.

INDICE

1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Percepção de radiações	5
3.2. Teoria do efeito Cerenkov	12
3.3. Sensibilidade lumínica espectral dos insetos	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
5. RESULTADOS	24
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1. Testes estatísticos utilizados	52
6.2. Resultados dos testes estatísticos e discussão para as diferentes espécies	54
6.3. Discussão geral	96
7. CONCLUSÕES	98
8. SUMMARY	100
9. LITERATURA CITADA	102

1. RESUMO

Com este trabalho procurou-se constatar a existência de percepção de radiações ionizantes por insetos e esclarecer sobre o mecanismo através do qual ela se processa. Outro objetivo é averiguar se a percepção induz a um afastamento dos insetos da fonte radioativa, evidenciando uma proteção aos danos causados pelas radiações ionizantes, ou se o estímulo de comportamento é similar àquele provocado por radiações luminosas.

Como fontes de radiações gama utilizou-se o ^{60}Co e o ^{241}Am , estando a fonte de ^{60}Co com 0,435 mCi e a de ^{241}Am com 99,68 mCi de atividade. Os insetos adultos das espécies *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), *Sitophilus oryzae* (L., 1763), *Ephestia cautella* (Walker, 1864), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) e operárias de *Atta bisphaerica* Forel, 1908 e *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) foram utilizados nos seguintes tratamentos: exposição às radiações do ^{60}Co

e ^{241}Am e ausência de exposição (testemunha).

Os insetos, num total de aproximadamente 50 por repetição, foram liberados na região central de uma arena de madeira branco opaco dividida em 3 setores de mesma área, com 60,0 cm de diâmetro e 7,5 cm de altura, coberta com telado de náilon. Efetuaram-se 5 repetições por tratamento e a distribuição dos insetos foi avaliada por meio de fotografias tiradas a 15, 30, 45 e 60 minutos após a soltura.

As espécies *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) e *Atta bisphaerica* Forel, 1908 não apresentaram respostas comportamentais passíveis de generalizações em relação às radiações gama do ^{241}Am e ^{60}Co . Porém, as espécies *Sitophilus oryzae* (L., 1763) e *Ephestia cautella* (Walker, 1864) apresentaram alguma resposta às radiações gama do ^{241}Am , a qual foi da mesma natureza que a provocada pela luz, ou seja, tatismo negativo.

Concluiu-se que as radiações ionizantes podem ser detectadas pelos insetos ou por estímulo visual direto, ou por estímulo visual através de produção de radiações Cerenkov, resultantes da interação das radiações com outro componente ocular, de maior índice de refração que a água. E também que, na percepção de radiações ionizantes pelos insetos, a atividade da fonte radioativa foi relevante em comparação com a energia das radiações emitidas pela mesma ou, em outros termos, o que importa é a dose absorvida de radiações.

2. INTRODUÇÃO

Muitos autores efetuaram estudos alusivos à resposta de insetos a radiações ionizantes, como *GOLDHABER e FELDMAN-MUHSAM (1944)*, *SMITH et alii (1963)*, *SMITH e KIMELDORF (1964)*, *BROWER (1967)*, *MARTINSEN e KIMELDORF (1972)*, *WIENDL (1972)* e *WIENDL e WALDER (1975)*. Porém, pouco se conhece do mecanismo ou processo através do qual as radiações ionizantes são perceptíveis, bem como da natureza da resposta comportamental provocada por estas radiações em insetos.

Um dos objetivos a que se propõe este estudo é a constatação da existência ou não de perceptividade às radiações ionizantes pelos insetos. Caso haja percepção, será verificado se esta se processa através de estímulo visual direto ou se através de efeitos secundários, resultantes da interação das radiações ionizantes com a matéria. Um processo viável seria aquele em que os fotoelétrons e elétrons Compton, provenientes da interação das radiações gama com os componentes do olho dos insetos, ricos em

agua, originariam fótons na faixa do ultravioleta e luz visível denominados radiações Cerenkov. Estes fótons seriam captados pelo rabdoma e se constituiriam em estímulo visual.

Outro objetivo deste trabalho é averiguar se a percepção induz a um afastamento dos insetos da fonte radioativa, evidenciando uma proteção aos danos causados pelas radiações ionizantes, ou se o estímulo de comportamento é similar àquele provocado por radiações luminosas.

Um afastamento em relação à fonte de radiações pode-se constituir em problema na desinfestação de grãos e produtos armazenados. Os insetos, migrando para regiões onde as taxas de dose são mais baixas, se submetem, no tempo previsto de exposição, a uma dose subesterilizante, contribuindo assim, para um controle ineficiente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Devido à sua heterogeneidade, este item foi subdividido em três, quais sejam: percepção de radiações, teoria do efeito Cerenkov e sensibilidade luminosa espectral dos insetos.

3.1. Percepção de radiações

Estudos relativos à percepção de radiações por animais, de um modo geral, são relativamente recentes.

É fato conhecido desde a metade do século, que radiações ionizantes podem agir como estímulo de luz em relação ao sistema visual de homens e rãs (LIPETZ, 1955 a). As doses efetivas de radiações para estimular o sistema visual destas espécies parecem ser relativamente pequenas. Ainda LIPETZ (1955 b) observou descargas elétricas em células de gânglio da retina de rãs "in situ" quando o olho era estimulado por raios X, deter-

minando que a dose limiar para esse efeito foi 156 mR a uma taxa de 0,78 R/seg.

HUG (1960), segundo SMITH *et alii* (1963), identificou algumas reações às radiações ionizantes em invertebrados marinhos, tais como re_ tração de tentáculos, fechamento de conchas ou migração para áreas expostas a baixa intensidade de radiação. Ainda SMITH *et alii* (1963) revelaram outros autores envolvidos nesse tipo de pesquisa, como KREBS (1961) e SCARBO-ROUGH e ADDISON (1962), que, trabalhando com, respectivamente, tartarugas e peixes, constataram a ocorrência de distúrbios imediatos no comportamento desses animais provocados por fontes de alta intensidade de radiação gama.

Através do levantamento do eletroretinograma por meio de es- t_ t_ mulos de raios X em rãs, BACHOFER e WITTRY (1962) encontraram que o limi_ ar de obtenção de um potencial de pico foi de, aproximadamente, 7 mR a 162 R/seg e que o limiar de taxa de dose para obtenção de uma resposta no ele- troretinograma, com adaptação anterior do olho ao escuro, foi de 0,001 R/seg durante 3 a 4 segundos.

BROWER (1967) citou que KIMELDORF e HUNT (1965), em experi- mentos de laboratório, demonstraram que certos animais vertebrados podem perceber, aparentemente, as radiações e tendem a evitá-las.

Contudo, são raras as referências que visam a identificação do mecanismo fisiológico pelo qual os estímulos de raios X provocam respos- tas comportamentais em artrópodos. Alguns estudos têm enfatizado os foto- receptores como responsáveis por esse processo. TERWILLIGER e LEVY (1964),

por exemplo, observaram que caranguejos não exibiram respostas de comportamento a raios X quando seus olhos foram extirpados.

O primeiro trabalho relacionado com percepção de radiações ionizantes por insetos foi desenvolvido por *GOLDHABER* e *FELDMAN-MUHSAM* (1964). Estes autores efetuaram experimento com larvas e pupas do mosquito *Aedes aegypti* (L.) utilizando uma fonte de raios X. O número de movimentos por minuto foi tomado como uma indicação da atividade. Esta, antes do início da irradiação, variou de 30 a 80 movimentos por minuto, para diferentes indivíduos. Com uma intensidade de 38.000 R/min, pode ser notada a diferença de atividade entre diferentes indivíduos durante sucessivas irradiações de 1 minuto alternadas com interrupções de mesma duração. A atividade aumentou de 20 a 60 movimentos por minuto, durante a irradiação. Nenhuma suposição relacionada com o processo de percepção dos raios X pelas larvas e pupas de *Aedes aegypti* (L.) foi feita pelos autores.

BROWER (1967) comentou que *HUG* (1960) se referiu a uma resposta de aversão a radiações exibida por formigas submetidas a baixas taxas de exposição.

Baseando-se no fato de que muitas espécies demonstraram uma resposta imediata de comportamento quando submetidas às radiações ionizantes, *SMITH et alii* (1963) efetuaram testes com mariposas, 8 espécies de Noctuidae e uma de Arctiidae, com o intuito de avaliar a sensibilidade desses insetos à baixa intensidade de radiação, utilizando uma fonte de raios X. Após a adaptação ao escuro por 4 minutos, cada espécime foi submetido ao menos 3 vezes às taxas de 0,33; 0,13; 0,10 e 0,07 R/seg. A duração

da exposição variou de 1 a 15 segundos e o tempo entre exposições flutuou entre vários segundos a 3 minutos.

Os resultados mostraram uma resposta dos insetos à exposição aos raios X através de movimento de asas ou mudança na amplitude do movimento durante o voo. As taxas de dose, em R/seg, para iniciar essa ação nas diferentes espécies foram: *Crymodes devastator* (Brace), 0,50; *Protorthodes rufula* (Grote), 0,37; *Agrotis ypsilon* (Rottemberg), 0,01; *Agrotis ypsilon* (Rottemberg), 0,01; *Agrotis ypsilon* (Rottemberg), 0,12; *Agrotis subterranea* (Fabricius), 0,20; *Acronicta mormorata* (Smith), 0,10; *Catocala irene* (Behr), 0,17; *C. irene* (Behr), 1,50; *Prodenia praeifica* (Grote), 0,17; *Mamestra configurata* (Walker), 0,33 e *Halisidota maculata* (Harris), 0,33. Nota-se que existem grandes disparidades no limiar para diferentes preparações dentro de uma mesma espécie e, obviamente, entre espécies diferentes.

Esses pesquisadores concluíram que fica difícil obter um efeito da ação das radiações em fibras musculares, em vista da baixa dose de exposição e da pequena latência. Salientaram também que a resposta motora pode ser obtida somente quando o espécime permanece em local escuro por vários minutos, podendo ser a indução da atividade de voo uma consequência do estímulo visual provocado pela baixa intensidade de radiação.

SMITH e KIMELDORF (1964) fizeram comparações entre radiações beta e luz como estímulo ao sistema visual dos noctuídeos *Pseudaletia unipuncta* e *Agrotis ypsilon*, utilizando 3 fontes de radiações beta de 22, 50 e 87 mCi de ^{90}Sr e uma lâmpada de tungstênio de 6 Volts e 1,8 "meter-candles" de iluminação. Além de outros estudos, esses autores determinaram a taxa

de dose limiar para uma resposta às radiações beta, com a fonte de 22 mCi. As taxas variaram de 0,02 e 0,06 R/seg para diferentes espécies e preparações distintas de uma mesma espécie. O limiar encontrado foi 20 mR/seg, a uma dose de 0,25 mR.

Smith e Kimeldorf concluíram que as radiações beta podem originar um eletroretinograma de olho de mariposa igual ao produzido pelo estímulo luminoso e que o pigmento atenuador é transparente às radiações ionizantes, mas atenua o estímulo luminoso. Comentaram não estar claro se a ação das radiações beta é sobre o receptor ou se é devida a um efeito secundário de fluorescência causado pelas radiações.

Na floresta experimental de Brookhaven, EUA, com uma fonte de ^{137}Cs de 9.500 Ci em seu centro, *BROWER (1967)* estudou os efeitos das radiações gama, a uma taxa de 200 R/dia, em uma colônia de formigas *Formica integra* Nyl. O autor observou modificações nos hábitos desses insetos e sugeriu que tal comportamento tenha-se relacionado com as radiações e seus efeitos. Entretanto, as mudanças na comunidade causadas pelas radiações complicaram a interpretação; a construção de uma trilha em direção oposta à fonte pode ter sido induzida pela abundância de alimentos nessa região. Contudo, deve-se lembrar que a trilha serviu para reduzir o nível de exposição ao longo de seu comprimento e na área de coleta de forragens. O hábito de amontoar entulhos na base do toco de madeira onde se encontrava o ninho foi abandonado.

Observações durante o mesmo período de tempo (3 anos) em outras colônias afastadas da fonte de radiações não revelaram mudanças simila

res às observadas. Portanto, supõe-se que as alterações estejam relacionadas com a exposição às radiações gama.

Em um estudo teórico envolvendo a sensibilidade de insetos às radiações, *CALLAHAN (1967)* referiu-se ao fato de que as características dos olhos e espinhos sensitivos favorecem a comunicação entre os insetos por meio de radiações infravermelho e microondas. O objetivo foi obter o processo pelo qual os insetos se relacionam com as radiações eletromagnéticas totais de seu meio ambiente, ou seja, os transdutores que coletam e amplificam a energia do ambiente ou de outros insetos e a transferem para o sistema nervoso.

Teoricamente, Callahan provou que tanto as substâncias cerosas que revestem a cutícula dos insetos, como seu próprio exoesqueleto, apresentam eficientes propriedades termoeleétricas, isto é, podem ser submetidos à ação simultânea de calor (infravermelho) e campo elétrico. Esses efeitos podem ser, posteriormente, transmitidos ao sistema nervoso. Esse pesquisador concluiu ainda que os olhos compostos e os ocelos de mariposas podem ser considerados como detectores de radiações infravermelho incoerentes e os espinhos (antenas tubulares dielétricas), como receptores de infravermelho coerentes.

MARTINSEN e KIMELDORF (1972) verificaram que a taxa limiar de exposição a raios X para provocar uma resposta bioelétrica no olho de formigas *Camponotus herculeanus* foi menor que 300 mR/seg. A perda de resposta ao estímulo por radiações beta do ^{90}Sr (100 ou 50 mCi) foi irreversível e pareceu depender da dose total absorvida.

Os autores observaram que os mecanismos de ação de partículas beta no olho podem diferir daqueles de fótons visíveis e raios X. Apesar das diferenças inexplicáveis entre as respostas eletroretinográficas de raios X e radiações beta, constataram que, sob condições de adaptação ao escuro, os olhos das formigas detectaram a presença de fótons de alta energia e elétrons. Tal detecção, entretanto, não iniciou uma reação comportamental imediata das formigas aos raios X. Mesmo assim, respostas imediatas no comportamento foram observadas com taxas de exposição a raios X tão baixas como 0,05 R/seg.

Estes autores foram, provavelmente, os primeiros a se certificarem de que os receptores dos olhos e antenas são detectores de radiações ionizantes. Por exemplo, estimativas de limiar de exposições ou doses, liberadas em frações de 1 segundo, indicaram que os receptores dos olhos e antenas da formiga *Camponotus herculeanus* podem detectar raios X e radiações beta da ordem de mrad.

Um dos estudos mais recentes relacionados com a percepção de radiações gama por insetos foi desenvolvido por WIENDL e WALDER (1975) com adultos de *Sitophilus zeamais* Mots.

Esses pesquisadores dispuseram tubos de locomoção de lucite com 1 m de comprimento, radialmente a uma fonte gama de ^{60}Co de 650 Ci e, imediatamente após as sucessivas irradiações, fizeram contagens dos indivíduos a diversas distâncias da fonte. Compararam a distribuição dos insetos submetidos à ação das radiações com a do tratamento testemunha (sem fonte radioativa), concluindo que *Sitophilus zeamais* Mots. percebe a radia-

ções gama e que a mesma se traduz por locomoção em direção oposta à fonte radioativa.

Como explicação, Wiendl e Walder aventaram a hipótese de ser possível uma influência direta das radiações sobre os órgãos visuais, havendo ainda a possibilidade de existir uma relação entre esse fato e o efeito Cerenkov proveniente da interação das radiações com a água existente nas células oculares.

3.2. Teoria do efeito Cerenkov

O efeito Cerenkov foi descrito detalhadamente por vários autores, entre eles *MARSHALL (1952)*, *JELLEY (1953, 1958)*, *HUTCHINSON (1960)* e *MOYER (1962)*, segundo *NASCIMENTO FILHO (1975)*.

Simplificadamente, o efeito Cerenkov se traduz por radiações produzidas quando uma partícula carregada atravessa um meio transparente com uma velocidade maior que a velocidade da luz nesse mesmo meio. A partícula fica sujeita a uma forte força de desaceleração e, durante esse período de rápida desaceleração, radiações eletromagnéticas são geradas.

A condição limiar para a formação de radiação Cerenkov é:

$$\beta \cdot n = 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

onde: $\beta = \frac{\text{velocidade da partícula (v)}}{\text{velocidade da luz (c)}}$

η = índice de refração do meio transparente.

Através da mecânica relativística, β pode ser relacionado com a energia cinética da partícula (T):

$$T = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right] \dots\dots\dots (2)$$

onde: $m_0 c^2$ = massa de repouso da partícula carregada.

No caso de radiações gama, estas interagem com materiais de número atômico baixo, como a água, por efeitos Compton e fotoelétrico. Os elétrons Compton predominam em relação aos fotoelétrons para radiações gama pouco energéticas.

Os olhos compostos dos insetos apresentam constituintes com elevado teor de água. Para elétrons, o limiar de energia para a ocorrência de efeito Cerenkov na água ($\eta = 1,33$) é de 263 keV (ROSS, 1969; ROSS e RASMUSSEN, 1974; NASCIMENTO FILHO, 1975; GELSEMA *et alii*, 1975). Assim, os elétrons Compton e os fotoelétrons gerados pela interação das radiações gama com a matéria devem possuir energia cinética maior que 263 keV.

Pela teoria de Frank e Tamm, segundo ROSS (1969) e PARKER e ELRICK (1970), pode-se obter o número de fótons produzidos por unidade de comprimento percorrida por um elétron em uma determinada região do espectro:

$$\frac{dN}{dx} = 2\pi \frac{e^2}{hc} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \left(1 - \frac{1}{\beta^2 \cdot \eta^2} \right) \text{ (fótons/cm)} \quad (3)$$

onde: $\frac{dN}{dx}$ = nº de fótons emitidos por unidade de percurso de elétron;

λ_1 = limite inferior da faixa espectral considerada;

λ_2 = limite superior da faixa espectral considerada;

e = carga eletrônica

h = constante de Planck

c, β, η = definidos anteriormente.

Para determinar-se a produção total de fótons de um certo evento Cerenkov, a equação (3) seria normalmente integrada nos limites de x , ou seja, o percurso da partícula. Entretanto, a equação não pode ser usada, porque a distância percorrida pela partícula varia com a sua energia inicial e torna-se uma variável durante o percurso.

O número de fótons emitidos por elétrons na água, em função de sua energia inicial, consta da Tabela 1.

Pelos dados observados, nota-se a predominância de fótons na região do ultravioleta e azul, independentemente da energia do elétron.

Como ficou comprovado, a produção de ondas eletromagnéticas pelo efeito Cerenkov depende somente da energia da partícula carregada, para um mesmo meio transparente. Contudo, *NASCIMENTO FILHO (1975)* ressalta que se um radioisótopo emissor de partículas beta de alta energia estiver

Tabela 1 - Produção de fótons Cerenkov por elétrons, na água, para regiões selecionadas do espectro
(ROSS, 1969)

Energia do elêtron (keV)	Fótons/região espectral (nm)						
	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-550	500-600
275	0.0032	0.0023	0.0017	0.0013	0.0011	0.0009	0.0007
300	0.0041	0.0029	0.0022	0.0017	0.0013	0.0011	0.0009
350	0.273	0.194	0.146	0.113	0.091	0.074	0.062
400	0.723	0.513	0.385	0.300	0.240	0.196	0.163
450	1.37	0.975	0.731	0.569	0.455	0.373	0.309
500	2.22	1.58	1.18	0.922	0.737	0.604	0.501
550	3.26	2.31	1.73	1.35	1.08	0.884	0.734
600	4.45	3.16	2.37	1.85	1.48	1.21	1.00
650	5.80	4.12	3.09	2.41	1.92	1.58	1.31
700	7.59	5.39	4.04	3.15	2.51	2.06	1.71
750	8.94	6.35	4.76	3.71	2.96	2.43	2.01
800	10.07	7.59	5.69	4.43	3.54	2.90	2.41
850	12.6	8.92	6.69	5.21	4.16	3.41	2.83
900	14.6	10.3	7.75	6.04	4.83	3.95	3.28
950	16.6	11.8	8.87	6.91	5.52	4.52	3.75
1000	18.9	13.4	10.0	7.82	6.25	5.12	4.25
1200	28.5	20.3	15.2	11.8	9.46	7.75	6.43
1400	39.6	28.1	21.1	16.4	13.1	10.7	8.92
1600	51.7	36.7	27.5	21.4	17.1	14.0	11.6
1800	64.8	46.0	34.5	26.9	21.5	17.6	14.6
2000	78.8	56.0	42.0	32.7	26.1	21.4	17.8
2200	93.6	66.5	49.8	38.8	31.0	25.4	21.1
2400	109	77.6	58.2	45.3	36.2	29.7	24.6
2600	125	89.1	66.8	52.0	41.6	34.1	28.3
2800	142	101	75.8	59.0	47.2	38.7	32.1
3000	160	114	85.1	66.3	53.0	43.4	36.0
3200	178	126	94.7	73.8	58.9	48.3	40.1
3400	196	140	105	81.5	65.1	53.3	44.3
3600	215	153	115	89.3	71.4	58.5	48.6
3800	235	167	125	97.5	77.9	63.8	53.0
4000	215	181	136	106	84.5	69.3	57.5

contido em um meio colorido (amarelo, por exemplo) ou que tenha uma faixa ou pico de absorção na região ultravioleta (íons nitrato e nitrito), os fótons produzidos poderão ser absorvidos por este próprio meio. Isto acarreta uma diminuição da eficiência de detecção.

3.3. Sensibilidade luminosa espectral dos insetos

Devido ao fato da interação por efeito Cerenkov na água gerar fótons com uma distribuição espectral, torna-se necessário conhecer a sensibilidade luminosa espectral dos insetos visando-se avaliar se existe coincidência entre a faixa de maior emissão de fótons Cerenkov com os picos de sensibilidade apresentados pelos olhos dos insetos.

A sensibilidade ao espectro luminoso demonstrada por insetos começou a ser elucidada há poucas décadas.

BERTHOLF (1931) procurou generalizar a região de espectro luminoso mais sensível aos animais, constatando que ela se encontra entre a região do azul-verde e amarelo, ou seja, entre 473 e 580 nm, dependendo do animal.

Ainda *BERTHOLF (1931)* obteve que, para abelhas, a eficiência máxima de estímulo visual está no comprimento de onda 553 nm, que corresponde exatamente ao ponto de maior sensibilidade para o homem.

STERMER (1959) citou que estudos conduzidos por *GUI et alii*

(1942), TAYLOR e DEAY (1950) e GLICK *et alii* (1955) indicaram que certos insetos demonstraram maior resposta para os menores comprimentos de onda do espectro luminoso. Entretanto, WEISS *et alii* (1942) mostraram que uma mudança na intensidade alterou a resposta espectral de várias espécies de insetos.

Em seu experimento, STERMER (1959) determinou a resposta espectral dos insetos: *Sitophilus oryzae* (L.), *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Ephestia cautella* (Walker), *Rhyzopertha dominica* (F.), *Tribolium castaneum* (Herbst), *Plodia interpunctella* (Hbn.) e *Laemophloeus minutus* (Oliv.). Esse autor constatou uma reação fototática negativa para todas as espécies, tendo a mesma aumentado significativamente com um aumento da intensidade luminosa. Entretanto, houve alguma discrepância em relação aos picos de maior sensibilidade, quando comparados com outros trabalhos. O pico de maior resposta esteve ao redor de 500 nm para muitas espécies.

Stermer observou também que todas as espécies testadas exibiram uma baixa resposta a 60 nm e praticamente nenhuma resposta a 280,4 nm. Por fim, ele salientou o fato de que uma variação na intensidade luminosa não alterou a resposta espectral, atribuindo as discrepâncias existentes em relação a outros autores, tais como WEISS *et alii* (1942), como uma provável falta de conhecimento, por parte deles, da intensidade luminosa exata para cada comprimento de onda considerado.

De acordo com GALLO *et alii* (1970), a maioria dos insetos tem um pico de resposta à luz monocromática em 365 nm e um pico secundário entre 492 e 515 nm.

Segundo *BURSELL (1970)*, tem sido demonstrada a existência de dois pigmentos distintos no olho dos insetos: um com o pico de 340 nm (ultravioleta) e outro com um pico de 540 nm (verde-amarelo). Em moscas, tem sido possível investigar a sensibilidade espectral de células sensoriais isoladas usando-se eletrodos intracelulares. Todas as células testadas mostraram um pico de 350 nm, mas enquanto algumas tinham um pico secundário em 450 nm, outras o tinham em 480 e 520 nm.

YINON (1970) referiu-se ao fato de que em *Tenebrio molitor* L. uma mudança na intensidade luminosa alterou somente o nível de resposta, observação essa que concorda com a de *STERMER (1959)*. *Tenebrio molitor* L. foi sensível a comprimentos de onda entre 350 e 700 nm, com uma resposta máxima entre 520 e 540 nm.

MARZKE et alii (1973) investigaram as respostas espectrais dos olhos compostos de seis espécies de insetos de produtos armazenados, por levantamento de eletroretinogramas de olhos adaptados ao escuro. Em geral, os insetos demonstraram maior sensibilidade a comprimentos de onda entre 475 e 600 nm. Concluíram que para os insetos testados, *Tribolium confusum* duVal, *Tineola bisselliella* (Hummel), *Trogoderma glabrum* (Herbst), *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Plodia interpunctella* (Hbn) e *Lasioderma serricornis* (F.), os olhos compostos foram sensíveis a comprimentos de onda menores que 600 nm, na região visível.

O eletroretinograma também foi usado por *PHILLIS e AGEE (1976)* para determinar a sensibilidade espectral do olho de mosca dos estábulos. O olho apresentou sensibilidade máxima em 490 nm, um pico secundário

rio próximo a 350 nm e um pequeno pico terciário em 625 nm. Tais resultados, segundo os próprios autores, foram semelhantes àqueles encontrados por *GOLDSMITH* e *FERNANDEZ* (1968).

Nota-se, portanto, pelos trabalhos comentados, que os insetos geralmente apresentam um pico de sensibilidade em torno de 500 nm (verde) e um outro em torno de 350 nm (ultravioleta). Assim, pode-se notar pela Tabela 1, que a faixa de maior emissão de radiação Cerenkov coincide com o pico de sensibilidade na faixa do ultravioleta, apresentado pela maioria dos insetos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Seção de Entomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba (SP).

Como fontes de radiações gama foram utilizados o ^{60}Co e o ^{241}Am . A fonte de ^{60}Co , com 0,435 mCi, foi obtida da Tracerlab (EUA) e a de ^{241}Am , com 99,68 mCi, da Amersham (Inglaterra), ambas de propriedade do CENA. As radiações gama do ^{241}Am apresentam energia de 0,060 MeV e as do ^{60}Co , 1,332 e 1,173 MeV. Nota-se que os elétrons Compton e os fotoelétrons resultantes da interação das radiações gama do ^{241}Am com a água ocular dos insetos têm energia menor que 0,263 MeV, a qual é o limiar para ocorrência do efeito Cerenkov na água, ao passo que as radiações gama do ^{60}Co , por interação com a água, produzem radiações Cerenkov.

Os insetos adultos das espécies *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Callosobruchus analis*

(Fabr., 1775), *Sitophilus oryzae* (L., 1763), *Ephestia cautella* (Walker, 1864), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) e *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) foram obtidos da criação estoque da Seção de Entomologia do CENA, ao passo que operárias das espécies *Atta bisphaerica* Forel, 1908 e *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) foram coletadas no campo.

Os tratamentos constaram de exposições às radiações gama do ^{60}Co e ^{241}Am e ausência de exposição (testemunha). Efetuaram-se 5 repetições por tratamento, sendo que cada repetição constou de aproximadamente 50 insetos adultos.

Os insetos foram liberados na região central de uma arena de madeira branco opaco com 60,0 cm de diâmetro e 7,5 cm de altura, coberta com tela de náilon. A arena foi dividida em 3 setores radiais de mesma área a partir da região de posicionamento das fontes radioativas.

Figura 1 - Representação da arena

Para a fonte de ^{60}Co , as taxas de dose foram calculadas pelo manual do fabricante:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{A \cdot 13500}{D^2} \dots\dots\dots (4)$$

onde: $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ = taxa de exposição em mR/h

A = atividade da fonte em mCi

D = distância da fonte em cm

As taxas variaram de 23,50 R/h, na tela, a 7,08 mR/h, no piso, no setor 1. De 7,60 mR/h, na tela, a 3,15 mR/h, no piso, no setor 2 e de 3,25 mR/h, na tela, a 1,60 mR/h, no piso, no setor 3.

Na presença das radiações do ^{241}Am , as taxas de dose, considerando-se a fonte como pontual, foram calculadas através da equação:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Gamma \cdot A}{D^2} \dots\dots\dots (5)$$

onde: $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ = taxa de exposição em mR/h

Γ = constante dos raios gama em $\text{m}^2 \cdot \text{R/Ci.h}$

A = atividade em mCi

D = distância da fonte em m

Houve variação da taxa no setor 1 de 139,55 R/h, na tela, a 42,09 mR/h, no piso. No setor 2, de 45,14 mR/h, na tela, a 18,73 mR/h,

no piso e no setor 3 de 19,32 mR/h, na tela, a 9,54 mR/h, no piso.

Com o intuito de se avaliar a distribuição dos insetos, foram tiradas fotografias com auxílio de "flash" a 15, 30, 45 e 60 minutos após a soltura. Nestes mesmos tempos efetuou-se a leitura dos 2 termômetros. A contagem dos insetos em cada setor foi feita no negativo dos filmes, com auxílio de lupa binocular.

O experimento se desenvolveu em câmara de ambiente controlado a $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa, com 3 lâmpadas vermelhas de 60 W, em triângulo, a dois metros de altura da arena. As lâmpadas foram acesas somente para a tirada das fotografias e leitura dos termômetros.

5. RESULTADOS

As contagens dos insetos adultos em cada setor da arena para as espécies consideradas, na presença das fontes de ^{241}Am e ^{60}Co e na ausência de fonte radioativa, encontram-se nas tabelas de números 2 a 28. Saliente-se que o número de insetos contados nem sempre foi igual a 50, pois a geometria do sistema impediu que todos fossem fotografados.

As diferenças entre as leituras dos dois termômetros, num mesmo tempo, foram iguais ou inferiores a 5°C , para todos os tratamentos e espécies estudadas.

Tabela 2 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am .

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	6	11	14
	30	8	8	9
	45	13	3	10
	60	13	9	8
2	15	10	12	9
	30	14	10	6
	45	19	8	10
	60	18	8	11
3	15	12	10	6
	30	14	10	11
	45	10	9	15
	60	15	9	13
4	15	6	8	6
	30	7	9	7
	45	10	8	11
	60	13	12	4
5	15	7	14	6
	30	7	13	4
	45	7	12	2
	60	9	8	7

Tabela 3 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	10	15	7
	30	12	12	11
	45	6	15	14
	60	13	15	11
2	15	9	8	11
	30	9	11	13
	45	5	18	16
	60	13	7	18
3	15	4	6	14
	30	8	4	14
	45	4	4	24
	60	9	4	19
4	15	5	12	12
	30	8	9	11
	45	5	8	14
	60	9	11	10
5	15	2	26	4
	30	10	20	6
	45	11	18	12
	60	17	15	9

Tabela 4 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	7	10	8
	30	7	12	12
	45	17	8	10
	60	8	13	14
2	15	7	8	8
	30	14	8	11
	45	20	9	8
	60	9	13	9
3	15	5	24	7
	30	5	16	7
	45	2	10	13
	60	9	15	12
4	15	6	23	9
	30	10	12	13
	45	11	9	17
	60	14	11	17
5	15	8	11	14
	30	8	11	12
	45	11	11	9
	60	18	10	8

Tabela 5 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	3	11	15
	30	5	14	13
	45	9	7	15
	60	9	10	8
2	15	10	9	18
	30	15	10	18
	45	12	23	9
	60	10	12	22
3	15	8	20	12
	30	12	12	21
	45	10	15	18
	60	12	12	18
4	15	11	13	15
	30	15	11	10
	45	11	11	13
	60	10	7	13
5	15	13	16	14
	30	9	13	19
	45	8	20	12
	60	12	20	14

Tabela 6 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co .

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	12	18	13
	30	16	12	14
	45	15	16	16
	60	15	9	13
2	15	14	13	11
	30	13	17	10
	45	10	10	16
	60	15	16	12
3	15	15	12	13
	30	7	14	13
	45	13	12	16
	60	11	14	15
4	15	6	15	16
	30	10	11	16
	45	13	14	15
	60	11	21	13
5	15	9	13	11
	30	8	16	10
	45	14	12	14
	60	5	16	10

Tabela 7 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	10	13	18
	30	8	15	15
	45	11	15	18
	60	16	15	13
2	15	8	14	19
	30	12	12	20
	45	13	16	13
	60	16	17	15
3	15	10	10	14
	30	9	12	15
	45	11	13	16
	60	8	14	16
4	15	6	14	7
	30	6	11	19
	45	10	12	17
	60	9	12	15
5	15	17	6	21
	30	16	9	17
	45	15	7	15
	60	12	13	16

Tabela 8 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	11	9	7
	30	8	10	12
	45	9	9	18
	60	16	9	13
2	15	8	12	15
	30	13	8	14
	45	8	12	19
	60	11	13	13
3	15	10	12	15
	30	8	9	16
	45	10	14	12
	60	11	11	11
4	15	10	19	11
	30	11	18	14
	45	11	14	12
	60	12	13	16
5	15	16	13	11
	30	11	14	17
	45	13	15	13
	60	13	12	14

Tabela 9 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	11	14	19
	30	16	9	15
	45	12	10	17
	60	12	12	17
2	15	18	10	17
	30	16	13	16
	45	15	13	13
	60	13	11	18
3	15	11	16	12
	30	11	14	12
	45	11	15	9
	60	11	14	8
4	15	8	10	12
	30	7	11	20
	45	5	14	16
	60	6	15	16
5	15	14	12	15
	30	5	20	10
	45	7	15	16
	60	11	11	15

Tabela 10 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	9	12	15
	30	8	13	13
	45	11	10	14
	60	11	10	16
2	15	6	9	10
	30	9	9	8
	45	7	8	13
	60	4	11	13
3	15	9	8	21
	30	10	8	18
	45	10	7	14
	60	14	8	15
4	15	6	8	12
	30	9	12	14
	45	10	9	16
	60	8	9	16
5	15	10	15	15
	30	8	14	17
	45	13	12	14
	60	11	12	19

Tabela 11 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Sitophilus oryzae* (L., 1763), por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	10	17	20
	30	10	17	18
	45	8	20	19
	60	12	16	20
2	15	11	13	23
	30	10	15	18
	45	9	15	21
	60	11	17	16
3	15	14	13	21
	30	14	11	23
	45	14	20	16
	60	14	11	16
4	15	8	23	10
	30	8	15	20
	45	12	12	17
	60	7	21	12
5	15	14	16	16
	30	9	18	22
	45	10	14	21
	60	15	10	20

Tabela 12 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Sitophilus oryzae* (L., 1763), por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	15	15	20
	30	13	22	13
	45	11	23	14
	60	15	18	12
2	15	10	20	19
	30	20	19	9
	45	21	14	12
	60	13	21	15
3	15	13	18	16
	30	16	14	10
	45	9	12	22
	60	17	18	8
4	15	9	15	18
	30	12	16	15
	45	14	11	23
	60	17	9	18
5	15	5	19	18
	30	8	21	18
	45	16	13	14
	60	9	15	16

Tabela 13 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Sitophilus oryzae* (L., 1763), por setor da arena, na ausência de fonte radioativa

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	9	13	25
	30	4	22	19
	45	8	21	17
	60	12	21	15
2	15	9	15	20
	30	14	16	15
	45	10	19	19
	60	10	11	23
3	15	15	17	12
	30	14	13	17
	45	9	14	23
	60	16	17	12
4	15	17	16	14
	30	14	17	16
	45	14	17	15
	60	16	15	16
5	15	7	21	17
	30	14	17	15
	45	12	17	17
	60	17	14	13

Tabela 14 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Ephes*
tia cautella (Walker, 1864), por setor da arena, para a fonte
 de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	3	21	20
	30	3	13	26
	45	2	13	27
	60	4	11	24
2	15	6	26	8
	30	10	26	7
	45	8	18	12
	60	7	19	10
3	15	2	24	11
	30	5	20	13
	45	4	16	15
	60	4	14	19
4	15	7	11	18
	30	6	7	20
	45	6	6	19
	60	8	6	18
5	15	7	11	17
	30	7	10	15
	45	6	10	17
	60	6	6	19

Tabela 15 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Ephesia cautella* (Walker, 1864), por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	0	45	0
	30	8	29	6
	45	11	25	7
	60	12	22	8
2	15	7	13	12
	30	10	13	12
	45	8	11	15
	60	7	13	15
3	15	8	16	13
	30	4	17	14
	45	5	16	12
	60	3	24	11
4	15	10	20	9
	30	6	12	14
	45	5	13	17
	60	5	13	14
5	15	5	32	8
	30	7	26	11
	45	7	23	12
	60	7	22	12

Tabela 16 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Ephesia cautella* (Walker, 1864), por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	9	20	9
	30	4	22	12
	45	7	18	13
	60	12	12	17
2	15	3	26	16
	30	4	19	22
	45	8	19	15
	60	5	23	15
3	15	8	22	13
	30	8	19	17
	45	8	19	17
	60	9	19	18
4	15	1	13	25
	30	4	14	20
	45	5	10	21
	60	5	10	21
5	15	10	27	11
	30	15	17	13
	45	12	16	14
	60	17	16	12

Tabela 17 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Tribo-
lium castaneum* (Herbst, 1797), por setor da arena, para a fon-
te de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	17	15	11
	30	19	15	9
	45	20	14	10
	60	21	12	12
2	15	15	33	2
	30	9	26	6
	45	16	29	4
	60	13	32	2
3	15	11	20	23
	30	21	13	15
	45	18	9	12
	60	18	15	14
4	15	11	18	19
	30	13	18	14
	45	11	18	17
	60	7	23	17
5	15	13	14	20
	30	16	8	20
	45	16	9	17
	60	8	14	19

Tabela 18 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Tribo-
lium castaneum* (Herbst, 1797), por setor da arena, para a fon-
te de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	14	19	11
	30	25	13	6
	45	26	9	8
	60	31	7	4
2	15	12	20	11
	30	17	13	14
	45	15	18	12
	60	20	18	9
3	15	16	13	16
	30	12	15	17
	45	18	10	14
	60	15	11	17
4	15	11	16	13
	30	9	14	16
	45	9	8	24
	60	13	10	23
5	15	14	13	16
	30	13	15	14
	45	10	16	20
	60	11	18	13

Tabela 19 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Tribo-
lium castaneum* (Herbst, 1979), por setor da arena, na ausência
de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	20	15	9
	30	12	9	15
	45	16	10	10
	60	13	11	18
2	15	8	17	20
	30	10	13	21
	45	3	23	21
	60	5	22	18
3	15	11	15	19
	30	15	15	8
	45	11	23	9
	60	8	24	6
4	15	17	14	13
	30	8	12	24
	45	12	13	15
	60	14	14	13
5	15	13	20	14
	30	16	15	16
	45	17	17	19
	60	9	24	16

Tabela 20 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Atta bisphaerica* Forel, 1908, por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	9	45	2
	30	13	38	10
	45	11	29	18
	60	10	24	24
2	15	7	37	12
	30	9	33	12
	45	6	35	13
	60	11	33	11
3	15	8	37	8
	30	4	36	11
	45	9	30	13
	60	13	38	12
4	15	31	22	2
	30	9	38	4
	45	7	33	11
	60	10	31	13
5	15	2	45	0
	30	8	37	3
	45	12	23	13
	60	7	23	17

Tabela 21 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Atta bisphaerica* Forel, 1908, por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	8	30	10
	30	13	29	5
	45	16	22	8
	60	19	21	6
2	15	10	31	6
	30	13	26	9
	45	11	29	6
	60	9	33	7
3	15	4	42	4
	30	5	41	3
	45	13	31	5
	60	11	29	10
4	15	6	41	3
	30	4	40	6
	45	11	31	6
	60	12	22	16
5	15	11	38	1
	30	11	36	3
	45	14	31	5
	60	12	27	10

Tabela 22 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Atta bisphaerica* Forel, 1908, por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	5	38	7
	30	9	37	4
	45	4	39	7
	60	7	25	17
2	15	9	30	13
	30	11	26	16
	45	9	21	22
	60	15	21	16
3	15	7	37	4
	30	10	29	13
	45	10	16	23
	60	9	18	20
4	15	17	33	3
	30	17	25	11
	45	10	19	23
	60	13	20	21
5	15	9	39	2
	30	6	38	6
	45	12	30	8
	60	6	36	9

Tabela 23 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	13	33	4
	30	15	32	4
	45	27	23	1
	60	17	24	9
2	15	12	32	6
	30	15	32	3
	45	13	35	2
	60	14	28	8
3	15	17	35	1
	30	12	31	3
	45	15	33	2
	60	8	40	2
4	15	5	44	0
	30	8	41	1
	45	5	41	4
	60	11	38	1
5	15	3	47	0
	30	6	42	2
	45	10	39	1
	60	7	40	3

Tabela 24 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	0	50	0
	30	0	49	1
	45	0	50	0
	60	0	49	1
2	15	1	48	1
	30	4	44	2
	45	2	44	4
	60	3	46	1
3	15	12	34	3
	30	16	35	1
	45	16	33	1
	60	17	30	3
4	15	13	33	2
	30	13	37	1
	45	15	34	1
	60	17	32	1
5	15	10	38	2
	30	11	37	2
	45	9	39	2
	60	10	39	1

Tabela 25 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	7	36	6
	30	5	40	4
	45	4	31	15
	60	4	36	11
2	15	14	33	3
	30	12	37	1
	45	15	29	6
	60	9	38	3
3	15	5	40	5
	30	6	39	5
	45	6	37	7
	60	8	38	4
4	15	6	34	10
	30	10	34	6
	45	11	32	7
	60	18	25	7
5	15	3	45	2
	30	8	39	3
	45	6	40	4
	60	7	39	4

Tabela 26 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Ceratitis capitata* (Wied., 1824), por setor da arena, para a fonte de ^{241}Am

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	5	24	7
	30	11	19	7
	45	10	16	7
	60	7	13	10
2	15	14	33	0
	30	16	21	5
	45	13	18	8
	60	13	14	11
3	15	13	32	4
	30	12	28	7
	45	13	26	7
	60	14	26	7
4	15	6	39	5
	30	9	25	13
	45	6	21	12
	60	6	23	11
5	15	9	22	4
	30	5	18	5
	45	5	15	6
	60	5	15	5

Tabela 27 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Ceratitis capitata* (Wied., 1824), por setor da arena, para a fonte de ^{60}Co

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	9	38	1
	30	12	33	3
	45	12	32	4
	60	14	29	3
2	15	5	42	3
	30	7	40	2
	45	10	33	5
	60	12	30	6
3	15	3	39	6
	30	3	32	8
	45	7	22	11
	60	7	21	14
4	15	5	43	2
	30	8	30	11
	45	7	22	18
	60	8	23	12
5	15	19	29	1
	30	18	20	6
	45	12	20	6
	60	11	21	6

Tabela 28 - Distribuição, em relação ao tempo, de adultos da espécie *Ceratitis capitata* (Wied., 1824), por setor da arena, na ausência de fonte radioativa (test.)

Repetição	Tempo (min)	Setor		
		1	2	3
1	15	11	35	2
	30	10	24	9
	45	9	18	9
	60	9	23	7
2	15	10	39	0
	30	14	24	5
	45	16	19	5
	60	11	22	7
3	15	3	41	6
	30	9	31	9
	45	11	26	12
	60	12	25	12
4	15	6	41	2
	30	6	33	5
	45	9	32	4
	60	8	30	7
5	15	9	41	0
	30	11	28	6
	45	7	23	9
	60	7	22	9

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Testes estatísticos utilizados

Na análise dos resultados utilizou-se os testes estatísticos não paramétricos de Friedman e de Kruskal-Wallis.

O teste de Friedman foi usado na comparação da distribuição dos insetos nos 3 setores, S_1 , S_2 e S_3 , combinando-se as fontes radioativas de ^{241}Am e ^{60}Co e tratamento testemunha com os tempos de 15, 30, 45 e 60 minutos, tomando-se as 5 repetições. Cada uma das repetições foi considerada como um bloco ($n=5$) e as contagens dos insetos nos 3 setores considerados, como observações dentro de cada bloco ($k=3$).

O mesmo teste anterior foi utilizado no confronto entre a distribuição dos insetos nos tempos de fotografiação, 15, 30, 45 e 60 minutos, para as fontes de ^{241}Am e ^{60}Co e testemunha combinadas com os setores S_1 , S_2 e S_3 , considerando-se as 5 repetições. Cada uma das 5 repetições foi considerada como sendo um bloco ($n=5$) e a porcentagem do número total

de insetos de cada repetição, nos 4 tempos considerados, como observações em um mesmo bloco ($k=4$).

O teste de Kruskal-Wallis se prestou para verificar as discrepâncias na distribuição dos insetos submetidos às fontes de ^{241}Am e ^{60}Co e ausência de fonte (testemunha) em relação às combinações entre os setores S_1 , S_2 e S_3 e os tempos de 15, 30, 45 e 60 minutos. Neste caso, cada uma das 5 repetições ($n=5$) representou 3 observações independentes ($k=3$) da distribuição dos insetos em relação às fontes radioativas de ^{241}Am e ^{60}Co e testemunha. Aqui também foi tomado o percentual do número total de insetos de cada repetição, por setor da arena.

Os resultados dos testes mencionados, para as espécies estudadas, foram condensados nas tabelas de números 29 a 55. A ausência de dados nas tabelas foi devida a não existência de diferenças significativas entre os parâmetros testados, nos níveis de probabilidade geralmente considerados; portanto, não foi necessária a comparação múltipla entre eles.

Os limites das distribuições de χ^2_r do teste de Friedman e de h do teste de Kruskal-Wallis, bem como as diferenças mínimas significativas para as comparações múltiplas de ambos os testes, considerando-se diversos níveis de probabilidade, encontram-se nos apêndices 1 a 4.

6.2. Resultados dos testes estatísticos e discussão para as diferentes espécies

Tabela 29 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	χ^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	3,26	-	-	-
	30	0,78	-	-	-
	45	2,80	-	-	-
	60	7,60	7	8	1
^{60}Co	15	2,84	-	-	-
	30	0,74	-	-	-
	45	6,42	7	7	0
	60	0,00	-	-	-
Test.	15	8,32	8	6	2
	30	1,96	-	-	-
	45	0,95	-	-	-
	60	0,74	-	-	-

Tabela 30 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	χ_r^2	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	6,36	2	7	9	5	7	2
	2	4,96	-	-	-	-	-	-
	3	1,08	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1	9,96	8	0	10	8	2	10
	2	5,82	6	6	10	0	4	3
	3	8,28	2	11	5	9	3	6
Test.	1	3,24	-	-	-	-	-	-
	2	4,84	-	-	-	-	-	-
	3	0,12	-	-	-	-	-	-

Tabela 31 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	2,580	-	-	-
	30	4,454	18	30	11
	45	6,180	33	6	27
	60	4,985	24	30	5
2	15	0,095	-	-	-
	30	0,696	-	-	-
	45	1,520	-	-	-
	60	1,820	-	-	-
3	15	0,180	-	-	-
	30	3,532	25	20	5
	45	2,340	-	-	-
	60	1,235	-	-	-

Pelas tabelas 2, 3, 4 e 29 nota-se que, decorridos 60 minutos, houve um acúmulo de insetos no setor 1 em relação ao setor 3, na presença da fonte de ^{241}Am , sendo a diferença significativa ao nível de 3,9% de probabilidade. Na presença da fonte de ^{60}Co , o número de insetos não diferiu estatisticamente nos 3 setores para os 4 tempos considerados, nos níveis de probabilidade normalmente considerados. Para o tratamento testemunha, somente no tempo de 15 minutos a presença de adultos foi maior no setor 2 que no setor 1, com uma diferença significativa a 3,9% de probabilidade.

Com base nas tabelas 2, 3, 4 e 30, para o tratamento fonte de ^{241}Am , o número de indivíduos não diferiu estatisticamente em relação aos 4 tempos de contagem, para cada um dos 3 setores. Para a fonte de ^{60}Co , os insetos estiveram em maior número no setor 3 após 45 minutos do que no tempo de 15 minutos, sendo a diferença significativa ao nível de 3,7% de probabilidade. Na ausência de fonte radioativa, não houve diferença estatística, nos níveis de probabilidade geralmente considerados, na distribuição dos insetos com o decorrer do tempo.

Pelas tabelas 2, 3, 4 e 31, observa-se que só existiu diferença significativa ao nível de 4,8% de probabilidade entre o número de insetos no setor 1 para o tempo de 45 minutos, considerando-se exposição às fontes de ^{241}Am e ^{60}Co . Neste caso, mesmo com predominância de insetos expostos às radiações do ^{241}Am em relação ao ^{60}Co , não se pode afirmar que houve aproximação, pois o tratamento fonte de ^{241}Am não diferiu estatisticamente do tratamento testemunha quanto ao número de insetos neste se tor.

Portanto, embora tenham existido algumas diferenças signifi
cativas entre os parâmetros considerados nos testes estatísticos, nada se
pode generalizar em relação à radioperceptividade gama dos adultos de *Za-*
brotas subfasciatus (Boh., 1833).

Tabela 32 - Valores de X_r^2 do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	X_r^2	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	5,20	5	7	2
	30	1,37	-	-	-
	45	2,21	-	-	-
	60	2,21	-	-	-
^{60}Co	15	0,40	-	-	-
	30	1,60	-	-	-
	45	5,65	0	6	6
	60	1,60	-	-	-
Test.	15	6,00	3	8	4
	30	7,44	2	8	6
	45	4,00	3	6	3
	60	1,20	-	-	-

Tabela 33 - Valores de X_r^2 do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	X_r^2	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	3,24	-	-	-	-	-	-
	2	3,24	-	-	-	-	-	-
	3	2,04	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1	0,60	-	-	-	-	-	-
	2	3,48	-	-	-	-	-	-
	3	3,37	-	-	-	-	-	-
Test.	1	4,92	-	-	-	-	-	-
	2	3,49	-	-	-	-	-	-
	3	2,51	-	-	-	-	-	-

Tabela 34 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	0,720	-	-	-
	30	0,195	-	-	-
	45	4,155	28	10	18
	60	0,020	-	-	-
2	15	1,460	-	-	-
	30	1,839	-	-	-
	45	1,820	-	-	-
	60	2,240	-	-	-
3	15	2,160	-	-	-
	30	3,860	23	2	25
	45	0,540	-	-	-
	60	2,940	-	-	-

Com base nas tabelas 5, 6, 7 e 32, nos níveis de significância geralmente considerados, não houve diferenças estatísticas entre o número de insetos presentes nos 3 setores, para os 4 tempos e fontes de ^{241}Am e ^{60}Co . Na ausência de fonte radioativa (testemunha), os setores 1 e 3 diferiram estatisticamente quanto ao número de insetos, ao nível de 3,9% de probabilidade, nos tempos de 15 e 30 minutos.

As diferenças não foram significativas entre o número de insetos em cada setor com o decorrer do tempo, considerando-se cada um dos 3 tratamentos individualmente (tabela 33).

Na comparação entre os 3 tratamentos, nenhuma diferença significativa foi constatada entre a distribuição dos adultos levando-se em conta os 3 setores e os 4 tempos (tabela 34).

Assim, nada se pode generalizar em relação à percepção de radiações gama por *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831).

Tabela 35 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	χ^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	0,40	-	-	-
	30	6,40	4	8	4
	45	5,44	6	6	1
	60	2,53	-	-	-
^{60}Co	15	2,80	-	-	-
	30	0,95	-	-	-
	45	0,74	-	-	-
	60	3,11	-	-	-
Test.	15	7,68	4	8	5
	30	2,78	-	-	-
	45	8,40	3	6	9
	60	7,60	1	8	7

Tabela 36 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	χ^2_r	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	3,48	-	-	-	-	-	-
	2	1,65	-	-	-	-	-	-
	3	3,24	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1	0,36	-	-	-	-	-	-
	2	3,24	-	-	-	-	-	-
	3	0,36	-	-	-	-	-	-
Test.	1	6,36	3	10	5	7	2	5
	2	3,24	-	-	-	-	-	-
	3	4,22	-	-	-	-	-	-

Tabela 37 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	5,060	6	24	30
	30	0,240	-	-	-
	45	1,298	-	-	-
	60	2,638	-	-	-
2	15	1,142	-	-	-
	30	0,320	-	-	-
	45	4,754	12	19	30
	60	1,860	-	-	-
3	15	3,722	10	26	17
	30	1,520	-	-	-
	45	1,207	-	-	-
	60	8,420	19	41	22

Observando-se as tabelas 8, 9, 10 e 35, nota-se que para a fonte de ^{241}Am , no tempo de 30 minutos, houve diferença estatística entre o número de adultos desta espécie presentes nos setores 1 e 3, ao nível de 3,9% de probabilidade. Neste caso, o número de insetos no setor 3 foi maior que no 1. Para a fonte de ^{60}Co , nos níveis de significância normalmente utilizados, não houve diferença estatística entre a distribuição dos insetos pelos 3 setores, nos 4 tempos de contagem. Para o tratamento testemunha, o setor 3 conteve mais insetos que o setor 1, com uma diferença entre eles significativa a 3,9% de probabilidade, nos tempos de 15 e 60 minutos. Ainda para este tratamento, no tempo de 45 minutos, o setor 3 apresentou maior número de indivíduos que o setor 2, sendo a diferença significativa a 0,8% de probabilidade.

Para cada tratamento não houve diferença estatística, nos níveis geralmente considerados, entre o número de adultos em cada setor com o decorrer do tempo (tabela 36).

Pelas tabelas 8, 10 e 37, no confronto entre os 3 tratamentos, a única diferença significativa foi entre a fonte de ^{241}Am e o tratamento testemunha, onde, no tempo de 60 minutos, houve diferença no número de insetos no setor 3 ao nível de 0,9% de probabilidade. A incidência de insetos neste setor foi maior, neste tempo, para o tratamento testemunha.

As diferenças estatísticas constatadas, entretanto, não permitem generalizações quanto à radioperceptividade gama desta espécie.

Tabela 38 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Sitophilus oryzae* (L., 1763) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	χ^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	6,00	4	8	3
	30	8,40	3	9	6
	45	6,63	6	8	2
	60	3,60	3	6	3
^{60}Co	15	6,42	7	6	0
	30	3,26	-	-	-
	45	0,40	-	-	-
	60	1,60	-	-	-
Test.	15	2,80	-	-	-
	30	5,20	7	5	2
	45	8,44	8	7	1
	60	0,32	-	-	-

Tabela 39 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Sitophilus oryzae* (L., 1763) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	χ^2_r	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	4,59	-	-	-	-	-	-
	2	0,36	-	-	-	-	-	-
	3	1,08	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1	3,96	-	-	-	-	-	-
	2	2,04	-	-	-	-	-	-
	3	7,08	10	4	8	6	2	4
Test.	1	5,40	1	3	6	2	7	9
	2	3,73	-	-	-	-	-	-
	3	0,80	-	-	-	-	-	-

Tabela 40 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Sitophilus oryzae* (L., 1763) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	0,286	-	-	-
	30	2,540	-	-	-
	45	2,960	-	-	-
	60	1,398	-	-	-
2	15	0,815	-	-	-
	30	3,660	27	12	15
	45	2,780	-	-	-
	60	0,380	-	-	-
3	15	0,020	-	-	-
	30	9,380	43	26	17
	45	0,456	-	-	-
	60	1,895	-	-	-

Pela observação das tabelas 11, 12, 13 e 38, verifica-se que, para esta espécie, existiram diferenças significativas entre o número de insetos nos setores 1 e 3 para os tempos de 15, 30 e 45 minutos em relação à fonte de ^{241}Am , com predominância de insetos no setor 3. Nos tempos de 15 e 45 minutos, o nível de significância foi de 3,9% e no tempo de 30 minutos, este foi de 0,8% de probabilidade. Na presença da fonte de ^{60}Co , os 3 setores não diferiram estatisticamente entre si quanto ao número de adultos, para os 4 tempos considerados. Para o tratamento testemunha, o número de insetos diferiu ao nível de 3,9% de probabilidade nos setores 1 e 2, no tempo de 45 minutos, com predominância dos mesmos no setor 2.

Quanto à distribuição dos adultos em função do tempo, o número destes, nos 3 setores para os 3 tratamentos, não diferiu estatisticamente nos níveis de significância geralmente considerados (tabela 39).

Embora tenha havido uma diferença significativa ao nível de 0,9% de probabilidade entre o número de insetos no setor 3, para o tempo de 30 minutos e presença das fontes de ^{241}Am e ^{60}Co , estatisticamente, nada se pode concluir em relação à diferença comportamental da espécie para estes 2 tratamentos (tabela 40).

Contudo, pode ser notada uma tendência dos adultos de *Sitophilus oryzae* (L.) se afastarem da fonte de ^{241}Am , o que não ocorreu na presença da fonte de ^{60}Co e tratamento testemunha. Tal resultado difere daquele encontrado por WIENDL e WALDER (1975) com a espécie *Sitophilus zeamais* Mots., onde estes insetos tenderam a evitar as radiações emitidas

pela fonte de ^{60}Co , que era $1,5 \times 10^6$ vezes mais ativa que a empregada neste experimento.

Portanto, para os membros do gênero *Sitophilus*, supõe-se que a percepção se relaciona mais com a atividade da fonte radioativa do que com a energia das radiações gama, uma vez que a fonte de ^{241}Am utilizada era mais ativa que a de ^{60}Co .

E como a espécie *Sitophilus oryzae* (L., 1763), segundo STERMER (1959), apresenta fototatismo negativo, a percepção provavelmente se dê ou através de estímulo visual direto ou de estímulo visual provocado por radiações Cerenkov, resultantes da interação das radiações gama com al gum outro componente ocular com maior índice de refração que o da água.

Tabela 41 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Ephestia cautella* (Walker, 1864) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	χ^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	7,60	8	7	1
	30	4,80	6	6	0
	45	6,63	6	8	2
	60	6,00	3	8	4
^{60}Co	15	8,32	8	2	6
	30	6,40	8	4	4
	45	5,20	7	5	2
	60	5,20	7	5	2
Test.	15	7,68	8	5	4
	30	5,20	7	5	2
	45	8,40	9	6	3
	60	2,00	-	-	-

Tabela 42 - Valores de X_r^2 do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Ephestia cautella* (Walker, 1864) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	X_r^2	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	3,37	-	-	-	-	-	-
	2	13,65	6	10	14	5	8	4
	3	8,76	3	11	8	8	5	3
^{60}Co	1	0,12	-	-	-	-	-	-
	2	5,20	4	9	6	6	2	4
	3	6,80	4	10	8	6	3	2
Test.	1	7,19	0	4	10	4	9	6
	2	7,31	4	7	10	2	6	4
	3	2,44	-	-	-	-	-	-

Tabela 43 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Ephestia cautella* (Walker, 1864) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	0,860	-	-	-
	30	1,057	-	-	-
	45	0,665	-	-	-
	60	1,040	-	-	-
2	15	0,720	-	-	-
	30	1,620	-	-	-
	45	2,855	-	-	-
	60	4,340	29	10	19
3	15	2,340	-	-	-
	30	1,680	-	-	-
	45	2,660	-	-	-
	60	3,620	26	19	7

Houve diferença significativa entre o número de insetos desta espécie presentes nos setores 1 e 2 para a fonte de ^{241}Am , no tempo de 15 minutos. Nesse caso, houve maior número no setor 2, ao nível de 3,9% de probabilidade. Também na presença das radiações gama do ^{241}Am , nos tempos de 45 e 60 minutos, existiram diferenças significativas ao nível de 3,9% de probabilidade entre o número de adultos nos setores 1 e 3, com predominância de insetos neste último. Para a fonte de ^{60}Co , nos tempos de 15 e 30 minutos, o setor 2 apresentou maior número de insetos em relação ao setor 1, ao nível de significância de 3,9% de probabilidade. No tratamento testemunha, tempo de 15 minutos, houve diferença significativa ao nível de 3,9% de probabilidade entre o número de adultos desta espécie nos setores 1 e 2, sendo maior a sua incidência no setor 2. No tempo de 45 minutos, observou-se o mesmo comportamento, mas com uma significância ao nível de 0,8% de probabilidade (tabelas 14, 15, 16 e 41).

Para a fonte de ^{241}Am , o setor 2 apresentou maior número de insetos após 15 minutos que após 60 minutos, sendo a diferença significativa ao nível de 1,3% de probabilidade. Na presença de ^{60}Co ou ausência de fonte radioativa, não houve diferenças estatísticas entre o número de adultos presentes em cada setor com o decorrer do tempo, nos níveis de significância geralmente considerados (tabelas 14 e 42).

No confronto entre os 3 tratamentos, também não houve diferenças significativas quanto ao número de adultos nos 3 setores e 4 tempos, como se observa na tabela 43.

Entretanto, constata-se uma tendência dos insetos desta es-

pécie de se locomoverem em direção oposta àquela onde se encontra a fonte de ^{241}Am . Tal fato, contudo, não foi constatado para a fonte de ^{60}Co ou ausência de fonte radioativa.

Aqui também a diferença entre as atividades das fontes radioativas foi mais importante na resposta comportamental do que a energia das radiações gama; o efeito Cerenkov na água ocular não foi satisfatório na explicação da detecção das radiações gama do ^{241}Am , mas supõe-se que a percepção tenha ocorrido ou por estímulo visual direto, ou por produção de radiações Cerenkov, resultantes da interação das radiações gama com algum componente ocular.

Tabela 44 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	χ^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	1,20	-	-	-
	30	0,40	-	-	-
	45	0,40	-	-	-
	60	0,95	-	-	-
^{60}Co	15	0,32	-	-	-
	30	0,40	-	-	-
	45	0,40	-	-	-
	60	0,40	-	-	-
Test.	15	0,40	-	-	-
	30	2,11	-	-	-
	45	0,78	-	-	-
	60	2,00	-	-	-

Tabela 45 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados.

Tratamento	S	χ^2_r	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	5,88	4	9	1	5	3	8
	2	4,59	-	-	-	-	-	-
	3	0,60	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1	2,04	-	-	-	-	-	-
	2	3,48	-	-	-	-	-	-
	3	1,56	-	-	-	-	-	-
Test.	1	3,96	-	-	-	-	-	-
	2	8,76	6	2	6	8	12	3
	3	4,92	-	-	-	-	-	-

Tabela 46 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	0,667	-	-	-
	30	0,780	-	-	-
	45	1,620	-	-	-
	60	3,140	-	-	-
2	15	0,140	-	-	-
	30	0,741	-	-	-
	45	2,000	-	-	-
	60	3,507	20	5	25
3	15	0,465	-	-	-
	30	3,260	-	-	-
	45	0,540	-	-	-
	60	0,420	-	-	-

Pela observação das tabelas 44, 45 e 46, uma única diferença estatística, ao nível de 1,3% de probabilidade, foi observada na ausência de fonte radioativa (testemunha) entre o número de insetos presentes no setor 2 nos tempos de 30 e 60 minutos, com maior abundância de adultos neste último (tabela 19).

Portanto, não se observaram diferenças de comportamento desta espécie quando submetida aos 3 tratamentos, nos níveis de significância geralmente considerados, nada podendo ser generalizado em relação à radio-perceptividade gama.

Tabela 47 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Atta bisphaerica* Forel, 1908 presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	χ^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	6,00	4	3	8
	30	7,60	7	1	8
	45	10,00	10	5	5
	60	7,44	8	2	6
^{60}Co	15	8,32	6	2	8
	30	8,40	6	3	9
	45	10,00	5	5	10
	60	8,40	6	3	9
Test.	15	7,60	7	1	8
	30	7,89	8	0	8
	45	4,80	6	6	0
	60	7,60	8	7	1

Tabela 48 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Atta bisphaerica* Forel, 1908 encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	χ^2_r	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	1,56	-	-	-	-	-	-
	2	6,12	0	6	8	6	8	8
	3	8,28	6	11	9	5	3	2
^{60}Co	1	6,80	3	10	8	6	4	2
	2	8,28	6	9	11	3	5	2
	3	4,92	-	-	-	-	-	-
Test.	1	1,56	-	-	-	-	-	-
	2	9,37	5	10	10	6	6	0
	3	11,45	2	11	10	8	8	0

Tabela 49 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Atta bisphaerica* Forel, 1908 presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	0,320	-	-	-
	30	1,520	-	-	-
	45	6,695	34	4	30
	60	3,120	-	-	-
2	15	0,515	-	-	-
	30	1,860	-	-	-
	45	1,820	-	-	-
	60	1,820	-	-	-
3	15	0,720	-	-	-
	30	3,395	14	12	26
	45	7,980	33	3	36
	60	3,435	18	8	26

De acordo com as tabelas 20 e 47, para a fonte de ^{241}Am , o setor 2 diferiu estatisticamente do setor 3 ao nível de 3,9% de probabilidade em relação ao número de saúvas desta espécie, nos tempos de 15 e 30 minutos. Assim, até 30 minutos, houve um maior número de indivíduos no setor 2 que no setor 3. Nos tempos de 45 e 60 minutos, o número de insetos foi significativamente maior no setor 2, quando comparado com o setor 1, aos níveis de, respectivamente, 0,8 e 3,9% de probabilidade.

Na presença das radiações gama do ^{60}Co , houve diferença significativa entre os adultos de *Atta bisphaerica* Forel, 1908 nos setores 2 e 3, com predominância dos mesmos no setor 2, aos níveis de 3,9%, 0,8%, 0,8% e 0,8% de probabilidade nos tempos de, respectivamente, 15, 30, 45 e 60 minutos (tabelas 21 e 47).

Na ausência de fonte radioativa, os setores 2 e 3 diferiram estatisticamente ao nível de 3,9% de probabilidade quanto ao número de insetos após 15 e 30 minutos, havendo predominância deles no setor 2. O setor 2 também apresentou uma quantidade de insetos que foi significativamente superior àquela do setor 1, nos tempos de 30 e 60 minutos, a um nível de probabilidade de 3,9% (tabelas 22 e 47).

Observando-se as tabelas 20, 21, 22 e 48, observa-se que na presença da fonte de ^{60}Co , o setor 2 apresentou mais insetos no tempo de 15 minutos que no de 60 minutos, sendo essa diferença significativa a 3,7% de probabilidade. Os tratamentos testemunha e fonte de ^{241}Am mostraram insetos no setor 3, após 45 minutos, cujo número foi significativamente superior àquela após 15 minutos, ao nível de 3,7% de probabilidade.

Na comparação entre os tratamentos, o setor 1, após 45 minutos do início do teste, apresentou um número de indivíduos na presença da fonte de ^{60}Co , que foi estatisticamente superior àquele constatado na presença da fonte de ^{241}Am , ao nível de 4,8% de probabilidade. Também no tempo de 45 minutos, o número de insetos no setor 3 foi estatisticamente maior na ausência de fonte radioativa que na presença da fonte de ^{60}Co , a 3,1% de probabilidade. Ainda no tempo de 45 minutos, a abundância de adultos foi maior no setor 3 para o tratamento fonte de ^{241}Am do que para o tratamento fonte de ^{60}Co , a 4,8% de probabilidade (tabelas 20, 21, 22 e 49).

Pode ser observada uma tendência dos insetos desta espécie permanecerem no setor 2, de soltura. Entretanto, no tempo de 45 minutos, os insetos tenderam a se aproximar da fonte de ^{60}Co e a se afastar da fonte de ^{241}Am , sendo o comportamento neste último tratamento semelhante ao do tratamento testemunha. Tal resultado diferiu do encontrado por HUG (1960), segundo BROWER (1967), que se referiu a uma resposta de aversão a radiações exibida por formigas submetidas a baixas taxas de exposição.

Este comportamento não pode ser relacionado com o efeito Cerenkov, pois, embora as radiações gama do ^{60}Co possuam energia superior a de limiar para a produção do efeito, as operárias destas saúvas, apresentando fototatismo negativo (apêndice 5), deveriam afastar-se desta fonte.

Contudo, devido ao fato desse resultado ter sido constatado somente em um intervalo de tempo, ele pode ser considerado como ocasional, não possibilitando conclusões quanto à percepção de radiações gama por esta espécie.

Tabela 50 - Valores de X^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	X^2_r	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	10,00	5	5	10
	30	10,00	5	5	10
	45	8,40	3	6	9
	60	10,00	5	5	10
^{60}Co	15	9,33	6	3	9
	30	8,40	6	3	9
	45	8,32	6	2	8
	60	8,40	6	3	9
Test.	15	8,32	6	2	8
	30	10,00	5	5	10
	45	7,60	7	1	8
	60	8,40	6	3	9

Tabela 51 - Valores de χ^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados

Tratamento	S	χ^2_r	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	2,04	-	-	-	-	-	-
	2	3,45	-	-	-	-	-	-
	3	4,69	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1	3,31	-	-	-	-	-	-
	2	3,13	-	-	-	-	-	-
	3	0,68	-	-	-	-	-	-
Test.	1	1,04	-	-	-	-	-	-
	2	5,81	2	8	6	7	4	2
	3	7,24	4	6	0	10	5	6

Tabela 52 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	0,646	-	-	-
	30	1,683	-	-	-
	45	1,222	-	-	-
	60	0,383	-	-	-
2	15	2,060	-	-	-
	30	1,007	-	-	-
	45	2,490	-	-	-
	60	1,125	-	-	-
3	15	4,114	0	24	25
	30	5,671	21	12	33
	45	9,028	6	33	39
	60	6,802	24	12	36

Pelas tabelas 23, 24, 25 e 50 pode-se observar que para os 3 tratamentos e 4 tempos considerados, o número de insetos foi significativamente maior no setor 2 que no 3. Para o tratamento fonte de ^{241}Am , nos 4 tempos, essa diferença foi significativa a 0,8% de probabilidade. Para o tratamento fonte de ^{60}Co , nos tempos de 15, 30 e 60 minutos, a diferença foi significativa a 0,8% de probabilidade e após 45 minutos, a 3,9% de probabilidade. Na ausência de fonte radioativa, a diferença foi significativa ao nível de 3,9% de probabilidade nos tempos de 15 e 45 minutos e a 0,9%, nos tempos de 30 e 60 minutos.

O número de indivíduos não diferiu estatisticamente com o transcorrer do tempo nos 3 setores, para os 3 tratamentos, nos níveis de probabilidade normalmente considerados (tabela 51).

Pelos dados das tabelas 23, 24, 25 e 52 constata-se diferen^{ças} significativas no número de insetos no setor 3 em relação aos tratamentos considerados. No tempo de 30 minutos, o número de adultos foi significativamente maior na ausência de fonte radioativa que na presença da fonte de ^{60}Co , ao nível de 4,8% de probabilidade. No tempo de 45 minutos, o tratamento testemunha apresentou um número de indivíduos que foi estatisticamente maior, ao nível de 4,8% de probabilidade, em relação ao tratamento fonte de ^{241}Am . Também para o tempo de 45 minutos, houve diferença estatística ao nível de 0,9% de probabilidade quanto ao número de insetos presentes nesse setor em relação à fonte de ^{60}Co e ausência de fonte radioativa. Neste caso, os adultos foram mais abundantes no setor 3, quando não houve exposição às radiações gama. Este mesmo fato ocorreu no tempo de 60 minutos, sendo a diferença entre o número de insetos significa

tiva a 0,9% de probabilidade.

Pode-se constatar que nos 3 tratamentos os adultos de *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), em sua maioria, permaneceram no setor 2, de soltura. Contudo, nada se pode generalizar em relação à radioperceptividade gama desta espécie, contrariando HUG (1960), citado por BROWER (1967), que se referiu a uma resposta de aversão a radiações demonstrada por formigas expostas a baixas taxas de exposição e também MARTINSEN e KIMELDORF (1972) que, em estimativas de limiar de exposições ou doses, indicaram que os receptores dos olhos e antenas da formiga *Camponotus herculeanus* podem detectar raios X e radiações beta da ordem de mrad.

Tabela 53 - Valores de X_r^2 do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o número de adultos de *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) presentes em cada setor (S) da arena em relação aos tratamentos e tempos considerados

Tratamento	Tempo (min)	X_r^2	$S_1 \times S_2$	$S_1 \times S_3$	$S_2 \times S_3$
^{241}Am	15	8,40	6	3	9
	30	12,10	6	3	8
	45	7,60	7	1	8
	60	7,89	8	0	8
^{60}Co	15	8,40	6	3	9
	30	7,60	7	1	8
	45	7,60	7	1	8
	60	7,60	7	1	8
Test.	15	8,40	6	3	9
	30	9,58	6	4	10
	45	7,89	8	0	8
	60	8,32	6	2	8

Tabela 54 - Valores de X^2_r do teste de Friedman e comparações múltiplas entre o percentual do número total de adultos de *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) encontrados em cada tempo de contagem (t) em relação aos tratamentos e setores (S) considerados.

Tratamento	S	X^2_r	$t_{15} \times t_{30}$	$t_{15} \times t_{45}$	$t_{15} \times t_{60}$	$t_{30} \times t_{45}$	$t_{30} \times t_{60}$	$t_{45} \times t_{60}$
^{241}Am	1	2,04	-	-	-	-	-	-
	2	9,24	5	10	11	5	6	1
	3	10,47	4	12	10	8	5	2
^{60}Co	1	5,45	6	6	9	0	2	2
	2	10,68	7	11	12	4	5	1
	3	12,79	3	12	12	8	8	0
Test.	1	7,08	8	10	8	2	0	2
	2	11,88	6	12	12	6	6	0
	3	11,08	7	10	12	4	6	2

Tabela 55 - Valores de h do teste de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os tratamentos em relação ao percentual do número total de adultos de *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) presentes nos setores (S), nos tempos considerados

S	Tempo (min)	h	$^{241}\text{Am} \times ^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am} \times \text{Test.}$	$^{60}\text{Co} \times \text{Test.}$
1	15	1,860	-	-	-
	30	1,340	-	-	-
	45	0,646	-	-	-
	60	0,540	-	-	-
2	15	5,460	27	30	3
	30	2,660	-	-	-
	45	0,560	-	-	-
	60	1,145	-	-	-
3	15	1,683	-	-	-
	30	1,220	-	-	-
	45	0,185	-	-	-
	60	1,365	-	-	-

Com base nas tabelas 26 e 53, verifica-se que, na presença da fonte de ^{241}Am , os setores 2 e 3 diferiram estatisticamente, nos 4 tempos considerados, em relação ao número de adultos, com predominância deles no setor 2. Assim, no tempo de 15 minutos, a diferença foi significativa ao nível de 0,8% de probabilidade e nos tempos de 30, 45 e 60 minutos, ao nível de 3,9% de probabilidade. O setor 2 conteve mais insetos que o setor 1 no tempo de 60 minutos, sendo a diferença significativa a 3,9% de probabilidade.

Para o tratamento fonte de ^{60}Co , o setor 2 também apresentou mais indivíduos que o setor 3, nos 4 tempos. No tempo de 15 minutos a diferença foi significativa a 0,8% de probabilidade e nos tempos de 30, 45 e 60 minutos, ao nível de 3,9% de probabilidade (tabelas 27 e 53).

Nota-se pelas tabelas 28 e 53 que, na ausência de fonte radioativa, os insetos predominaram no setor 2 em relação ao setor 3. Nos tempos de 15 e 30 minutos, a diferença entre o número de adultos nestes 2 setores foi significativa ao nível de 0,8% de probabilidade e nos tempos de 45 e 60 minutos esta foi significativa a 3,9% de probabilidade. O setor 2 ainda apresentou predominância de indivíduos em relação ao setor 1, a 45 minutos, ao nível de 3,9% de probabilidade.

Os insetos da presente espécie, quando expostos à fonte de ^{241}Am , estiveram em maior número no setor 2 no tempo de 15 minutos que no de 60 minutos, sendo a diferença significativa a 3,7% de probabilidade. Por sua vez, o setor 3 conteve mais insetos no tempo de 45 minutos do que no de 15 minutos, com uma diferença significativa ao nível de 1,3% de pro-

babilidade (tabelas 26 e 54).

Na presença da fonte de ^{60}Co , o setor 2 apresentou diferenças entre o número de adultos nos tempos de 15 e 45 minutos e 15 e 60 minutos. No primeiro caso, o número foi maior no tempo de 15 em relação ao de 45 minutos, ao nível de 3,7% de probabilidade e no segundo, houve o mesmo comportamento, mas com significância a 1,3% de probabilidade. Para o setor 3, o número de insetos foi menor no tempo de 15 minutos quando comparado aos tempos de 45 e 60 minutos, sendo ambas as diferenças significativas ao nível de 1,3% de probabilidade (tabelas 27 e 54).

Para o tratamento testemunha nota-se, pelas tabelas 28 e 54, que a presença de insetos, no setor 2, foi maior no tempo de 15 minutos que nos tempos de 45 e 60 minutos. No setor 3, o número de adultos foi maior no tempo de 60 que no de 15 minutos. Estas diferenças foram significativas a 1,3% de probabilidade.

Observando-se a tabela 55, verifica-se que os tratamentos não diferiram estatisticamente quanto à distribuição dos insetos desta espécie pelos 3 setores, nos 4 tempos estudados, nos níveis de significância geralmente considerados. Houve, entretanto, uma tendência das moscas permanecerem no setor 2, de liberação, nos 3 tratamentos.

Assim, pelo que foi exposto, não se observaram diferenças comportamentais desses insetos quanto à exposição às radiações gama do ^{241}Am e ^{60}Co e destes em relação ao tratamento testemunha.

6.3. Discussão Geral

O gradiente de temperatura entre os locais de colocação dos 2 termômetros (figura 1), por si somente, não foi suficiente para provocar reação comportamental nas espécies estudadas. Os diferentes comportamentos no tratamento testemunha foram devidos a fatores não controlados.

Em contradição às respostas em relação às radiações ionizantes encontradas por HUG (1960), citado por BROWER (1967), SMITH *et alii* (1963), BROWER (1967), MARTINSEN e KIMELDORF (1972) e WIENDL e WALDER (1975) para várias espécies de insetos, as espécies *Labrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) e *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) não apresentaram respostas comportamentais passíveis de generalizações em relação às radiações gama do ^{241}Am e ^{60}Co , levando-se em conta os testes estatísticos utilizados e os níveis de significância geralmente tomados para eles. Tais resultados contradizem a hipótese formulada de que o comportamento divergiria para radiações gama de diferentes energias.

A discrepância de resultados deste estudo com os de outros autores está relacionada com as diferentes metodologias empregadas, envolvendo processo de constatação de estímulo, natureza e atividade das fontes radioativas, tempo de irradiação, etc.

Como o fototatismo das espécies *Sitophilus oryzae* (L., 1763) e *Ephestia cautella* (Walker, 1864) é, segundo STERMER (1959), negativo,

pode-se considerar que a percepção às radiações ionizantes se deveu a um estímulo luminoso provocado por estas radiações nos olhos, conforme citaram *SMITH et alii* (1963) e *SMITH e KIMELDORF* (1964) em estudos com mariposas, *MARTINSEN e KIMELDORF* (1972) com formigas da espécie *Camponotus herculeanus* e *WIENDL e WALDER* (1975) com o caruncho *Sitophilus zeamais*. E, devido ao fato da energia das radiações gama do ^{241}Am estar abaixo daquela do limar para o efeito Cerenkov na água, supõe-se que este efeito tenha ocorrido por interação das radiações com outro componente ocular, de maior índice de refração que o da água. A produção de fluorescência por interação das radiações ionizantes com os componentes oculares foi também uma hipótese de detecção das radiações ionizantes levantada por *SMITH e KIMELDORF* (1964) e *WIENDL e WALDER* (1975).

Para as espécies onde se observou percepção, nota-se que a detecção das radiações ionizantes se processa de maneira semelhante a das radiações infravermelho incoerentes, pois estas últimas, segundo *CALLAHAN* (1967), são detectadas, teoricamente, pelos olhos compostos e ocelos.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados e nas condições de realização do experimento, pode-se concluir que:

- 1º) o limiar de dose de radiações gama necessário para provocar um estímulo comportamental varia de espécie para espécie de inseto;
- 2º) as espécies *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), *Ceratitis capitata* (Wied. 1824) e *Atta bisphaerica* Forel, 1908 não apresentaram respostas comportamentais passíveis de generalizações, quando expostas às radiações gama do ^{241}Am e ^{60}Co ;
- 3º) para adultos das espécies *Sitophilus oryzae* (L., 1763)

e *Ephestia cautella* (Walker, 1864), em quem se observou percepção às radiações ionizantes, a atividade da fonte radioativa foi relevante em comparação com a energia das radiações emitidas pela mesma; isto significando que o importante é a dose absorvida de radiações;

- 40) para as espécies que apresentaram resposta às radiações ionizantes, a percepção se processou ou através de um estímulo visual direto ou por um estímulo luminoso nos olhos, provavelmente por produção de radiações Cerenkov resultantes da interação das radiações ionizantes com algum componente ocular, exceto a água.

8. SUMMARY

The objective of the present work was to prove the existence of a perception for ionizing radiation by insects and determine its processing mechanism. Another objective was to check if such perception induces the insects to keep away from the radiation source, proving therefore a protection against the harms caused by ionizing radiation, or else the stimulus for such behaviour is similar to that caused by light radiations.

^{60}Co and ^{241}Am were used as gamma radiation sources, the ^{60}Co source of 0.435 mCi and the ^{241}Am of 99.68 mCi activity. Adult insects of the species *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), *Sitophilus oryzae* (L., 1763), *Ephestia cautella* (Walker, 1864), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) and workers of *Atta bisphaerica* (Forel, 1908) and *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775) were used

with the following treatments: exposure to ^{60}Co and ^{241}Am radiation and non-exposure (control).

A total of approximately 50 insects per replication was released in the central region of an opaque white wooden barrier divided into 3 sections with the same area - 60.0 cm diameter and 7.5 cm height - covered with a nylon screen. 5 replications per treatment were made and the distribution of the insects was evaluated by photographs taken at 15, 30, 45 and 60 minutes after release.

The behaviour of species *Zabrotes subfasciatus* (Boh., 1833), *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Callosobruchus analis* (Fabr., 1775), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Camponotus rufipes* (Fabr., 1775), *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) and *Atta bisphaerica* Forel, 1908 in relation to ^{60}Co and ^{241}Am gamma radiation were not responsive enough to lead to generalization. However, *Sitophilus oryzae* (L., 1763) and *Ephesia cautella* (Walker, 1864) showed some response to ^{241}Am gamma radiation, i.e. negative tactism.

It was concluded that ionizing radiations can be detected by insects through direct visual stimulus or by visual stimulus resulting from interaction of radiation - Cerenkov radiation - with some other ocular component with a refraction index greater than water. Also, the activity of the radioactive source with regard to perception for ionizing radiation, is of relevance in comparison with the energy of the radiation emitted by same, or in other words, what really matters is the radiation dose absorbed.

9. LITERATURA CITADA

BACHOFER, C.S. e S.E. WITTRY - 1962. Comparison of electroretinal response to X-ray and to light. *Radiation Research*, 17: 1-10.

BERTHOLF, L.M. - 1931. Reactions of the honeybee to light. *Journal of Agricultural Research*, 42(7):379-419.

BROWER, J.H., 1967. A possible radiation avoidance response exhibited by an insect population in nature. *Die Naturwissenschaften*, 2: 39-40.

BURSELL, E. - 1970. *An introduction to insect physiology*. London, Academic Press Inc. Ltd. 276p.

CALLAHAN, P.S. - 1967. Insect molecular bioelectronics: a theoretical and experimental study of insect sensillae as tubular waveguides, with particular emphasis on their dielectric and thermoelectret properties.

Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America, 5
(7): 315-347.

CAMPOS, H. de - 1979. *Estatística experimental não paramétrica*. 3a.
edição. Piracicaba, Departamento de Matemática e Estatística, ESALQ/
USP. 343p.

GALLO, D.; O. NAKANO; F.M. WIENDL; S. SILVEIRA NETO e R.P.L. CARVALHO - 1970.
Manual de entomologia - pragas das plantas e seu controle. São Paulo,
Editora Agronômica Ceres. 858p.

GELSEMA, W.J.; C.L. de LIGNY, J.B. LUTEN e F.G.A. VOSSENBERG - 1975. The
use of the Cerenkov effect in the counting of β -and γ -emitting
radionuclides. *International Journal of Applied Radiation and
Isotopes*, 26: 443-450.

LIPETZ, L.E. - 1955 a. The X-ray and radium phosphenes. *Br. J. Ophthal*,
39: 577-598.

LIPETZ, L.E. - 1955 b. Electrophysiology of the X-ray phosphene. *Radiation
Research*, 2: 306-329.

MARTINSEN, D.L. e D.J. KIMELDORF - 1972. The prompt detection of ionizing
radiations by carpenter ants. *Biol. Bull.*, 143: 403-419.

MARZKE, F.O.; M.W. STREET; M.A. MULLEN e T.L. McCRAY - 1973. Spectral
responses of six species of stored-product insects to visible light.

J. Georgia Entomol. Soc., 8(3): 195-200.

NASCIMENTO FILHO, V.F. do - 1975. Uso de uma fonte externa (^{60}Co) para a determinação da eficiência de detecção de ^{32}P pelo efeito Cerenkov, em extratos de solo. Piracicaba, ESALQ/USP, 151p. (Dissertação de Mestrado).

PARKER, R.P. e R.H. ELRICH - 1970. Cerenkov counting as means of assaying β -emitting radionuclides. In: BRANSONE JR., E.D., ed. *The current status of liquid scintillation counting*. New York, Grune & Straton, p. 110-122.

PHILLIS, W.A. e H.R. AGEE - 1976. Spectral sensitivity and variations in visual sensitivity of the colonized screw-worm fly, *Cochliomyia hominivorax* (Coquerell), as measured with electroretinogram. *J. Georgia Entomol. Soc.*, 11(3): 243-246.

ROSS, H.H., 1969. Measurement of β -emitting nuclides using Cerenkov radiation. *Analytical Chemistry*, 41(10): 1260-1265.

ROSS, H.H. e G.T. RASMUSSEN - 1974. Modern techniques and applications in Cerenkov counting. In: STANLEY, P.E. e SCOGGINS, B.A., ed. *Liquid scintillation counting: recent developments*. New York, Academic Press, Inc., p. 363-382.

SMITH, J.C.; D.J. KIMELDORF e E.L. HUNT - 1963. Motor responses of moths

to low-intensity X-ray exposure. *Science*, 140: 805-806.

SMITH, J.C. e D.J. KIMELDORF - 1964. The bioelectrical response of the insect eye to beta-radiation. *J. Ins. Physiol.*, 10: 839-847.

STERMER, R.A. - 1959. Spectral response of certain stored-product insects to electromagnetic radiation. *Journal of Economic Entomology*, 52(51): 888-892.

WEISS, H.B.; F.A. SORACI e E.E. MCCOY JR. - 1942. The behavior of certain insects to various wavelenghts of light. *Journal of New York Entomological Society*, 50: 1-35.

WIENDL, F.M. e J.M.M. WALDER - 1975. Perception of gamma radiation by adults of *Sitophilus zeamais* Mots. Piracicaba, CENA. 11p. Boletim Científico-031.

YINON, U. - 1970. The visual mechanisms of *Tenebrio molitor* - some aspects of the spectral response. *J. Exptl. Biol.*, 53: 221-229.

APÊNDICE 1

Limites da distribuição de X^2_r no teste de Friedman

$$P_o (X^2_r \geq X^2_r) = \alpha$$

k = número de tratamentos

n = número de repetições por tratamento

n	X^2_r	α
k = 3		
5	3,60	0,182
	4,80	0,124
	5,20	0,093
	6,40	0,039
	7,60	0,024
	8,40	0,008
	10,00	0,001
k = 4		
5	5,16	0,162
	6,12	0,107
	6,36	0,093
	7,32	0,055
	7,80	0,044
	8,76	0,023
	9,72	0,012
	9,96	0,009
	12,12	0,001

Esta tabela foi adaptada por CAMPOS (1979), de OWEN (1962), para k = 3, e de HOLLANDER e WOLFE (1973), para k = 4.

APÊNDICE 2

Diferença mínima significativa (Δ_1) para as comparações múltiplas, baseadas no teste de Friedman, envolvendo todos os pares (i,j) de tratamentos.

$$P_0 (|R_i - R_j| \geq \Delta_1) = \alpha$$

k = número de tratamentos

n = número de repetições por tratamento

n	Δ_1	α
k = 3		
5	8	0,039
	9	0,008
k = 4		
	11	0,037
	12	0,013

Tabela adaptada por CAMPOS (1972), de HOLLANDER e WOLFE (1973).

APÊNDICE 3

Limites da distribuição de H no teste de Kruskal-Wallis

$$P_o (H > \underline{h}) = \alpha$$

n_1	n_2	n_3	h	α
5	5	5	3,380	0,201
			3,420	0,190
			3,860	0,150
			4,560	0,100
			5,040	0,075
			5,660	0,051
			5,780	0,049
			6,740	0,025
			7,020	0,020
			7,980	0,011
			8,000	0,009
			8,060	0,009
			8,420	0,007
			8,720	0,005
			8,820	0,005
			9,420	0,002
			9,620	0,002
			9,680	0,001
			10,220	0,001

Esta tabela foi adaptada por CAMPOS (1979), de HOLLANDER e WOLFE (1973).

APÊNDICE 4

Diferença mínima significativa (Δ) para as comparações múltiplas, baseadas no teste de Kruskal-Wallis, envolvendo todos os pares (i,j) de tratamentos e com $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$.

$$P_0 (| R_i - R_j | \geq \Delta) = \alpha$$

k = número de tratamentos

n = número de repetições por tratamento

n	Δ	α
K = 3		
5	33	0,048
	35	0,031
	39	0,009

Tabela adaptada por CAMPOS (1979), de HOLLANDER e WOLFE (1973).

APÊNDICE 5

DETERMINAÇÃO DO FOTOTATISMO DE SAÚVAS

Cada uma das 4 repetições constou da liberação de, aproximadamente, 30 operárias da espécie *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 na região central de um tubo cilíndrico de lucite com 100,0 cm de comprimento por 4,5 cm de diâmetro, demarcado de 10 e 10 cm. Em uma das extremidades colocou-se uma lâmpada fluorescente, luz do dia de 15 W, fazendo-se a contagem do número de insetos em cada setor nos tempos de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. Em cada extremidade do tubo foram colocados termômetros que foram lidos nos tempos de contagem dos insetos.

O teste foi efetuado em câmara de ambiente controlado, com $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $75 \pm 5\%$ de umidade relativa e os resultados encontram-se tabulados nas tabelas seguintes.

Distribuição, em relação ao tempo, de operária da espécie *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 submetidas à luz, considerando-se a porcentagem do número total de insetos em cada repetição e tempo

Repetição	Distância da luz (cm)	Tempo (min)					
		10	20	30	40	50	60
1	0 a 40	0,0	6,7	10,0	13,3	30,0	30,0
	40 a 60	93,3	63,3	56,7	33,3	30,0	20,0
	60 a 100	6,7	30,0	33,3	53,3	40,0	50,0
2	0 a 40	0,0	10,3	3,4	24,1	20,7	27,6
	40 a 60	86,2	62,1	51,7	37,9	24,1	27,6
	60 a 100	13,8	27,6	44,8	37,9	55,2	44,8
3	0 a 40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1
	40 a 60	93,8	87,5	75,0	84,4	75,0	84,0
	60 a 100	6,2	12,5	25,0	15,6	25,0	12,5
4	0 a 40	0,0	7,4	0,0	3,7	25,9	18,5
	40 a 60	81,5	63,0	70,4	48,1	33,3	25,9
	60 a 100	18,5	29,6	29,6	48,1	40,7	55,5

Temperaturas, em $^{\circ}\text{C}$, nas extremidades do tubo, nos vários tempos de contagem

Repetição	Distância da luz (cm)	Tempo (min)					
		10	20	30	40	50	60
1 e 2	0	28,0	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
	100	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
3 e 4	0	28,0	28,5	29,0	29,0	29,0	29,0
	100	27,0	27,0	28,0	27,5	27,0	27,5

Pelos resultados, nota-se que em todos os tempos de contagem e repetições, a incidência de saúvas foi maior na região de 60 a 100 cm que na de 0 a 40 cm. E o gradiente de temperatura entre as extremidades do tubo não foi significativamente importante nesse tipo de comportamento (1).

Portanto, as operárias da saúva *Atta sexdens rubropilosa* Foel, 1908 apresentam fototatismo negativo.

(1) MARICONI, F.A.M., 1980. Comunicação pessoal.