EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA NO COMPORTAMENTO DA
BROCA DA CANA-DE-AÇÚCAR *Diatraea saccharalis*
(Fabr., 1794) (LEPIDOPTERA-PYRALIDAE)

JOSÉ VICENTE CONTRERAS DURÁN
Engenheiro-Agrônomo

Orientador: Dr. Evoneo Berti Filho

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto, 1980

Aos

meus pais,

irmãos e

amigos,

O F E R E Ç O !

A meu tio Miguel A. Contreras C. (in memoriam)

À minha prima Josefina Otero Q. (in memoriam)

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

- À *Fundação Gran Mariscal de Ayacucho (FUNDAYACUCHO)* de la República de Venezuela, pela concessão da Bolsa de Estudos.
- Aos *Professores do Departamento de Entomologia*, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), pelos conhecimentos transmitidos.
- À *Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)*, *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)* e ao *Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)*, pelas facilidades concedidas para o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao *personal da Seção de Entomologia* do CENA, pela colaboração oferecida.
- Ao Professor *Evôneo Berti Filho*, pela valiosa orientação e inestimável amizade.
- Ao Professor *Ricardo Bohrer Sgrillo*, pela ativa participação, amizade e incentivo oferecidos.
- Ao Professor *Domênigos Gallo*, Chefe do Departamento de Entomologia da ESALQ/USP, pelo estímulo recebido.
- Aos Professores *Frederico Maximiliano Wiendl* e *Julio Marcos Melges Walder*, pelas oportunas sugestões na execução desta pesquisa.
- Ao colega *Hélio Castilho*, do laboratório de Entomologia da Usina Santa Bárbara, pelo fornecimento das pupas da broca da cana, para realização dos ensaios.

- À colega *Lindáurea Alves de Sousa*, pelas indicações na redação técnica.
- Ao colega *Iberê Carolino*, pela ajuda nos desenhos.
- Ao senhor *José Osório Bertoli*, pela colaboração na irradiação dos insetos.
- À Srta. *Elizabeth Ferreira de Souza*, pela generosa ajuda e constante incentivo neste etapa de minha vida.
- À Sra. *Janeti de Lourdes Bombini de Moura*, da Biblioteca do CENA, pela revisão das referências bibliográficas.
- Ao Sr. *Luiz Carlos Verissimo*, da Biblioteca Central da ESALQ/USP, pela colaboração.
- Aos *Colegas do Curso de Pós-Graduação em Entomologia*, pela amizade.
- A todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram a chegar ao final desta pesquisa.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
4. METODOLOGIA	19
5. RESULTADOS	25
6. DISCUSSÃO	29
7. CONCLUSÕES	53
8. SUMMARY	55
9. RESUMEN	57
10. LITERATURA CITADA	59

1. RESUMO

Alguns efeitos da radiação gama sobre o comportamento de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (LEP - Pyralidae), foram estudados sob condições controladas de temperatura ($28^{\circ}\text{C} \pm 2$) e umidade relativa ($75\% \pm 10$), no laboratório da Seção de Entomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP, Brasil. Usaram-se insetos adultos, criados com dieta artificial e irradiados às 24 horas de idade, em cada tratamento, tendo como objetivos estudar o comportamento e influências das radiações gama na broca da cana-de-açúcar, visando fornecer dados para posteriores pesquisas, que possam contribuir nas tentativas da aplicação da Técnica do Indivíduo Estéril.

Foi utilizada uma fonte de cobalto-60, com uma taxa de 353 krad/hora, um ativímetro e uma câmara climatizada.

Foram determinados: efeitos da radiação sob resfriamento

($5^{\circ}\text{C} \pm 1$) e sem resfriamento em atividade, oviposição, competitividade, cópula e longevidade. Estes dados foram obtidos em ambos os sexos, com as conclusões principais: a) as doses esterilizantes com radiações gama não afetam o comportamento sexual, inclusive sob resfriamento; b) as percentagens de inviabilidade de ovos são diretamente proporcionais à dose aplicada, tanto a fêmeas como a machos; c) *D. saccharalis* apresenta atividade só na escotofase, caracterizando-se como inseto noturno.

2. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes no Brasil como fonte energética, sendo também, em outros países, a base da economia nacional. No entanto, sua produtividade e rendimento industrial são relativos a cada área de produção; assim, na safra de 1977, a produtividade média brasileira foi de apenas 55 TM/ha, segundo dados do I.B.G.E., enquanto que nos Estados Unidos, Colômbia e México, por exemplo, é de 80,5; 79,6 e 71,8 TM/ha, respectivamente, segundo anuário FAO (1978).

Dentre os fatores que interferem nessa baixa produção, encontra-se um inseto praga, a broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera-Pyralidae), cujas lagartas causam dano aos canaviais em distintas fases de desenvolvimento. No início da cultura, as lagartas podem danificar a região de crescimento da planta, causando o sintoma conhecido como "coração morto", responsável pelas falhas no canavial. Em plantas idosas, os danos são perfurações

em diâmetro e número variáveis, onde penetram bactérias e fungos, como *Glomerella tucumanensis* (Speg) e *Colletotrichum faleatum* Went, causadores da "podridão vermelha", uma das doenças mais importantes, endêmicas da cana-de-açúcar no Brasil, segundo GALLI *et alii* (1980).

Observações feitas na Venezuela por Box (1947), citado por PRUNA (1969), mostraram que, além da penetração dos microorganismos mencionados, há também a ação secundária de coleobrocas como *Metamasius hemipterus* (L.) e *Xyleborus* spp, que contribuem para aumentar o dano.

Existem diversos fatores que influenciam a relação quantitativa entre infestação da broca e perdas causadas. De maneira geral, pode-se dizer que para cada 1% de intensidade de infestação, há uma redução de 0,75% de açúcar. Estimando-se em 15% a infestação média em São Paulo (SGRILLO, 1979), fica clara a importância econômica da *D. saccharalis*.

Como a cada dia aumentam as necessidades mundiais de mais alimento, paralelamente se desenvolvem tecnologias para proteger as culturas através de distintos métodos. Sendo as pragas um dos fatores limitantes nas produções agrícolas, o homem emprega técnicas visando o controle e a erradicação das populações de insetos. Uma das mais recentes dessas metodologias é a Técnica do Indivíduo Estéril, que se baseia na criação, esterilização e liberação de insetos no campo, que compitam com as populações naturais. Esse método, como o controle biológico, restringe o uso de agrotóxicos que, além de pôr em perigo a saúde do homem, poluem o ambiente, eliminando organismos benéficos e favo-

recendo o aparecimento de indivíduos resistentes.

Em 1972, o Setor de Radioentomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP), iniciou uma linha de pesquisas sobre *D. saccharalis*, tendo como objetivos determinar a possibilidade de aplicação da técnica do indivíduo estéril (T.I.E.) para manejo das populações desse inseto nas regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Assim, a produção de machos estéreis e sua liberação como meio de controle da broca é motivo de investigação no Brasil, justificando-se uma pesquisa sobre esterilização com raios gama para produzir um máximo de esterilidade e um mínimo de dano no inseto, com a diminuição de acasalamentos férteis e redução das populações da broca em cada geração.

O presente trabalho tem como objetivos principais fornecer dados necessários à aplicação da T.I.E. na broca da cana-de-açúcar, especialmente os que se referem ao comportamento dos adultos e os efeitos da radiação gama no inseto.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O uso de radioisótopos e radiações ionizantes para controle de insetos pragas adquire maior interesse à medida que pesquisadores logram sucessos parciais ou totais nos seus objetivos em diferentes ecossistemas, controlando ou erradicando uma dada espécie praga.

No que diz respeito a esse tópico, os estudos em *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) são escassos, embora existam extensos trabalhos sobre sua bioecologia e outros aspectos, tal como indicam GALLO (1963), PRUNA (1969), WALDER (1976), GUEVARA (1976), CRUZ (1976), MENDONÇA FILHO (1978), SGRILLO (1973 e 1979) e VIEIRA (1980).

O naturalista holandês Johann Christian Fabricius foi o primeiro a descrever a espécie em 1794, com o nome de *Phalaena saccharalis*; posteriormente, Guilding (1832) denominou-a *Diatraea sacchari*, mas a prioridade do nome específico corresponde ao de *saccharalis*, de Fabricius (PRUNA, 1969). Box, considerado por este autor como a maior

autoridade na taxonomia do grupo, classificou a espécie como pertencente à sub-família Crambinae da família Pyralidae da ordem Lepidoptera, em bora LIMA (1949), tenha mostrado que a tendência da espécie era elevar Crambinae à categoria de família (Crambidae).

SILVA *et alii* (1968) refere-se à *Chilo saccharalis* como sinônimo de *D. saccharalis*, classificando-a como Crambidae.

Vários são os nomes dados à *D. saccharalis* nas distintas regiões produtoras de cana-de-açúcar das Américas. MOLINARY (1957) publicou os nomes mais populares desta praga: "sugarcane borer (E.U.A.), "borer de la caña" (Porto Rico e Cuba), broca da cana-de-açúcar (Brasil), "barreno de la caña de azúcar" (Colombia, Peru e Equador), "tucuarê rasô" (Uruguai), "taladrador de la caña" (Venezuela) e "gusano chupador de la caña" (Argentina).

Em relação à planta hospedeira, METCALF e FLINT (1966) encontraram a espécie atacando, além da cana-de-açúcar, milho, sorgos, arroz e gramíneas silvestres.

PAREDES e ANGELES (1966) publicaram uma lista de 32 gramíneas hospedeiras de *D. saccharalis*, obtidas em diferentes parcelas do sistema agropecuário do Estado do Guárico, na Venezuela. Em lista separada mostraram-se as plantas que constituem os primeiros registros como hospedeiras desta praga na cultura de arroz.

SILVA *et alii* (1968) mencionaram as seguintes plantas hospedeiras para *D. saccharalis* (= *Chilo saccharalis*): arroz, aveia, ca-

na-de-açúcar, cana da Índia (*Arundo donax*), capim arroz, capim d'angola, capim mori, capim roxo, capim sudão, perimembeca, sorgo, sorgo silvestre, trigo e vetiver.

QUINTANA-MUÑIZ e WALKER (1970 a,b,c) estudaram a preferência de hospedeiro para a ovoposição da broca da cana-de-açúcar, concluindo que o milho é o melhor hospedeiro para a broca, pois nesta planta a mortalidade é menor e o grau de desenvolvimento maior. De acordo com a atratividade, as plantas foram divididas em três categorias: 1) preferência alta (acima de 20% de infestação) em milho e cana-de-açúcar (var. PR-980); 2) preferência média (de 14 a 19% de infestação) em cana-de-açúcar (var. M-275) e sorgo (var. C-3/7); 3) baixa preferência (abaixo de 8% de infestação), num duplo grupo de plantas.

O conhecimento da distribuição geográfica das pragas e de suas flutuações populacionais constituem os pontos básicos da Ecologia, uma vez que indicam os locais de maior ocorrência de pragas e a variação da população durante o ano, permitindo sua posterior aplicação no controle.

PEREZ e LONG (1964) constataram que aproximadamente 90% de todos os machos da broca da cana foram coletados entre 1 e 4 horas, usando-se armadilhas adesivas contendo extrato de fêmeas virgens. Menos de 1% foi capturado antes da meia-noite ou após as 5 horas. A atividade sexual da broca no campo ocorreu principalmente entre 1 e 4 horas.

COELHO (1977), em análise faunística das famílias Pyrali

dae e Sphingidae, ao referir-se à *Diatraea saccharalis* (F.) indica que esta ocorre de agosto a abril, com dois picos populacionais (fevereiro e setembro), sendo uma espécie constante com nível de equilíbrio de dez indivíduos, na região de Piracicaba (SP).

BOTELHO *et alii* (1978), em estudos realizados na Estação Experimental do Planalsucar (Araras, SP), de outubro de 1972 a setembro de 1975, concluíram que os adultos de *D. saccharalis* ocorrem durante todo o ano, com um pico maior na segunda quinzena de agosto e outros em janeiro e março, indicando que os fatores meteorológicos foram responsáveis por 41,3% das flutuações populacionais, sendo as variações de temperatura as mais importantes, com uma influência de 27,8%.

Segundo METCALF e FLINT (1966), a broca da cana-de-açúcar foi introduzida nos Estados Unidos das Índias Ocidentais, no ano de 1855, e encontra-se distribuída principalmente na Flórida, Mississippi, Louisiana e Texas.

Numa ampla revisão sobre a broca da cana-de-açúcar, PRUNA (1969) cita que Meyers encontrou *Diatraea saccharalis* no seu habitat primitivo no Lago Etang-Miragoane, no Haiti, e na comunidade de ervas flutuantes dos pequenos canais do delta do rio Orinoco, na Venezuela, onde compete com outras espécies do mesmo gênero, como *D. rosa* (Heinrich), *D. busckella* (Dyar et Heinrich) e *Eodiatraea centrella* (Muschler).

No Brasil, segundo GUAGLIUMI (1973), a espécie é encon-

trada de Norte a Sul, nas regiões canavieiras do país, tendo sido registrada pela primeira vez no ano de 1859, em relatório de uma comissão de técnicos brasileiros sobre a broca, publicado na revista "O Auxiliador da Indústria Nacional", do Rio de Janeiro. Os autores do relatório afirmaram que, em 1834 ou 1840, apareceu no município de Campos (RJ) e no estado de Santa Catarina, uma lagarta que assolou os canaviais dessas regiões, e que, se não idêntica à broca, seria pelo menos do mesmo gênero.

A broca da cana-de-açúcar é um inseto que, segundo MENDES (1974), se distribui por todas as Américas, desde o sul dos Estados Unidos (Flórida), passando pelo Texas, toda a América Central e Sul, Antilhas e ilhas do Caribe.

GALLO *et alii* (1978) consideram *D. saccharalis* originária das Américas Central e Sul, sendo a principal praga da cana-de-açúcar.

Das espécies encontradas no Estado de São Paulo, *D. saccharalis* é a mais importante e a única que apresenta interesse econômico.

GEHRING e MADSEN (1963), em estudos de *Carpocapsa pomonella* (L.) sobre cópula, comportamento e ovoposição, demonstraram que as cópulas ocorrem igualmente em condições de completa escuridão e em períodos alternados de escuridão-luz e crepúsculo. A ocorrência de múltiplas cópulas foi determinada pela dissecação das mariposas semanal

mente capturadas no campo, contando-se o número de espermátóforos presentes em cada fêmea.

PEREZ e LONG (1964), em estudos sobre frequência de cópula de *D. saccharalis*, onde dissecaram 137 fêmeas criadas no laboratório e acasaladas em gaiolas, encontraram que 68% das fêmeas copularam uma vez, 15% duas vezes, 1% três vezes e 16% não copularam. Em experimentos de campo, capturando fêmeas, encontraram que 93% copularam uma vez, 2% duas vezes e 5% não copularam. Descrevendo a atividade e comportamento sexual do inseto, os autores estabeleceram que a cópula ocorre principalmente entre 1 e 4 horas em Louisiana (EUA), sendo as fêmeas mais atrativas para os machos nos primeiros três dias depois da emergência.

WALKER (1965) observou com detalhes o acasalamento e postura de *D. saccharalis* em laboratório, concluindo que a fêmea copula entre 20 h e 03h30, ovopositando antes do amanhecer.

Em Porto Rico, FISK e PEREZ (1969), estudando a atividade de vôo de *D. saccharalis*, determinaram que esta se estende das 20 horas até às 4 horas da manhã, com maior incremento logo após o escurecer e que as fêmeas foram capturadas em noites de pouco luar e os machos em noites de lua cheia.

Pesquisas realizadas por BOTELHO *et alii* (1977), mostram a distribuição, comportamento e intensidade de infestação de *D. saccharalis* (F.) em nove usinas açucareiras em regiões ecologicamente diferen

tes no Estado de São Paulo.

BOTELHO *et alii* (1978) avaliaram a capacidade de dispersão de machos de *D. saccharalis*, concluindo que a distância média em que a metade da população de machos se afastou da origem, foi de 42,5 m/dia.

LEPPLA *et alii* (1979), em estudos sobre a locomoção de seis espécies de noctuídeos, deduziram que o conhecimento da biologia e comportamento dos insetos pragas é requisito fundamental na implantação de estratégias para controles totais ou parciais, assim como as análises comportamentais requerem conhecimento da sincronização de interações entre inseto e periodicidade de deslocamento ativo.

KOGURE (1933) estudou a influência da luz e da temperatura no desenvolvimento de ovos de *Bombix mori* (L.).

GALLO (1963) mencionou a temperatura como um dos fatores mais importantes para a evolução da *D. saccharalis* (F.), sendo que em altitudes de 0 a 150 m, nos países açucareiros antilhanos, a broca da cana-de-açúcar tem um ciclo mais curto, ocorrendo cerca de oito gerações por ano; em outras regiões e condições, como na Louisiana (EUA) e Tucumán (Argentina), se dá uma geração hibernante e, em consequência, o número de gerações anuais é de 4 a 5. Enquanto a umidade é importante para o desenvolvimento da broca, não é um fator decisivo para a intensidade de sua infestação.

SUGAI (1965) verificou que a elevação da temperatura a-

pões a irradiação tem um efeito marcante na fertilidade de machos de *Bombyx mori* (L.), diminuindo-a mais que o abaixamento da temperatura.

CRAWFORD (1966), em pesquisas sobre a ovoposição dependendo do fotoperíodo do crambídeo *Crambus teterrellus* (Zinck), concluiu que a ovoposição foi arritmica quando em constante escuridão.

BECK (1971) indica que o termo fotoperíodo é usado com ambiguidade para designar o ciclo completo de iluminação-escuridão e também para referir somente à fase de iluminação do ciclo; para evitar tal ambiguidade podem ser usados os termos fotofase "photophase" para a porção de luminosidade e escotofase "scotophase" para a porção de escuridão, respectivamente.

DAJÓS (1973) determinou em horas o desenvolvimento embrionário de *Drosophila melanogaster* (Meing) em função da temperatura, concluindo que, obviamente, as temperaturas mais baixas alongam o ciclo evolutivo.

SILVEIRA NETO *et alii* (1976) citam que, de modo geral, os machos têm uma razão de metabolismo maior e, conseqüentemente, uma longevidade menor e que isto explicaria a lei biológica da constante térmica em que a duração do desenvolvimento de um inseto varia na razão inversa da temperatura.

A partir de 1962, periodicamente, a "International Atomic Energy Agency (IAEA)", sociedade internacional com sede em Viena, Áus-

tria, vem promovendo simpósios e painéis onde se reúnem cientistas de todo o mundo, apresentando e discutindo trabalhos sobre controle de insetos através do uso de radiações ionizantes.

BORSTEL (1963) expressa que as radiações e os produtos químicos mutagênicos matam as células de modos diversos: 1) mediante a indução de um ou vários tipos de elementos letais dominantes; 2) por inativação direta de uma função, como a produção de esperma; 3) por procedimentos geneticamente indefiníveis de exterminação que podem ou não estar relacionados com a letalidade dominante intrínseca.

Na luta contra os insetos pelo método de irradiação dos machos, a obtenção de um elemento letal dominante oferece, nas espécies onde as cópulas são múltiplas, as mesmas vantagens que nas espécies que copulam só uma vez. Aplicando doses de radiação que produzam um máximo de fatores letais dominantes e uma inativação mínima do esperma, a eficiência teórica do método será completa.

KNIPLING (1964) faz um amplo estudo sobre a potencialidade da Técnica do Indivíduo Estéril para controle das populações de insetos combinando o método com os convencionais e sugere a factibilidade da utilização da liberação de insetos estêreis para controlar e eliminar lepidópteros pragas, entre os quais *D. saccharalis* (F.); pela aplicação da técnica, a densidade populacional seria baixa, controlada ou erradicada.

BORSTEL (1968) indica que, praticamente, todas as espê-

cies de insetos, com exceção possivelmente daquelas que são partenogênicas telítocas, podem ser erradicadas utilizando o método de machos estéreis.

WALKER e QUINTANA (1968) mostraram que doses sub-esterilizantes de radiação em machos pais da broca da cana podem causar vários níveis de esterilidade na progênie F_1 que tem desenvolvimento completo e que a esterilidade herdada pode ser atribuída à indução e translocação dos cromossomos.

WALKER (1968) apresenta um projeto para determinar se a *D. saccharalis* poderia ser esterilizada por radiação gama e, em caso positivo, verificar qual o estágio mais conveniente para produzir um máximo de esterilidade com mínimos danos somáticos e mudanças comportamentais. Em estudos preliminares, machos e fêmeas irradiados com 35 krad foram normais em seus relacionamento e comportamento, competindo com adultos não irradiados. A dose de 30 krad provocou 99,99% de esterilidade em machos.

WHERVIN e WILDE (1969), analisando a possibilidade da utilização de machos estéreis para a erradicação da broca da cana em Barbados, recomendaram que o primeiro passo para um programa desta natureza deveria ser um estudo detalhado da fisiologia reprodutiva da espécie, com o propósito de descobrir o estágio crítico a que a irradiação ou a químio-esterilização deveria ser aplicada para obter 1) mutação letal dominante; 2) alta porcentagem de sobrevivência e 3) machos totalmente competitivos. Os autores indicaram que o custo do projeto depen

deria de fatores tais como: a) distribuição geográfica da espécie; b) tamanho da população e extensão territorial; c) custos da produção de *Diatraea*, dos prédios para criação, das dietas, da célula gama ou dos quimioesterilizantes; d) salários dos entomólogos e especialistas nesse tipo de trabalho e dos técnicos e trabalhadores casuais.

WALKER e PEDERSEN (1969) apresentaram modelos matemáticos de população para a supressão da broca por soltura de adultos estéreis.

KNIPLING (1970) estudando a possibilidade da supressão de lepidópteros pragas em regiões ecológicas diferentes e aplicando parcialmente a Técnica do Macho Estéril (T.M.E.) para seus controles, incluindo *D. saccharalis* (F.), concluiu que são muitas as razões para acreditar que alguns avanços sobre esta técnica podem ser desenvolvidos e aplicados com significantes vantagens sobre os métodos comuns de controle.

WALKER *et alii* (1971), ao estudarem os efeitos da radiação gama em estágios imaturos da broca da cana, concluíram que as radiações em larvas não só produzem baixo número de adultos, como também atrasam o ciclo de vida significativamente. Além disso, os poucos adultos produzidos são sexualmente incompetentes e a produção comercial de adultos provavelmente competentes pode ser obtida por radiação de pupas, mas a produção é severamente reduzida pela dose esterilizante e os espermatozoides são defeituosos.

RICHMOND e GRAHAM (1971) fizeram estudos em *Pectinophora*

gossypiella (Saunders) determinando a eficiência de mariposas tratadas com 15 e 25 krad para erradicar populações em gaiolas no campo.

FRIED (1971) descreveu um método para a determinação estimada da competitividade de insetos estéreis.

HENNEBERRY (1971) afirmou que métodos de esterilização estão sendo estudados para determinar a sua aplicabilidade no controle de uma ampla variedade de insetos pragas, onde se inclui a broca da cana-de-açúcar. A dose de radiação necessária para esterilizar espécies de Lepidoptera provou ser relativamente mais alta que as necessárias para esterilização das outras ordens.

BROWER e ASHRAF (1972) referiram-se à resistência dos lepidópteros e coleópteros às radiações e indicaram que a explicação provável depende das diferenças herdadas na fisiologia das ordens. Os lepidópteros adultos, comumente, não se alimentam, têm vida curta e não dependem do tecido renovável para a divisão celular, sendo relativamente radioresistentes. Os coleópteros adultos são geralmente de vida longa, alimentam-se e dependem da divisão celular no intestino médio, mantendo a função do epitélio intestinal. A síndrome de morte intestinal significa que eles são relativamente radiosensíveis.

TOBA *et alii* (1972), liberando machos sub-estéreis para o controle de *Tichoplusia ni* em gaiolas, reduziram a população em 92% na segunda geração e concluíram que a liberação de machos sub-estéreis poderia ser um método prático de controle de insetos.

SAMANIEGO e KATİYAR (1974) estudaram os efeitos da radiação gama em diferentes estágios de *Hypsipyga grandella* (Zeller) para a aplicação da Técnica do Macho Estéril, concluindo que o estágio mais conveniente para a aplicação desta técnica é o adulto, já que ao serem esterilizados com 30 e 35 krad, fêmeas e machos, respectivamente, não se observou mortalidade nem deformações físicas.

BROWER (1975), irradiando adultos de *Plodia interpunctella* (Hubner) de um dia de idade, encontrou que as doses esterilizantes requeridas para esterilizar machos e fêmeas sempre foi maior para machos (42.5 e 27; 67 e 45, para 50 e 99% de esterilidade, respectivamente).

TAYLOR (1976) apresentou duas alternativas de modelos biológicos que podem ser usados como auxílio na determinação de estratégias para a liberação de machos estéreis.

SANFORD (1976), estudando a esterilidade herdada em prole de machos de *D. saccharalis* irradiados com doses de 5, 10 e 15 krad, determinou que a fecundidade e fertilidade mostram uma redução proporcional ao incremento das doses.

4. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado no laboratório da Seção de Entomologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, SP. Teve início em setembro de 1979, finalizando em maio de 1980.

Os insetos para o experimento foram provenientes da criação massal de *Diatraea saccharalis* (Fabr. 1794), em estágio pupal, do laboratório de Entomologia das Usinas Santa Bárbara e São José dos municípios de Santa Bárbara d'Oeste e Piracicaba, respectivamente e nos quais a dieta utilizada era descrita por HENSLEY e HAMMON (1968), modificada.

As pupas sexadas foram colocadas separadamente em bandejas de plástico transparente com tampas de tecido de nylon, com dimensões (18x12x5 cm) contendo uma camada de vermiculita umidecida coberta com malha de nylon, sobre a qual se colocavam as pupas. Em seguida, o material foi levado à câmara de criação com temperatura de $28^{\circ}\text{C} \pm 2$, umidade relativa de $75\% \pm 10$ e fotoperíodo de 10 L : 14 D, para a obtenção

de adultos.

Após a emergência de adultos, fêmeas e machos de 24 horas de idade foram cuidadosamente retirados e colocados num saco plástico para serem irradiados. Utilizou-se um irradiador de cobalto 60 (^{60}Co) tipo Gammabeam 650 da "Atomic Energy of Canada, Ltd", Ottawa, com uma atividade de 13 - 14.000 Ci, na época do experimento, com uma taxa de radiação que oscilou em 346.5 - 359.5 Krad/hora, para doses de 0, 5, 10, 15, 17, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50 e 60 Krad.

Irradiados os adultos, fêmeas ou machos com a dose correspondente em função do teste em prova, colocavam-se num tubo cilíndrico sobre uma placa de petri igualmente revestida com as paredes internas do tubo por papel manteiga, onde realizava-se a ovoposição. Para manter a umidade neste recipiente, usou-se algodão umedecido sobre vidro de relôgio e uma malha de nylon para tampar a boca do tubo.

Diariamente foram feitas observações sobre mortalidade em ambos os sexos e a cópula foi determinada pela presença ou ausência de espermatóferos na bursa copulatrix; mortos todos os insetos, avaliou-se sua longevidade.

As massas de ovos eram recortadas do papel de postura e colocadas em papel filtro umedecido dentro de placas de petri e postas em câmara climatizada para a eclosão de larvas. Ao termo do 6º dia, e com auxílio de uma lupa (Wild-M7), contou-se o número de ovos férteis, inférteis e mutações letais dominantes de cada teste.

Na execução destes testes com fotoperíodos de 10 L : 14 D, 14 : 10 e 0 L : 24 D (escotofase), doses já indicadas e duas temperaturas (20 e 26°C), logo após o tratamento eram colocados em casais, da seguinte forma:

- a) Fêmea normal x Macho irradiado
- b) Fêmea irradiada x Macho normal
- c) Fêmea normal x Macho normal
- d) Fêmea irradiada x Macho irradiado
- e) Sô macho
- f) Sô fêmea

Uma caixa de acrílico (lucite) de 40 cm de lado e 20 cm de altura, com fundo e os dois terços superiores das paredes revestidas com papel de postura e contendo os insetos, colocava-se simetricamente no campo central do ativímetro marca OPTO-VARIMEX-ENTO, da "Columbus Instrument, Ohio (USA)", (Figuras 1, 2, 3) que permanecia em câmara climatizada marca COMVIRON, com temperatura, umidade e fotoperíodo prê-estabelecido e os valores numéricos referentes à atividade dos insetos eram computados e registrados a intervalos de dez minutos. Com esses valores se construíam curvas da atividade em qualquer fase do fotoperíodo: luz (fotofase) e escuridão (escotofase).

Figura 1 - OPTO-VARIMEX-ENT0; sem caixa de Lucite

Figura 2 - OPTO-VARIMEX-ENT0; com caixa de Lucite

Figura 3 - Caixa de Lucite, em corte A-B

IRRADIAÇÃO SOB RESFRIAMENTO

No presente ensaio, as mariposas foram colocadas em sacos plásticos num refrigerador a 5°C durante 30 minutos, ficando paralizadas. Logo após, transferia-se o mesmo saco a uma caixa de isopor devidamente tampada (Figura 4), com o fundo coberto de gelo; nestas condições, irradiavam-se os insetos, que, em estado letárgico, foram colocados para acasalamento nos tubos cilíndricos e ao lapso de 1-3 minutos, as mariposas adquiriam sua atividade normal.

Figura 4 - Caixa de isopor utilizada na irradiação sob resfriamento.

(1) Tampa; (2) Saco Plástico; (3) Insetos; (4) gelo.

Calculou-se a fecundidade, mutação letal dominante, inviabilidade e infertilidade. para cada tratamento, incluindo testemunha. pelas análises da ovoposição geral e de fêmeas copuladas, de acordo com as seguintes equações:

$$M L D = 100 - \frac{100 \cdot \Sigma L E}{\Sigma O F}$$

$$O I_v = 100 - \frac{100 \cdot \Sigma L E}{\Sigma O P}$$

$$O I_f = 100 - \frac{100 \cdot \Sigma O F}{\Sigma O P}$$

MLD = percentagem de ovos com Mutação Letal Dominante

OI_v = percentagem de ovos Inviáveis

OI_f = percentagem de ovos Infêrteis

LE = Larvas eclodidas

OP = Ovos Postos

OF = Ovos Fêrteis

Para determinação da longevidade média nos insetos tratados e normais, em função do número de adultos de ambos os sexos mortos por dia, utilizou-se a equação seguinte:

$$L = \frac{\Sigma_1^i (N \cdot i)}{\Sigma_1^i N}$$

= dias; N = número de insetos mortos no dia i.

5. RESULTADOS

Com o objetivo de facilitar a apresentação subsequente dos dados obtidos em cada ensaio, optou-se pela simplificação, através de tabelas indicativas dos resultados deste trabalho sobre a broca da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis*.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 encontram-se os resultados referentes à fecundidade, longevidade média, percentagens de cópula, mutação letal dominante, inviabilidade e infertilidade dos cruzamentos de fêmeas normais com machos irradiados e vice-versa.

Tabela 1 - Fecundidade, percentagem de ovos inférteis, de mutações letais dominantes, de ovos inviáveis, de cópula e longevidade de *D. saccharalis* (F.) em cada tratamento (Fêmeas Normais x Machos Irradiados)

Dose (krad)	Sexo	Nº	O v i p o s i ç ã o						Longevidade (dias)	Cópula (%)
			Fecundidade			%	%	%		
			Ovos Postos	Ovos Retidos	Total					
0*	♂	23							4,95	
	♀ Virg	6	133,1	170,0	303,1				5,8	
	♀ Cop	14	220,7	82,4	303,1	5,9	13,7	18,56	6,9	
	Média Geral		176,9	108,6	303,1	17,9	18,5	33,1		70
25	♂	18							4,22	
	♀ Virg	2	142,4	183,0	325,4				6,5	
	♀ Cop	15	235,4	89,6	325,0	24,1	64,4	73,0	5,8	
	Média Geral		188,8	100,6	325,2	30,8	64,4	75,4		88
30*	♂	18							3,5	
	♀ Virg	3	144,6	183,3	327,9				5,0	
	♀ Cop	14	237,4	90,5	327,9	33,4	93,0	95,4	5,5	
	Média Geral		191,6	106,8	327,9	42,5	93,0	96,0		82
35	♂	12							4,0	
	♀ Virg	3	117,8	190,3	308,1				3,6	
	♀ Cop	9	218,1	90,0	308,1	35,2	68,8	70,9	5,3	
	Média Geral		168,0	115,0	308,1	19,3	60,9	68,5		75
40*	♂	18							4,3	
	♀ Virg	1	137,4	192,0	329,4				5,0	
	♀ Cop	17	238,5	90,9	329,4	43,9	99,2	99,5	6,2	
	Média Geral		188,0	96,5	329,4	46,1	99,2	99,6		94
50*	♂	25							3,8	
	♀ Virg	5	132,9	196,6	329,5				6,7	
	♀ Cop	16	233,9	85,5	319,4	62,7	-	100,0	7,3	
	Média Geral		183,0	119,0	324,4	69,1	-	100,0		76
60*	♂	16							3,25	
	♀ Virg	4	125,6	198,5	324,1				4,25	
	♀ Cop	12	239,5	84,5	324,0	69,9	-	100,0	5,60	
	Média Geral		182,0		324,0	75,0	-	100,0		75

*Irradiação sob resfriamento.

Tabela 2 - Fecundidade, percentagem de ovos inférteis, de mutações letais do minantes, de ovos inviáveis, de cópula e longevidade de *D.saccharalis* (F.), em cada tratamento (Fêmeas Irradiadas x Machos normais)

Dose (krad)	Sexo	Nº	O v i p o s i ç ã o						Longevidade (dias)	Cópula (%)
			Fecundidade			%	%	%		
			Ovos Postos	Ovos Retidos	Total					
0	♂	15							4,13	
	♀ Virg	3	123,6	194,6	318,2				5,6	
	♀ Cop	12	248,5	69,8	318,3	8,8	17,3	24,7	6,8	
	Média Geral		186,0	94,7		21,0	17,3	34,7		75
5	♂	15							3,5	
	♀ Virg	4	135,4	184,5	319,9				3,5	
	♀ Cop	11	226,6	93,2	319,8	66,3	30,0	76,4	4,3	
	Média Geral		181,0	117,5	319,8	73,0	30,0	81,1		66,6
10	♂	13							4,4	
	♀ Virg	1	127,5	208,0	335,5				4,0	
	♀ Cop	11	243,0	92,3	335,3	50,7	47,0	73,8	5,27	
	Média Geral		185,3	102,0	335,4	53,6	47,0	73,7		91,6
15	♂	17							5,5	
	♀ Virg	2	137,8	176,0	313,8				5,5	
	♀ Cop	14	238,1	75,0	313,1	61,2	59,7	84,3	6,0	
	Média Geral		187,6	87,6	313,45	64,8	59,7	85,8		87,5
17	♂	15							4,5	
	♀ Virg	4	120,8	179,5	300,3				3,5	
	♀ Cop	11	201,1	99,1	300,2	89,0	36,2	93,0	5,18	
	Média Geral		161,1	120,5	300,2	91,2	36,2	94,4		73,3
17	♂	13							3,7	
	♀ Virg	2	117,5	185,5	303,0				6,5	
	♀ Cop	11	246,3	57,7	304,0	86,3	71,3	96,1	6,4	
	Média Geral		182,0	77,3	303,5	87,3	71,38	96,4		84,6
20	♂	15							4,17	
	♀ Virg	4	128,5	190,5	319,0				5,5	
	♀ Cop	11	230,7	88,2	318,9	78,0	77,6	95,0	7,10	
	Média Geral		179,6	115,4	318,9	82,2	77,6	96,0		73,3
20	♂	13							5,5	
	♀ Virg	2	129,6	190,5	320,1				5,0	
	♀ Cop	10	231,4	88,7	320,1	81,2	78,8	96,1	4,5	
	Média Geral		180,5	105,6	320,1	83,3	78,8	96,4		83,3
23	♂	13							4,8	
	♀ Virg	3	97,7	194,6	292,3				5,25	
	♀ Cop	10	205,8	86,5	292,3	90,8	87,5	98,8	5,5	
	Média Geral		151,7	11,4	292,3	92,2	87,5	99,03		76,9
35*	♂	15							4,5	
	♀ Virg	5	39,7	192,7	232,4				3,6	
	♀ Cop	10	133,1	99,4	232,5	91,4	98,9	99,9	4,7	
	Média Geral		86,4	130,5	232,4	92,7	98,9	99,2		66,6
45*	♂	15							4,7	
	♀ Virg	5	37,7	198,6	236,3				4,6	
	♀ Cop	9	132,8	103,5	236,3	100,0	-	100,0	4,6	
	Média Geral		85,3	137,46	236,3	99,9	-	99,9		64,3

*Irradiação sob resfriamento.

Tabela 3 - Fecundidade, percentagem de ovos inférteis, de mutações letais dominantes, de ovos inviáveis, de cópula e longevidade de *D. saccharalis* (F.) em cada tratamento (Fêmeas Normais x Machos normais x Machos Irradiados).

Dose (krad)	Sexo	Nº	O v i p o s i ç ã o						Longevidade (dias)	Cópula (%)
			Fecundidade			%				
			Ovos Postos	Ovos Retidos	Total	INF	MLD	INV		
♂		14							3,6	
50	♀ Virg	3	121,5	196,0	317,5				7,0	
	♀ Cop	11	254,5	63,0	317,5	55,7	31,6	69,7	6,5	
	Média Geral		188,0	91,5	317,5	61,9	31,9	73,9		78,5

6. DISCUSSÃO

Historicamente, a maioria dos trabalhos feitos com *Diatraea saccharalis* (Fabr.) tem sido orientada para o controle biológico ou químico; as informações para a aplicação de outros meios de controle são necessárias à integração de métodos tecnicamente possíveis, em escala comercial, contra a citada espécie.

A broca da cana-de-açúcar reúne os requisitos para a aplicação da Técnica do Macho ou Indivíduo Estéril (TME, TIE) que, modernamente, compreende: a) criação massal da espécie-praga em questão; b) esterilização dos insetos; c) distribuição e liberação de machos ou ambos os sexos em áreas determinadas para diminuir a população natural, pela redução do número de descendentes; d) repetições das operações até extinção ou quase extinção da espécie considerada.

No Brasil, quem trouxe e aplicou a técnica foi GALLO (1960), para trabalhar irradiando pupas de *Ceratitis capitata* (Wied) e

D. saccharalis (F.) usando fonte de berílio, sugerindo a utilização de uma fonte de cobalto-60, pela sua efetividade e economia. A partir desse momento, inicia-se uma série de pesquisas em insetos de importância econômica.

Verifica-se, no capítulo da Revisão de Literatura, que muitos autores pesquisaram sobre os efeitos da radiação gama e outros aspectos em *D. saccharalis*, em diferentes regiões do globo e nas mais variadas condições. Nesta pesquisa, os insetos foram criados em dieta artificial sob condições controladas de temperatura e umidade, com fotoperíodo 10L:14D.

Simulações da Técnica do Indivíduo Estéril feitas em Porto Rico por WALKER e PEDERSEN (1969), para serem aplicadas no controle de populações de *D. saccharalis*, indicaram ser necessária a liberação de 1557 machos sub-estéreis por hectare durante três gerações, ou liberar 7265 machos sub-estéreis por hectare, durante a primeira geração. Estes resultados são similares aos de SGRILLO (1979), que indicou 1857 machos sub-estéreis liberados em cada uma das três gerações, ou 7768 machos liberados durante a primeira. O autor comenta a possibilidade prática da aplicação da TME para controle da broca da cana, no Estado de São Paulo, onde a esterilização dos insetos não parece ser o maior problema. A dificuldade maior seria a produção dos insetos devido principalmente ao custo da dieta e a mão de obra requerida, como por exemplo, para liberar alguns milhões de insetos por semana, considerando-se esse um problema de caráter técnico.

Os machos da broca da cana irradiados com 35 krad, mantiveram a normalidade no comportamento sexual e atividade geral, concordando com os resultados obtidos por WALKER (1968) que, posteriormente, com seus colaboradores (WALKER *et alii*, 1970), indicou que o estágio adulto deste inseto é o único que não sofre alterações severas, quando irradiado.

Os insetos, quando irradiados, se não morrem nem se tornam estéreis, sofrem alguns efeitos, como inibição do desenvolvimento larval, oviposição diminuída e menor longevidade de adultos, de acordo com CORNWELL *et alii* (1957); esta afirmação, quando comparada com as curvas calculadas da longevidade (Figuras 5 e 6), mostram uma tendência decrescente não significativa, enquanto que a oviposição foi levemente diminuída com relação às fêmeas normais. O critério destes autores é relativo, por depender do inseto e dose utilizada; assim, WALDER e WIENDL (1973), irradiando adultos de *Callosobruchus maculatus* (Fabr.), concluíram que a longevidade média das fêmeas aumentou 19%, diminuindo a oviposição, devido, provavelmente, a uma ovi-absorção.

A irradiação com raios gama tem sido a técnica mais utilizada na indução da esterilidade e na aplicação do método do macho estéril. O cobalto-60 ou césio, especialmente o primeiro, são fontes de raios gama que produzem mutações letais dominantes.

No método de esterilização de machos da broca da cana-de-açúcar para o controle da espécie, PRUNA *et alii* (1969) recomendaram a fase pupal como a mais conveniente para esterilizá-los, já que afeta a

Figura 5 - Efeito da radiação gama na longevidade das fêmeas irradiadas de *Diatraea saccharalis* (F.). Valores observados (pontos); estimados (curva)

Figura 6 - Efeito da radiação gama na longevidade dos machos irradiados de *Diatraea saccharalis* (F.). Valores observados (pontos); estimados (curva)

ns = não significativo

espermatogênese e as crisálidas devem ter, no mínimo, sete dias de idade. Encontraram alta mortalidade inversamente proporcional à idade das pupas irradiadas. Em estudos similares, realizados por GALLO (1961), aplicando radiações de cobalto-60, esterilizando lagartas e pupas do mesmo inseto, verificou-se alta mortalidade pupal e, em consequência, uma emergência muito baixa de adultos. Esses resultados indicam que, para aplicar a T.M.E. em *D. saccharalis*, deve-se, obviamente, recomendar adultos, sendo estas as razões da escolha deste estágio na execução do presente ensaio.

SANFORD (1977), estudando os efeitos da radiação gama com pupas e adultos de *D. saccharalis*, verificou uma redução, dependente da dose, na fertilidade, na fecundidade e na sobrevivência, sendo a média de espermátóforos por fêmea altamente variável, sem diferenças entre grupos tratados e testemunha. Estes resultados concordam com aqueles obtidos neste trabalho (Figuras 7, 8 e 9) com respeito ao decréscimo da viabilidade, enquanto que a fecundidade e longevidade com médias de 6,8 e 4,5 dias, para fêmeas e machos, respectivamente, não parece ser afetada significativamente pela radiação gama, inclusive com as doses de 45, 50 e 60 krad.

Na análise de cópula, o número de espermátóforos por fêmea variou entre um e dois, das 305 fêmeas utilizadas no experimento de irradiação, 73% copularam uma vez; 5% duas vezes e 22% não copularam. PEREZ e LONG (1964), ao estudarem a frequência de cópula da broca da cana no laboratório, encontraram que de 137 fêmeas normais, 68% copularam uma vez; 15% duas vezes; 1% três vezes e 16% não copularam. Esses resulta-

$$\frac{1}{y} = (a + b \frac{1}{x+1})$$

$$y = (0,010 + 0,45 \frac{1}{x+1})^{-1}$$

$$R = 0,99$$

$$t = 24,84^{**}$$

Figura 7 - Inviabilidade de ovos de *D. saccharalis* (F.), pareando fêmeas normais com machos irradiados. Valores observados (pontos); estimados (curva)

$$\frac{1}{y} = (a + b \frac{1}{x+1})$$

$$y = (0,0084 + 0,046 \frac{1}{x+1})^{-1}$$

$$R = 0,99$$

$$t = 23,21^{**}$$

Figura 8 - Inviabilidade de ovos de *D. saccharalis* (F.), pareando fêmeas irradiadas com machos normais. Valores observados (pontos); estimados (curva)

** significativo a 1 e 5%

Figura 9 - Influência da radiação gama na fecundidade de fêmeas de *D. saccharalis* (F.), acasaladas com machos normais. A - fecundidade potencial; B - fecundidade (ovos postos). Valores observados (pontos); estimados (curva)

ns - não significativo

dos aproximam-se dos obtidos, com diferenças prováveis das condições ambientais, dieta, fotoperíodo, etc., que não foram indicadas pelos autores. SCOTT (1972) fez um estudo sobre a cópula em lepidópteros e indicou que os machos podem copular cinco vezes ou mais, de maneira geral, enquanto que o número de cópulas por fêmea é muito variável entre espécies, com média aproximada de três.

Doses esterilizantes de radiação gama administradas a machos adultos de *Laspeyresia* (= *Carpocapsa*) *pomonella* (L.) e subseqüentes cópulas com fêmeas normais, segundo PROVERBS (1962), resultaram num reduzido número de indivíduos em F_1 , que foram predominantemente machos, possuindo um alto nível de esterilidade. Indicou que outros autores, pesquisando também com lepidópteros, obtiveram resultados similares. No presente trabalho, ao aplicar radiação gama a machos de *D. saccharalis*, observou-se que a produção de indivíduos foi dependente da dose utilizada (Tabela 1), enquanto que as percentagens de cópula não foram afetadas pela radiação. Isto leva a deduzir que doses esterilizantes não alteram o comportamento sexual dos machos.

Nas Figuras 10 e 11, representativas das percentagens de cópula dos machos, tanto irradiados como aqueles irradiados sob resfriamento, as retas traçadas são similares; isto indica que a temperatura de 5°C não afeta o comportamento sexual; além disto, o efeito anestésico da temperatura facilita o manuseio dos insetos que ficam imobilizados. Estudos desta natureza foram relatados por SGRILLO (1976) nos Estados Unidos, onde adultos de *Pectinophora gossypiella* (Saund.) eram resfriados e irradiados no Arizona, sendo então transportados para liberação na Ca-

Figura 10 - Porcentagem de cópula dos machos de *D. saccharalis* (F.) irradiados com diferentes doses de radiações gama. Valores observados (pontos); estimados (curva)

Figura 11 - Porcentagem de cópula dos machos de *D. saccharalis* (F.) irradiados com diferentes doses de radiações gama, sob resfriamento ($5^{\circ}\text{C} \pm 1$). Valores observados (pontos); estimados (curva)

ns - não significativo

lifornia.

Nas Figuras 12 e 13, correspondentes aos valores das MLD, observa-se a proporcionalidade direta das doses com relação à percentagem de mutações letais dominantes e a não significância em irradiar fêmeas ou machos.

Os resultados obtidos quando se acasalaram fêmeas normais com machos irradiados (Figura 12), na dose de 35 krad, a percentagem de MLD foi de 68%, enquanto que uma dose menor, 30 krad, aplicada sob resfriamento, produziu 93% de mutação induzida e, a partir de 40 krad, obtiveram-se percentagens que passam de 99%. Deduz-se que as baixas temperaturas no processo de irradiação de machos de *D. saccharalis* aumentam a radiosensibilidade destes e, conseqüentemente, as percentagens de MLD e inviabilidade na oviposição das fêmeas que copulam com esses machos irradiados. As doses de 23 e 35 krad, aplicadas a fêmeas acasaladas com machos normais, produzem 86 e 98% de MLD, respectivamente (Figura 13).

Pelas Tabelas 1 e 2, observa-se que os tratamentos aplicados para esterilizar machos e fêmeas, alcançaram dosagens de 60 e 45 krad, respectivamente. Os machos do inseto em questão são mais radio-resistentes que as fêmeas, provavelmente devido a seu maior metabolismo, tal como indica, de maneira geral, SILVEIRA NETO *et alii* (1976) e BROWER (1975) que, trabalhando com *Plodia interpunctella* (Hubner), concluiu que as doses esterilizantes para machos sempre foram maiores que as requeridas para fêmeas. Estes resultados concordam com os obtidos no presente experimento, enquadrando-se num padrão semelhante, talvez pelo fato de se tratar

$$\frac{1}{y} = \left(a + b \frac{1}{x+1} \right)$$

$$y = \left(0,094 + 0,073 \frac{1}{x+1} \right)^{-1}$$

$$R = 0,99$$

$$t = 34,71^{**}$$

Figura 12 - Porcentagem de mutações letais dominantes em ovos de *D. saccharalis* (F.), pareando fêmeas normais com machos irradiados. Valores observados (pontos); estimados (curva)

$$\frac{1}{y} = \left(a + b \frac{1}{x+1} \right)$$

$$y = \left(0,0109 + 0,73 \frac{1}{x+1} \right)^{-1}$$

$$R = 0,98$$

$$t = 14,30^{**}$$

Figura 13 - Porcentagem de mutações letais dominantes em ovos de *D. saccharalis* (F.), pareando fêmeas irradiadas com machos normais. Valores observados (pontos); estimados (curva)

**significativo a 1 e 5%

de espécies de lepidópteros.

Na Tabela 1, o tratamento correspondente à irradiação de machos com dose de 30 krad sob resfriamento, é comparado com os resultados da aplicação da dose de 35 krad sem refrigeração. As percentagens de MLD e inviabilidade são maiores em dose 30 que na de 35; já com dose de 40 krad sob resfriamento, os valores percentuais de MLD e inviabilidade são superiores a 99%. Nos tratamentos com baixa temperatura, irradiando tanto machos como fêmeas, os indivíduos resultam serem mais sensíveis que quando recebem irradiação com temperaturas ambientais, o que leva a contradizer o esperado, dentro das condições nas quais se desenvolveu o experimento. Irradiando fêmeas com dose de 23 krad, obteve-se 98% de ovos inviáveis; com a dose de 35 krad, sob resfriamento, a inviabilidade resultou ser maior que 99% (Tabela 2).

NORTH e HOLT (1968), irradiando lepidópteros, incluindo *D. saccharalis*, indicaram que as doses de 30 a 40 krad são necessárias para sua esterilização. Tais resultados concordam com os obtidos neste trabalho ao tratar-se de fêmeas. SANFORD (1977) obteve 73% de ovos inviáveis (inférteis + MLD), quando machos adultos de *D. saccharalis* foram irradiados com 10 krad e 77% quando a dose foi de 15 krad. Em trabalhos similares, SGRILLO (1979) indica que a partir de 40 krad, a percentagem de ovos não viáveis passa a ser superior a 99%. Como se pode notar, a inviabilidade é diretamente dependente da dose de radiação administrada neste trabalho.

A competitividade entre machos normais e irradiados (50

krad) acasalados com fêmeas normais, alcançou 78,5% de cópula (Tabela 3). Ao dissecar cada uma das fêmeas encontrou-se que 71,42% copularam uma vez, 14,28% duas vezes e 14,28% não copularam. Do total de ovos postos (2633), 46,7% foram inférteis e 53% férteis (27% MLD e 26% inviáveis) (Figura 14). Com isto, verifica-se que os machos irradiados da broca da cana são capazes de competir sexualmente com os normais e que a radiação gama em dose esterilizante não altera seu comportamento sexual nas condições do presente experimento. Em estudos similares com a mariposa do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (Smith), esterilizando fêmeas e machos (15 e 35 krad, respectivamente), SNOW *et alii* (1973) indicaram redução significativa da oviposição das fêmeas irradiadas em testes de laboratório e campo, concluindo que as doses esterilizantes não mudaram o comportamento dos adultos nem a sua capacidade de cópula.

As percentagens de ovos inviáveis em relação à dose para esterilizar fêmeas e machos são apresentadas nas Figuras 7 e 8, onde doses de 23 krad administradas a fêmeas pareadas com machos normais, deram valores superiores a 98%, enquanto que com 35 krad, sob resfriamento, a porcentagem foi superior a 99%. Os resultados de inviabilidade na oviposição quando machos de *D. saccharalis* foram irradiados com diferentes doses e acasalados com fêmeas normais, indicam que a dose de 30 krad sob resfriamento é superior a de 35 krad administrada na forma convencional que apresenta inferioridade de 24%. Com doses a partir de 40 krad sob resfriamento, dadas a machos que copularam com fêmeas normais, as percentagens de ovos inviáveis são iguais ou maiores que 99%. Apesar destes resultados, WALKER (1968) provou que a dose de 30 krad produziu 99% de esterilidade em machos da broca da cana. Desta maneira, há discordância

Figura 14 - Oviposição de fêmeas de *D. saccharalis* (F.) acasaladas com machos normais e irradiados (2:1:1) com a dose de 50 krad de radiações gama

desse trabalho com os resultados obtidos com dose de 35 krad, que só provocou 71% de inviabilidade. Irradiando machos, SGRILLO (1979) concluiu que doses esterilizantes a partir de 40 krad em machos são necessárias para produzir 99% de esterilidade.

O uso efetivo da esterilidade induzida por radiações gama no controle de populações de insetos requer que estes sejam esterilizados sem afetar seu comportamento, desenvolvimento de suas funções normais e acasalamento, mas sem reprodução. Em geral, a irradiação em estágios imaturos, como pupas por exemplo, é mais prática pela facilidade de manuseio, mas implica quase sempre em alta mortalidade pelo efeito das radiações. Em outros casos, a excitação dos insetos no processo da irradiação pode determinar ruptura de alguma estrutura externa fundamental, o que não acontece com adultos de *D. saccharalis* irradiados sob resfriamento, já que os estudos de irradiação sob gases ainda não demonstram alguma proteção dos efeitos negativos da radiação ao inseto, sem afetar o nível de esterilidade produzido, segundo indicações do "Comitê para Pragas de Vegetais e Animais", dos Estados Unidos, que, ao referir-se à esterilidade em machos, caracterizada pelas mutações letais dominantes no esperma, mostra que estas podem ser atribuídas a aberrações do cromossomo, mas estas não se observam diretamente no esperma e sim no embrião em desenvolvimento.

De maneira geral, ODUM (1975) indica que os organismos possuem mecanismos fisiológicos para medir o tempo, denominados como "Relógio Biológico", onde a manifestação mais comum deste fenômeno é o "Ritmo Circadiano", ou seja, a capacidade de fixar e repetir funções a inter

valos de aproximadamente 24 horas, inclusive na ausência de luz. Este "relógio" é um condicionamento de correlação interna e externa, envolvendo a fisiologia do inseto e os estímulos da fotoperiodicidade. Muitos estudos foram feitos sobre fotoperíodo em insetos, contribuindo ao conhecimento das características básicas, determinando a atividade máxima e mínima nas fases do fotoperíodo para algumas espécies, no laboratório ou campo. Entretanto, HARKER (1973), através de suas pesquisas em ritmos circadianos, indica que atividades como movimentação, vôo, certos padrões de alimentação, respiração, excreção, cópula, oviposição, etc. não poderiam ser de grande importância biológica ao inseto; eles podem, talvez, ser produzidos somente por uma consequência de outros ritmos de maior significância. Quando se estuda um inseto em condições ideais no laboratório, este passa por um processo de adaptação através de várias gerações, como se observa nas criações massais. No presente ensaio da determinação do comportamento de *D. saccharalis* em câmara climatizada com fotoperíodo, temperatura e umidade controlada, os registros da atividade nos tratamentos realizados sob essas condições são apresentados nas Figuras 15 a 19, dos ritmos diários de atividade do referido inseto.

Nos gráficos da Figura 15 observa-se a atividade da broca da cana durante quatro dias consecutivos, sob fotoperíodo 12L:12D, obtendo-se 81% de cópula. Considera-se, pela figura, que a maior atividade relacionando o primeiro dia com o quarto está compreendida entre as 24 h e 03h30 da manhã, apresentando um primeiro pico entre 22 e 24 horas, e um último ao amanhecer; provavelmente a cópula ocorra no período de maior atividade do inseto. Tais resultados são semelhantes aos obtidos em laboratório por WALKER (1965) que indicou a atividade de cópula de *D.*

Figura 15 - Rítmos diários de atividade de *D. saccharalis* (F.) (20 casais), em períodos alternados de luz e escuridão, durante 96 horas.

saccharalis entre as 20h e 03h30.

FISK e PEREZ (1969) indicaram a atividade de vôo desse inseto a partir das 20 até as 4 horas da manhã, em condições de campo. Neste trabalho, na prova de escuridão, foram submetidos 24 casais normais durante quatro dias, para se determinar a existência de algum ciclo de atividade padronizado, observável no fotoperíodo cíclico. A broca da cana na escotofase apresentou uma atividade constante, similar à obtida nos ritmos diários do fotoperíodo, sendo a atividade decrescente, como consta nos gráficos da Figura 16; este decréscimo, provavelmente, se deve à morte progressiva dos insetos. Neste teste, 70% das fêmeas copularam uma vez, 13% duas vezes e 17% não copularam. A respeito, GEHRING e MADSEN (1963) demonstraram que as cópulas ocorrem igualmente na escuridão e períodos alternados de luz, incluindo crepúsculo, em *Carpocapsa pomonella* (L.).

O fotoperíodo 10L:14D, indicativo da atividade de 15 machos irradiados com dose esterilizante (50 krad) e acasalados com igual número de fêmeas, também causa uma redução da atividade, conforme transcorrem os dias, tal como se observa ao comparar primeiro com quarto dia (Figura 17); outro aspecto visível está na constância dos picos de atividade compreendidos entre as 23h00 e 02h00 e outro entre 05h00 e 07h00. A atividade sexual foi determinada para todos os testes deste tipo, mediante a dissecação das fêmeas, encontrando-se resultados satisfatórios que indicam que a dose esterilizante não altera a capacidade de cópula dos machos, já que 73% das fêmeas copularam uma vez, 7% duas vezes e 20% não copularam.

Figura 16 - Ritmos de atividade de *D. saccharalis* (F.) (24 casais), durante 96 horas na escotofase

Figura 17 - Atividade diária de *D. saccharalis* (F.) (15 casais), durante 96 horas, pareando fêmeas normais com machos irradiados (50 krad)

Em testes em fotoperíodo 10L:14D utilizando insetos normais, pareando fêmeas e machos, onde se mudou o fotoperíodo normal do dia, isto é, submetendo-se os insetos à escuridão durante o período diurno, sendo a noite a fase de luz, na câmara, observa-se pelos gráficos da Figura 18, primeira repetição, uma certa atividade na fotofase entre 01h00 e 04h00, provavelmente por fatores fisiológicos endógenos estabelecidos que levam a *D. saccharalis* a realizar alguma atividade durante esse período, embora sem significância, devido ao fator luz, que constituiu uma barreira. Nota-se que na escotofase a atividade é normal, com seus maiores valores no período das 09h00 às 14h00, que corresponderia no fotoperíodo normal das 22h00 até às 02h00. Nas observações da fotoperiodicidade, verifica-se que a maior atividade da broca da cana apresenta-se a partir das 20h00 até a madrugada (04h00 a 05h00), sendo, assim, um inseto nitidamente noturno (Figuras 15 a 19).

Para determinar a atividade das fêmeas e machos foram feitos testes, separadamente, em iguais condições, comparando-se os valores da atividade de cada grupo, apresentados na Figura 19, com incidência horária estabelecida entre as 24h00 e 03h00, sendo maior para fêmeas, embora nos machos exista uma tendência em manter certa atividade fora desta faixa, estendendo-se até o final da escotofase. Resultados similares foram obtidos por FISK e PEREZ (1969). É provável que a diferença de atividade nos machos se deva à falta de feromônio pela ausência de fêmeas.

Nos testes de fotoperíodo foram utilizados 126 casais de *D. saccharalis* (F.), dos quais 71% das fêmeas copularam uma vez, 7% duas vezes e 22% não copularam.

Figura 18 - Ritmos diários de atividade de *D. saccharalis* (F.) (15 casais) em períodos alternados de luz e escuridão, durante 72 horas, mudando o fotoperíodo normal do dia

Figura 19 - Ritmos diários de atividade de *Diatraea saccharalis* (F.) em períodos alternados de luz e escuridão, comparando fêmeas e machos

De modo geral, pode-se mencionar que os insetos apresentam diversos tipos de atividade regulada por fatores externos e internos, que determinam seu comportamento, adaptando-os às diferentes localidades do globo, com distintos fotoperíodos, que fazem o inseto movimentar-se segundo seu ambiente. Assim, dada uma situação artificial num experimento, onde se implica o fator luz como o mais importante, provavelmente os efeitos seriam temporais e observados nos registros comportamentais das espécies em questão.

Resta indicar que esta pesquisa é parte de um projeto sobre a bioecologia da broca da cana-de-açúcar, que está, atualmente, sendo desenvolvido no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, Estado de São Paulo.

7. CONCLUSÕES

De acordo com as condições do desenvolvimento desta pesquisa com *D. saccharalis* (Fabr., 1794) e de conformidade com os resultados obtidos, conclui-se que:

1) A esterilização da broca da cana-de-açúcar com raios gama não afeta seu comportamento sexual, inclusive com doses sob resfriamento.

2) A radíossensibilidade dos machos tratados sob resfriamento aumenta e, conseqüentemente, a inviabilidade de ovos das fêmeas que copularam com esses machos também aumenta.

3) Os machos irradiados com 50 krad competem efetivamente com os normais, em laboratório.

4) A percentagem de inviabilidade de ovos são diretamente

proporcionais à dose aplicada quando se irradiam indistintamente fêmeas ou machos. De modo geral, as doses para esterilizar machos são maiores que as necessárias para fêmeas.

5) *D. saccharalis* apresenta três picos de atividade: o primeiro entre duas e três horas após o início da escotofase; o segundo entre seis e sete horas e o terceiro entre onze e treze horas após o início da mesma fase. O segundo pico de atividade é significativo e bem maior, em relação aos outros dois, o que ocorre na fotofase, caracterizando-se a broca, portanto, como um inseto tipicamente noturno.

8. SUMMARY

Some effects of gamma radiation on the behaviour of *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lepidoptera:Pyralidae) were studied under controlled conditions of temperature ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$) and relative humidity ($75 \pm 10\%$) in the laboratory of Entomology of the Center for Nuclear Energy in Agriculture, University of São Paulo (Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP), in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil. The insects were reared in an artificial diet and the adults were irradiated at 24 hour age, in each treatment, to observe the effects of the gamma radiation on the sugar cane borer, in order to provide data for future researches in the Sterile Insect Technique.

Cobalt-60 was used as a source of radiation with a dose-rate of 353 krad/hour. Also an actiti-meter and climatized room were used in this study. The effects of radiation under cooling ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$) and normal conditions were determined concerning the insect activity,

oviposition, competitiveness, mating and longevity.

These data were obtained for both sexes and the conclusions were as follows: a) The sterilizing dosis of gamma radiation do not affect the sexual behaviour of the insect, even under cooling conditions; b) the percentages of egg unviability are directly proportional to the dosis either for the females or the males; c) *D. saccharalis* is active only in the scotophase and therefore it can be characterized as a nocturnal insect.

9. RESUMEN

Algunos efectos de la radiación gamma sobre el comportamiento de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (LEP-Pyralidae), fueron estudiados bajo condiciones controladas de temperatura ($28^{\circ}\text{C} \pm 2$) y humedad relativa ($75\% \pm 10$), en el laboratorio de la Sección de Entomología del Centro de Energía Nuclear en la Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP, Brasil. Se utilizaron insectos adultos, criados con dieta artificial e irradiados a las 24 horas de edad, en cada tratamiento, teniendo como objetivos estudiar el comportamiento e influencias de las radiaciones gamma en el taladrador de la caña de azúcar, con la finalidad de suministrar datos para posteriores investigaciones, que puedan contribuir en las tentativas de la aplicación de la Técnica del Individuo Estéril.

Fue utilizada una fuente de cobalto-60 con una tasa de 353 krad/hora, un activímetro y una cámara climatizada.

Fueron determinados: efectos de la radiación bajo resfriamiento ($5^{\circ}\text{C} \pm 1$) y sin refrigeración en la actividad, oviposición, competitividad, cópula y longevidad. Esos datos fueron obtenidos en ambos sexos, con las siguientes conclusiones: a) las dosis esterilizantes con radiaciones gamma no afectan el comportamiento sexual, inclusive bajo refrigeración; b) los porcentajes de inviabilidad de huevos son directamente proporcionales a la dosis aplicada, tanto a hembras como a machos; c) *D. saccharalis* presenta actividad solo en la escotofase, caracterizandose como insecto nocturno.

10. LITERATURA CITADA

BECK, S.D., 1971. *Insect photoperiodism*. 2.ed. New York, Academic Press. 287 p.

BORSTEL, R.C. von, 1963. Effects of radiation on germ cells of insects: dominant lethals, gamete inactivation and gonial-cell killing. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radiation and radioisotopes to insects of agricultural importance*. Vienna. p. 367-369.

BORSTEL, R.C. von, 1968. Control of adults pests by the irradiation of male method. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Isotopes and radiation in entomology*. Vienna. p. 331-337.

BOTELHO, P.S.M.; A.C. MENDES e N. MACEDO, 1977. Distribuição populacional e intensidade de infestação da *D. saccharalis* (Fabr., 1794) no Estado de São Paulo. In: 4º Congresso Brasileiro de Entomologia, Goiânia, 1977. p. 126.

BOTELHO, P.S.M.; A.C. MENDES; E. MACEDO e S. SILVEIRA NETO, 1978.

Influences of climatic factors on the population fluctuations of the sugarcane moth borer, *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (DEP-Crambidae). In: 16º Cong. Internat. Soc. Sugar Cane Technol. São Paulo. p. 643-655.

BOTELHO, P.S.M.; A.C. MENDES; N. MACEDO e S. SILVEIRA NETO, 1978. Cálculo

da dispersão da broca da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794). *Brasil Açucareiro*, 92(6): 9-14.

BRASIL, 1977. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Anuário Estatístico do Brasil. V. 38. 848 p.

BROWER, J.H. e M. ASHRAF, 1972. Histopathologia of irradiated yellow mealworm adult and larval midguts. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 65(4): 950-954.

BROWER, J.H., 1975. Gamma irradiation of adults *Plodia interpunctella*: effects on mating, sterility and number of progeny. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 68(6): 1086-1090.

COELHO, I.P., 1977. *Análise faunística das famílias Pyralidae e Sphingidae (Lepidoptera) através de levantamento com armadilhas luminosas em Piracicaba*. Piracicaba. 121 p. (Dissertação de Mestrado). ESALQ/USP.

- CORNWELL, P.B.; L.J. CROOK e J.O. BULL, 1957. Lethal and sterilizing effects of gamma radiation on insects infesting cereal commodities. *Nature*, 179 (4561): 670-672
- CRAWFORD, C.S., 1966. Photoperiod-dependent ovoposition rhythm in *Crambus teterrelus* (LEP-Pyralidae: Crambinae). *Ann. Ent. Soc. Amer.* 59 (6): 1285-1288.
- CRUZ, F.L., 1976. *Espécies do gênero Diatraea Guïlding, 1928 (LEP-Crambidae) coletadas em canaviais de algumas regiões do Estado de São Paulo, Brasil*. Piracicaba, ESALQ/USP. 49 p. (Dissertação de Mestrado).
- DAJÓS, R., 1973. *Ecologia Geral*. Trad. J.M. Guimarães. Petrópolis, Vozes; São Paulo, USP. 474 p.
- FAO, 1979. Production Yearbook - 1978. V. 32. p. 167-172. (FAO Statistics Series, 22).
- FISK, F.W. e R.P. PEREZ, 1969. Flight activity periods of the sugarcane borer, *D. saccharalis* (F.) in Puerto Rico. *J. Agric. Univer. Puerto Rico* 53 (2): 93-99.
- FRIED, M., 1971. Determination of sterile-insect competitiveness. *J. Econ. Entomol.* 64 (4): 869-872.

- GALLI, F.; P.C.I. CARVALHO; H. TOKESHI; E. BALMER; H. KIMATI; C.O.N. CARDOSO; C.C. SALGADO; T.L. KRUGNER; E.J.B.N. CARDOSO e A. BERGAMIN FILHO, 1980. *Manual de Fitopatologia: doença de plantas cultivadas*. 2a. ed. São Paulo, Ceres, V. 2. 587 p.
- GALLO, D., 1960. Radioisótopos no controle das pragas. *O Solo*, 52 (1): 30-31.
- GALLO, D., 1961. Efeitos esterilizantes da radiação na entomologia. In: CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA, Curso Latinoamericano de Radioisótopos na Agricultura. Piracicaba, 1963. p. 415-421.
- GALLO, D., 1963. Estudos da broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccalis* (Fabr., 1794). Piracicaba, ESALQ/USP. 68 p. (Tese de Cadeira).
- GALLO, D.; O. NAKANO; S. SILVEIRA NETO; R.P.L. CARVALHO; G.C. BATISTA; E. BERTI FILHO; J.P. PARRA; A.R. ZUCCHI e S.B. ALVES, 1978. *Manual de entomologia agrícola*. São Paulo, Ceres. 531 p.
- GEHRING, R.D. e F.H. MADSEN, 1963. Some aspects of the mating and oviposition behavior of the codling moth, *Carpocapsa pomonella* (L.). *Econ. Entomol.* 56 (2): 140-143.
- GUAGLIUMI, P., 1973. *Pragas da cana-de-açúcar: Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro. I.A.A. 622 p.

- GUEVARA, L.A.C., 1976. *Aspectos da biologia em condições naturais e frequência de acasalamento de D. saccharalis (Fabr., 1794) (LEP-Crambidae) a broca da cana-de-açúcar.* Piracicaba, ESALQ/USP. 70 p. (Dissertação de Mestrado).
- HARKER, J.E., 1973. Circadian rhythms in insects. *In: Biological Aspects of Circadian Rhythms.* New York, Plenum Press. p. 188-233.
- HENNEBERRY, T.J., 1971. Research on sterility method for control of the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Hubner). *In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Application of induced sterility for control of lepidopterous populations.* Vienna. p. 131-140. (Panel. Proc. Series).
- HENSLEY, S.D. e M.A. HAMMOND, 1968. Laboratory techniques for rearing the sugarcane borer on an artificial diet. *J. Econ. Entomol.* 61 (6): 1742-1743.
- KOGURE, M., 1933. The influence of light and temperature on certain characters of silkworm. *J. Rept. Agr. Kyushu.* 4: 1-93.
- KNIPLING, E.F., 1964. The potential role of the sterility method for insect population control with special reference to combining this method with conventional method. *Agricultural Research Service (U.S.D.A.):* 54 p.

- KNIPPLING, E.F., 1970. Suppression of pest lepidoptera by releasing partially sterile males. A theoretical appraisal. *Bio Science* 20 (8): 465-470.
- LEPPLA, N.C.; W.E. HAMILTON; H.R. GUY e L.F. LEE, 1979. Circadian rhythms of locomotion in six noctuid species. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 72 (2): 209-214.
- LIMA, A. da C., 1949. *Insetos do Brasil*. Rio de Janeiro. ENA. Tomo VI, Parte 2: Lepidópteros. 420 p. (Série Didática, 8).
- MENDES, A.C., 1974. Revisão da bionomia de *D. saccharalis* (Fabr., 1794) (LEP-Crambidae). ESALQ/USP. 23 p.
- MENDONÇA FILHO, A.F., 1978. As brocas da cana-de-açúcar, *Diatraea Saccharalis* (Fabr., 1794) e *D. flavipennella* (Box, 1931) (LEP-Pyralidae) e seu controle biológico no Estado de Alagoas. Piracicaba, ESALQ/USP. 201 p. (Dissertação de Mestrado).
- METCALF, C.L. e P.W. FLINT, 1966. Insectos destructivos e insectos útiles, sus costumbres y su control. 2. ed. Mexico, Continental. 584 p.
- MISKIMEN, G.W., 1969. New approaches to control of insect. *In: Pests of sugarcane*. New York, Elsevier. 481-501.

MOLINARY, S., 1957. Combate contra los insectos dañinos. Washington, Unión Panamericana. 70 p.

NORTH, D.T. e G.G. HOLT, 1968. Genetic and cytogenetic basis of radiation-induced sterility in the adult male cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Hueb.). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Isotopes and radiation in entomology*. Vienna. p. 391-403. (Proc. Symposium).

ODUM, E.P., 1975. *Ecología*. 3.ed. Mexico, Interamericana. 639 p.

PAREDES, P.P. e N.I. ANGELES, 1966. Registro de nuevas hospederas de *Diatraea saccharalis* (F.) en Venezuela. *Agron. Trop.* 16 (2): 151-154.

PEREZ, R. e H.W. LONG, 1964. Sex attractant and mating behavior in the sugarcane borer. *J. Econ. Entomol.* 57 (5): 688-690.

PROVERBS, M.D., 1962. Progress on the use of induced sexual sterility for the control of the codling moth, *Carpocapsa pomonella* (L.) (LEP-Elethreutidae). *Entomol. Soc. Ontario*, 92: 5-11.

PRUNA, P.M., 1969. Revisión de la literatura acerca del borer de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (Fabr.). *Acad. Cienc. Cuba*. Serie Biología (5). 73 p.

PRUNA, P.M.; M. MONTES e H. MEDINA, 1969. Esterilidad inducida por rayos

- gamma en *Diatraea saccharalis* (Fabr.). *Acad. Cienc. Cuba. Série Biología* (9): 3-14. Apud: *Abstracts of Entomology* 2 (11): 873. 1971.
- QUINTANA-MUÑIZ, V. e D.W. WALKER, 1970 a. Oviposition preference by gravid sugarcane borer moth in Puerto Rico. *J. Econ. Entomol.* 63 (3): 987-988.
- QUINTANA-MUÑIZ, V. e D.W. WALKER, 1970 b. Host-plant choice in the laboratory of first stage sugarcane borer in Puerto Rico. *J. Econ. Entomol.* 63 (3): 988-989.
- QUINTANA-MUÑIZ, V. e D.W. WALKER, 1970 c. Survival and maturation in the laboratory of third stage sugarcane borer in different host-plants in Puerto Rico. *J. Econ. Entomol.* 63 (3): 989-990.
- RICHMOND, C.A. e H.M. GRAHAM, 1971. Suppression of populations of pink bollworm by releases of gamma-irradiated moth in field cages. *J. Econ. Entomol.* 64 (1): 332-333.
- SAMANIEGO, A. e K. KATIYAR, 1974. Estudios sobre el barrenador *Hypsipyla grandella* (Zeller) (LEP-Pyralidae). XXIII. Efectos de radiación gamma en larvas, pupas y adultos. *Turrialba* 24 (1): 95-99.
- SANFORD, J.W., 1976. Inherited sterility in progeny of irradiated male sugarcane borers. *J. Econ. Entomol.* 69 (4): 456-458.

- SANFORD, J.W., 1977. Sugarcane borers: effect of substerilizing doses of gamma irradiation on male irradiated as pupas or adults. *J. Econ. Entomol.* 70 (1): 104-106.
- SCOTT, J.A., 1972. Mating of butterflies (LEP). *J. Res. Lep.* 11 (2): 99-127. Apud: *Entomology Abstracts* 4 (10): 80-81, 1973.
- SGRILLO, R.B., 1973. *Criação em laboratório da broca da cana-de-açúcar Diatraea saccharalis (Fabr., 1794) visando seu controle.* Piracicaba, ESALQ/USP. 98 p. (Dissertação de Mestrado).
- SGRILLO, R.B., 1976. *Final Report.* International Atomic Energy Agency. Fellowship Training. 12 p.
- SGRILLO, R.B., 1979. *Desenvolvimento de modelo matemático para população da broca da cana-de-açúcar, Diatraea saccharalis (Fabr., 1794) e simulação da técnica do indivíduo estéril.* Piracicaba, ESALQ/USP. 189 p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, A.G.A.; C.R. GONÇALVES; D.M. GALVÃO; A.J.L. GONÇALVES; J. GOMES; M.N. SILVA e L. SIMONI, 1968. Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. V. 1, Parte II. 622 p.
- SILVEIRA NETO, S.; O. NAKANO; D. BARBIN e N.A. VILLA NOVA, 1976. *Manual de ecologia dos insetos.* São Paulo, Ceres. 419 p.

- SNOW, J.W.; J.R. YOUNG; W.J. LEWIS e R.L. JONES, 1972. Esterilization of adults fall armyworms *Spodoptera frugiperda* (Smith) (LEP-Noctuidae) by gamma irradiation and its effect on competitiveness. *J. Econ. Entomol.* 65 (5): 1431-1433.
- SUGAI, E., 1965. Effect of temperature on radiation induced male sterility in silkworm *Bombyx mori* (L.). *Japanese Journal of Applied Entomology-Zoology* 9 (4): 226-270.
- TAYLOR, C.R., 1976. Determining optimal sterile male release strategies. *Environ. Entomol.* 5 (1): 87-95.
- TOBA, H.H.; A.N. KISHABA e D.T. NORTH, 1972. Reduction of populations of caged cabbage loopers by release of irradiated males. *J. Econ. Entomol* 65 (2): 408-411.
- USA. Comité para plagas de vegetales y animales. *Manejo y control de plagas de insectos*. Versión española. Mexico, Limusa, V. 3. 522 p.
- VIEIRA, V.V., 1980. *Susceptibilidade de variedades, intensidade de infestação e avaliação de danos de D. saccharalis (Fabr., 1794) (LEP-Pyralidae) em arroz irrigado no Rio Grande do Sul*. Piracicaba, ESALQ/USP. 79 p. (Dissertação de Mestrado).
- WALDER, J.M.M. e F.M. WIENDL, 1973. Influência da radiação gama na

oviposição e longevidade de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1792)
(COL-Bruchidae). *Ann. Soc. Entomol. Brasil.* 2 (1): 102-108.

WALKER, J.M.M., 1976. *Estudo da população da Diatraea saccharalis*
(Fabr., 1794) em quatro regiões canavieiras do Estado de São Paulo.
Piracicaba, ESALQ/USP. 111 p. (Tese de Doutorado).

WALKER, D.W., 1965. Bionomic of the sugarcane borer *Diatraea saccharalis*
(F.). I. A description of the mating behavior. *Proc. Entomol.*
Soc. Wash. 67 (2): 80-83.

WALKER, D.W., 1968. Potential for control of the sugarcane borer through
radio-induced sterility. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
Radiation, radioisotopes and rearing methods in control of insects
pests. Vienna, p. 131-140 (Panel Proc. Series).

WALKER, D.W. e N.B. PEDERSEN, 1969. Population models for suppression
of the sugarcane borer by inherited partial sterility. *Ann. Entomol.*
Soc. Amer. 62 (1): 21-26.

WALKER, D.W. e QUINTANA, V., 1968. Inherited partial sterility among
survivors from irradiation-eradication experiments. *J. Econ.*
Entomol. 61 (1): 318-319.

- WALKER, D.W.; V. QUINTANA-MUÑOZ e F. PADOVANI, 1971. Effect of gamma irradiation on immature sugarcane borers. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Sterility principle for insect control or eradication*. Athens, 1970. Vienna. p. 513-524 (Proceedings Series).
- WHERVIN, L.W. van e W.H.A. WILDE, 1969. An analysis of the possibilities of the sterile male release technique in the eradication of the sugarcane moth borer, *Diatraea saccharalis* (F.) in Barbados, West Indies. *Proc. Entomol. Soc. Ontario* (100): 111-113.