

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ASPECTOS NUTRICIONAIS DO BICHO-DA-SEDA (*Bombyx mori* L.)¹

ANTONIO JOSÉ PORTO²

¹Recebido para publicação em 19/10/01. Aceito para publicação em 30/04/02.

²Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Centro Oeste, APTA, Caixa postal 16, 17.450-000, Gália, SP. E-mail: eezgalia@technno.com.br

RESUMO: A dificuldade de obtenção de material literário especializado sobre a nutrição do bicho-da-seda, restringe as investigações científicas neste campo no Brasil. O objetivo deste estudo foi agrupar informações básicas e específicas sobre aspectos biológicos e fisiológicos da alimentação e nutrição deste inseto de importância econômica.

Palavras-chave: nutrição, bicho-da-seda

NUTRITIONAL ASPECTS OF SILKWORM (*Bombyx mori* L.)

ABSTRACT: The difficulty of attainment of specialized literature on nutrition of silkworm, restricts the scientific inquiries in this field in Brasil. The objective of this review was to group specific information on biological and physiological aspects of the feed and nutrition of economical importance insect.

Key words: nutrition, silkworm

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estudos sobre alimentação animal exige conhecimentos básicos sobre nutrição e específicos sobre a espécie animal com a qual se pretende trabalhar. Parra (1991) definiu nutrição como o estudo dos requisitos alimentares dos organismos, enfocando-a sob dois aspectos: quantitativo e qualitativo.

O bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.) é uma espécie conhecida a mais de dois mil anos antes de Cristo pelos chineses (OKINO, 1982; LEE, 1998) e as informações referentes a sua biologia, criação e produção de seda, vem sofrendo constantes evoluções no decorrer desse tempo.

Inseto da ordem Lepidoptera, o bicho-da-seda durante um período de 50 a 55 dias apresenta uma metamorfose completa (holometábolo), com um ciclo de vida dividido em quatro etapas bem definidas a saber: ovo, lagarta, pupa ou crisálida e mariposa que é a forma adulta (SOHN, 1997). Os ovos são de constituição pequena, não permitindo o armazenamento de macronutrientes como a glicose, no entanto as vitaminas podem ser armazenadas para atender as exigências iniciais das lagartas (TOLEDO, 1996). Sua alimentação ocorre somente na fase larval, com um enorme crescimento e acúmulo de nutrientes no corpo gorduroso da lagarta (mesmo as macromoléculas), para sua utilização nas fases posteriores (pupa, mariposa e ovo).

O número de informações referentes a sua alimentação é grande, abrangendo desde aspectos morfológicos do sistema digestivo (KRISHNASWAMI *et al.*, 1979) até estudos de manipulação genética, com a introdução e manifestação de genes que produzem lagartas polífagas (YANAGAWA *et al.*, 1997). Em relação às exigências nutricionais, a amoreira, supre todas as suas necessidades. No entanto, extensivos estudos têm sido conduzidos (KASTURI BAI, 1984) com o objetivo de determinar os requerimentos em carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas e minerais, permitindo a confecção de dietas artificiais, utilizada pela primeira vez no Japão em 1977, para criação de lagartas nos primeiros instares (YANAGAWA *et al.*, 1997).

Embora na literatura exista vasto material que aborda aspectos da nutrição do bicho-da-seda, grande parte desses estudos não estão agrupados em publicações especializadas, sendo desenvolvidos em países Asiáticos e publicados na forma de artigos dispersos, muitas vezes de difícil acesso, dificultando sua consulta e a obtenção de informações específicas.

Neste sentido, esta revisão procurou reunir informações úteis referentes à alimentação e nutrição do bicho-da-seda, fornecendo material básico para futuras investigações científicas neste campo.

Aparelho bucal e Sistema digestivo da lagarta

Assim como a maioria dos animais, as funções digestivas do bicho-da-seda, na sua fase larval, seguem um padrão o qual o alimento é apanhado pelo aparelho bucal e ingerido, recebendo ações físicas e químicas no interior do organismo, sendo as substâncias nutritivas, absorvidas pelo sangue (hemolinfa) e as toxinas eliminadas pelas fezes e urina (OKINO, 1982).

Na fase “adulta” (mariposa) não há alimentação e a probóscida (língua) é vestigial e não funcional, com um sistema digestivo menos proeminente do que a lagarta (KRISHNASWAMI *et al.*, 1979). O aparelho bucal da lagarta, conforme SOHN

(1997), é constituído por um lábio superior ou labro, que auxilia na alimentação através de seu movimento de vai-vem, um lábio localizado ventralmente, onde existe um canal para expelir o fio de seda, um par de maxilas (esquerda e direita) com pêlos sensoriais na sua superfície, com a função de distinguir o sabor e o odor dos alimentos e um par de mandíbulas bem desenvolvidas e fortes, adaptadas à mastigação (Figuras 1-A e 1-B).

KRISHNASWAMI *et al.* (1979) descreveram o aparelho digestivo da lagarta como um tubo mais ou menos reto, que vai da boca até o ânus, dividido em três partes: o estomodeo ou intestino anterior, o mesentério ou intestino médio e o proctodeo ou intestino posterior (Figura 2). Segundo os autores, a boca é sucedida pela cavidade bucal, por uma estreita faringe e pelo esôfago, o qual é estreito na sua porção anterior e mais alargado na sua porção posterior, onde apresenta uma válvula cardíaca cujas funções são, reter no esôfago por algum tempo a porção de folha de amoreira e impedir a regurgitação do alimento que passou para o intestino médio. O intestino médio, também conhecido como intestino grosso, é descrito como um tubo cilíndrico comprido e largo, que sofre um estreitamento na sua porção final, sendo a principal parte do sistema digestivo onde ocorre a digestão e assimilação do alimento (KRISHNASWAMI *et al.*, 1979). Segundo HANADA e WATANABE (1986), no *Bombyx mori* L. a secreção do intestino médio atua na folha deglutida, extraindo as substâncias nutritivas, de maneira que os pedaços da folha mantém a mesma forma.

TERRA (1991) apresentou como principais enzimas digestivas dos insetos, as proteases (proteínases, peptidases e dipeptidases) e as carboidrases (alfa-amilase, celulase, lisozima e glicosidases). Outra função do suco digestivo, apresentada por KASTURI BAI (1984), é sua ação antibacteriana, com a presença de substâncias como o ácido caféico, que inibe o crescimento e multiplicação do patógeno *Streptococcus faecalis*.

As células presentes no mesentério dos insetos apresentam dois tipos básicos: as células colunares, que são responsáveis pela secreção de

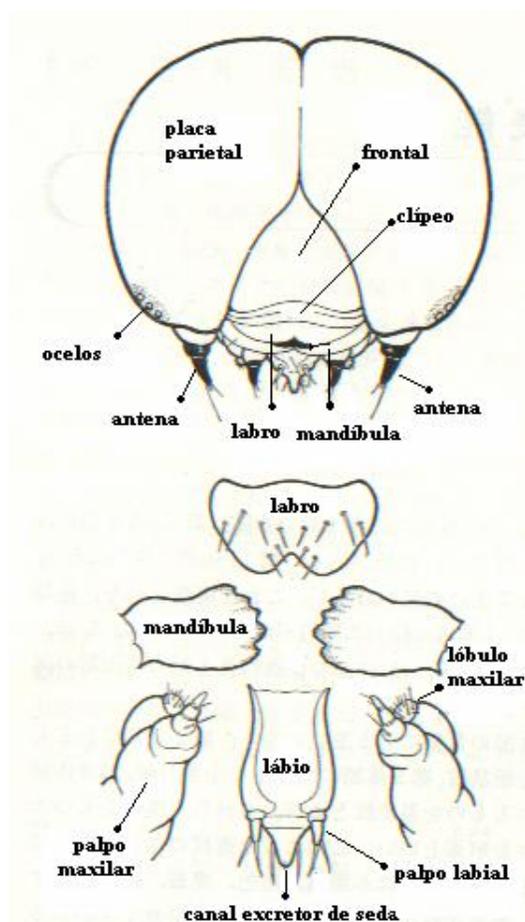


Figura 1-A, Cabeça e aparelho bucal da lagarta do bicho-da-seda (adaptado de SOHN, 1997)

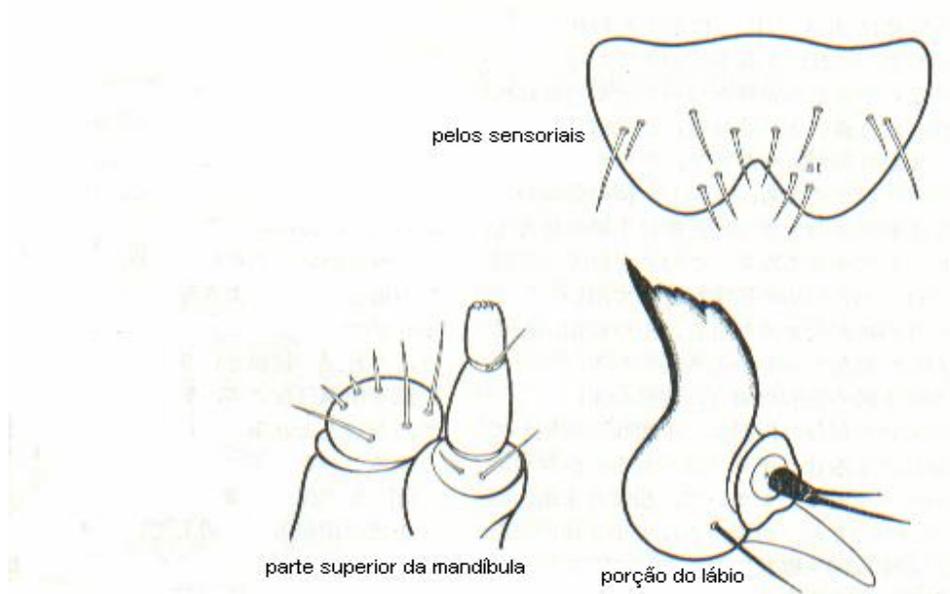


Figura 1-B. Lóbulo maxilar, lábio e porção do lábio da lagarta do bicho-da-seda (adaptado de SOHN, 1997)

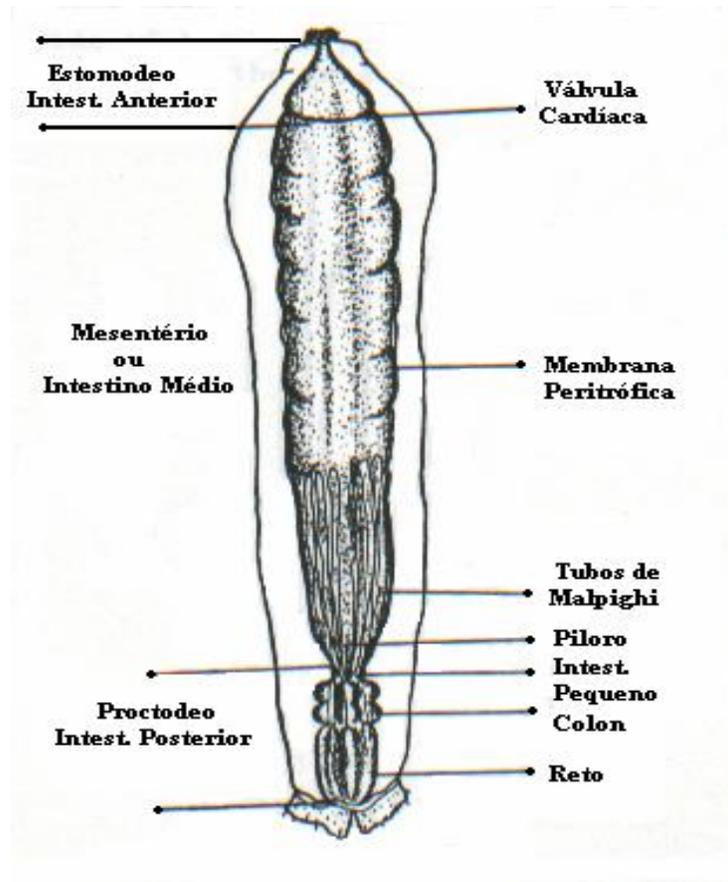


Figura 2. Sistema digestivo da lagarta do bicho-da-seda (adaptado de KRISHNASWAMI *et al.*, 1979)

enzimas digestivas e absorção de água e nutrientes e as células regenerativas, que substituem as células colunares degeneradas, podendo conter ainda outros tipos de células, de acordo com a espécie do inseto (CAVALCANTE e CRUZ-LANDIM, 1999). Na Figura 3, estão representadas as células típicas do intestino médio dos insetos.

A organização espacial do processo digestivo da lagarta do *Erinnyis ello* (mariposa Sphingidae) foi apresentada em diagrama por TERRA (1991), que considerou válida como modelo para a maioria das lagartas de Lepidópteros. De acordo com o diagrama (Figura 4), um fluido (setas tracejadas) é secretado para o lúmen do ventrículo posterior, provavelmente acompanhando o potássio secretado pelas células caliciformes pedunculadas, as quais devem ser auxiliadas nesse processo pelas células colunares,

caracterizadas por invaginações altamente desenvolvidas e com muitas aberturas para o espaço extracelular subjacente. O fluido move-se para a região anterior onde este é absorvido pelas células colunares, que apresentam invaginações basais moderadamente desenvolvidas, com poucas aberturas para o espaço extracelular subjacente. A absorção por essas células é provavelmente auxiliada pelas células caliciformes de gargalo comprido. As enzimas (setas contínuas) entram no espaço endoperitrófico anterior, de onde são recuperadas paulatinamente à medida que os polímeros que elas hidrolisam tornam-se suficientemente pequenos para acompanhá-las através da membrana peritrófica. As enzimas e nutrientes são, a seguir, deslocados para o ventrículo anterior, onde a digestão final e absorção do alimento ocorrem na superfície das células colunares.

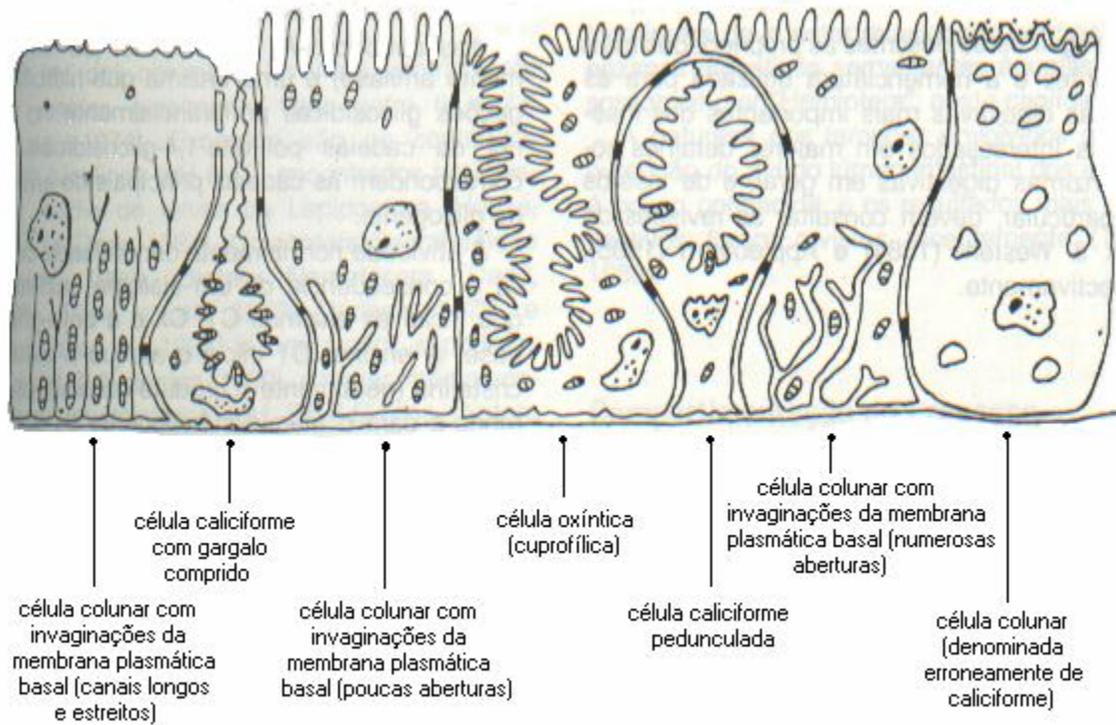


Figura 3. Representação diagramática de células típicas do intestino médio dos insetos (adaptado de TERRA, 1991)

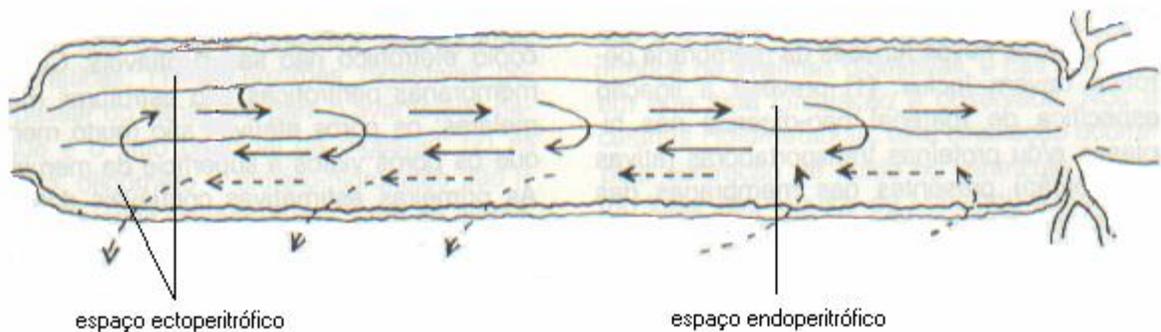


Figura 4. Diagrama representando os fluxos de água e a circulação endo-ectoperiférica das enzimas digestivas no ventrículo da lagarta de *Erinnyis ello* (Sphingidae) (adaptado de TERRA, 1991)

Conforme KRISHNASWAMI *et al.* (1979), os intestinos anterior e posterior possuem um revestimento quitinoso, enquanto o intestino médio possui uma membrana peritrófica. Essa membrana é descrita por TERRA (1991) como uma película fina, não celular, cilíndrica, formada por uma malha de quitina embebida em uma matriz de proteína e carboidratos, que separa o conteúdo luminal em dois compartimentos: o espaço endoperitrófico (dentro da membrana) e o espaço ectoperitrófico (fora da membrana) e cujas funções podem ser descritas como proteção mecânica para as células ventriculares, barreira física para microorganismos, barreira de permeabilidade para enzimas digestivas e produtos da digestão, levando à compartimentação do processo digestivo e um dispositivo para ajudar no processo que evita a excreção de enzimas digestivas entre outros. Separando o intestino médio do intestino posterior ocorre uma válvula, denominada de válvula pilórica, que guarda e regula a passagem do alimento digerido (KRISHNASWAMI *et al.*, 1979). Próximo a essa válvula, na junção do intestino pequeno com o cólon (intestino posterior), inicia o tubo de Malpighi, órgão primário de excreção que se ramifica, conforme FONSECA e FONSECA (1988), em dois tubos, um de cada lado do intestino, que por sua vez ramificam-se novamente em três tubos, inserindo na parede do intestino médio. A excreta é constituída principalmente de produtos azotados (ácido úrico) e oxalato de cálcio, além de outros componentes (material "in natura") como: umidade, 75%; cinzas, 4,83%; matéria orgânica, 20,18%; nitrogênio, 0,67%; fósforo, 0,09%; potássio, 1,10%; cálcio, 0,98%; magnésio, 0,15%; enxofre, 0,08%; pH 5,9 e, em 100% da matéria seca, matéria orgânica, 78,4%; nitrogênio, 1,6%; fósforo, 2,1%; potássio, 4,4%; óxido de cálcio (CaO), 2,7% e sais minerais, 10,1%.

Formado pelo intestino pequeno (íleo), colon, reto e terminando no ânus, o proctodeo ou intestino posterior é descrito como uma passagem onde ocorre a absorção de porções grandes do suco alimentar e eliminação das fezes (KRISHNASWAMI *et al.*, 1979). A matéria fecal é comprimida no reto e expelida pelo ânus como peletes, apresentando formas hexagonais (FONSECA e FONSECA, 1988).

Auxiliando o sistema digestivo, são observadas glândulas salivares ou mandibulares, que aos pares se abrem próximo às articulações da mandíbula, apresentando estrutura filamentosa tubular, com fundo cego, responsáveis pela secreção da saliva (KRISHNASWAMI *et al.*, 1979). De acordo com GALLO *et al.* (1970), nas lagartas da maioria dos Lepidópteros as glândulas salivares são transformadas em sericígenas e a saliva é produzida pelas glândulas mandibulares. A saliva apresenta fraca alcalinidade, possuindo como principal enzima a amilase (HANADA e WATANABE, 1986).

Outras estruturas são descritas por KRISHNASWAMI *et al.* (1979), como as glândulas e células peritraqueais, que estão associadas com o pericárdio e cujas secreções auxiliam na digestão de substâncias protéicas do fluido corporal, bem como na limpeza do sangue.

Hábitos Alimentares

Os insetos são os organismos que apresentam as formas mais variadas da terra, constituindo aproximadamente 72% de todos os animais e estima-se que a metade destes insetos sejam espécies fitófagas (PIZZAMIGLIO, 1991). As estimativas mais recentes indicam que os insetos fitófagos correspondem a cerca de 26% de todas as espécies vivas (PANIZZI, 1991).

A preferência de um inseto por uma planta já intrigava os chineses antes da era cristã, os quais criavam o bicho-da-seda *Bombyx mori*, (Lepidoptera: Bombycidae), utilizando exclusivamente, como alimento, folhas de amoreira (PIZZAMIGLIO, 1991).

Conforme o hábito alimentar, descrito por SILVEIRA NETO *et al.* (1976), o bicho-da-seda pode ser classificado em monófago (um só tipo de alimento), fitófago (alimento de origem vegetal) e filófago (folhas). A fase de alimentação, ou fase larval, é subdividida em instares onde as lagartas de primeiro, segundo e terceiro instar são chamadas de lagartas "jovens" e as de quarto e quinto instar de lagartas "adultas" (ABREU e ABRAMIDES, 1974; HANADA e WATANABE, 1986; FONSECA e FONSECA, 1988; PANG-

CHUAN e DA-CHUANG, 1992 e TINOCO e ALMEIDA, 1992).

Variações no comportamento alimentar entre lagartas "jovens" e "adultas" foram descritas por KRISHNASWAMI *et al.*, (1979) e HANADA e WATANABE (1986), os quais relataram que as lagartas na fase "jovem" se alimentam pela parte dorsal da folha, enquanto as lagartas "adultas" se alimentam pelas margens das folhas. Este comportamento pode justamente decorrer do fato de que as dicotiledôneas apresentam parênquima paliádico bem desenvolvido na face ventral da folha (ESAU, 1976), o que tornaria esta face de difícil mastigação para lagartas "jovens". Em função do observado é possível supor que para as lagartas nos primeiros ínstaes, as folhas de amoreira devem apresentar textura mais mole e bom conteúdo de água, enquanto que para as lagartas na fase "adulta" as folhas podem apresentar-se mais duras e com um conteúdo menor de água. O tempo de cada alimentação, de acordo com HANADA e WATANABE (1986), é cerca de quinze minutos, após o qual descansam, realizando esta operação em torno de 20 a 30 vezes ao dia. Para esses autores, a folha de amoreira, desde o momento em que for ingerida até o momento de sua excreção, fica no organismo da lagarta cerca de 1 a 2,5 horas nos primeiro, segundo e terceiro ínstaes e por volta de 3 a 5 horas nos quarto e quinto ínstaes.

Dentro de cada ínstar também ocorrem variações, sendo que diversos autores costumam subdividir o ínstar em períodos, conforme o "apetite" ou procura pelo alimento. KRISHNASWAMI *et al.*, (1979) consideraram a divisão do ínstar em sete estágios, sendo: primeiro estágio de alimentação (bom apetite); estágio de alimentação rala (pouco apetite); estágio moderado de alimentação (pouco apetite); estágio de alimentação ativa (ótimo apetite); estágio de pré-ecdise (pouco apetite); último estágio de alimentação (pouco apetite) e estágio de ecdise (não se alimenta).

FONSECA e FONSECA (1988) praticamente adotaram o mesmo esquema, com pequenas modificações na terminologia empregada, sendo: estágio de alimentação boa; estágio de

alimentação intermitente; estágio de alimentação moderada; estágio de alimentação ativa; estágio de pré-muda; estágio de pouca alimentação; estágio de muda.

Já PANG-CHUAN e DA-CHUANG (1992) descrevem quatro estágios, designados de estágio de escasso apetite, estágio de bom apetite, estágio voraz e estágio de pré-muda.

Nutrição Qualitativa

A produção de energia que impulsiona os sistemas vivos e a formação de novas células ou componentes celulares, necessários para a manutenção e o crescimento dos organismos, exigem um contínuo suprimento de moléculas orgânicas. De acordo com VILLEE *et al.* (1988), os processos e problemas relacionados àquele suprimento denominam-se nutrição e são importantes para todos os organismos. PARRA (1991) definiu a nutrição qualitativa como aquela onde envolve exigências nutricionais sob o ponto de vista químico, que se reflete, no caso dos insetos, em exigências básicas em aminoácidos, vitaminas e sais minerais (nutrientes essenciais) e carboidratos, lipídios e esteróis (nutrientes não essenciais). Os nutrientes podem desempenhar ainda a função de estimulantes de alimentação para os insetos. Os açúcares são considerados os principais fagoestimulantes, seguidos pelas proteínas (aminoácidos) e esteróis, além dos sais, vitaminas, compostos orgânicos e ácidos orgânicos (PARRA, 2001). Para o *Bombyx mori* L., estudos laboratoriais têm sido feitos e os requerimentos nutricionais elucidados para lagartas criadas com dietas a base de rações artificiais, assim como o efeito de suplementação ou omissão de substâncias específicas sobre o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência da lagarta (KASTURI BAI, 1984).

Exigências Nutricionais

Com um conhecimento básico das exigências nutricionais é possível desenvolver dietas artificiais de baixo custo, selecionar cultivares de amoreira ou adequar a adubação do amoreiral, de forma a atender às necessidades do bicho-da-

seda, promovendo um aumento na produtividade.

Os principais compostos químicos envolvidos na nutrição são a água, proteína, carboidratos, lipídeos, minerais e vitaminas além de outros compostos que atuam no processo.

Água

A água possui um grande número de funções importantes nos sistemas vivos, como solvente, removedor de produtos de excreção do metabolismo, controle de temperatura e lubrificante (VILLE *et al.*, 1988).

Os insetos exigem água como todos os seres vivos, estando este composto presente em pelo menos 70% do organismo (PARRA, 1991), com uma variação de 46 a 92% para os insetos terrestres. Segundo BERNAYS e CHAPMAN (1994), a maioria dos insetos fitófagos obtêm a água do alimento e, normalmente, em quantidades adequadas.

A eficiência nutricional de insetos é afetada pela água da dieta (SOO HOO e FRAENKEL, 1966; MATSON e SCRIBER, 1987), estando seu conteúdo relacionado à eficiência de conversão do alimento em biomassa (CROCOMO e PARRA, 1985). De acordo com VAN'T HOF e MARTIN (1989), o baixo conteúdo de água no alimento afeta a eficiência nutricional do gasto de energia e o crescimento de insetos herbívoros.

Lagartas de último ínstar mostraram melhor desempenho, quando se alimentaram de folhas com 75 a 90% de água, observando-se ainda que o teor de água insuficiente foi mais prejudicial ao aproveitamento alimentar dos insetos que o teor de nitrogênio (SCRIBER e SLANKY, 1981). Conforme BERNAYS e CHAPMAN (1994), as lagartas preferem alimentos com alto conteúdo de água, dando preferência a alimentos da mesma espécie vegetal, com tendência de selecionar as folhagens mais tenras.

Para o bicho-da-seda, de acordo com PARPIEV (1968), o alto conteúdo de água afeta tanto a

comestibilidade como a assimilabilidade de folhas de amoreira. Lagartas mais pesadas do bicho-da-seda foram observadas, quando se utilizou folhas de amoreira com maior conteúdo de água (CHALUVACHARI e BONGALE, 1995, PORTO, 2000), apresentando alta correlação positiva (PAUL *et al.*, 1992). No entanto, de acordo com PANG-CHUAN e DA-CHUANG (1992), se as lagartas do bicho-da-seda em quinto ínstar forem continuamente alimentadas com folhas tenras, estas ficarão desnutridas, pois o alto conteúdo de água e ácidos orgânicos tornarão o pH do trato digestivo muito baixo e a atividade enzimática será reduzida, impedindo a digestão e absorção de nutrientes.

Proteína

Os aminoácidos estão presentes normalmente no alimento como proteínas. Tanto as proteínas quanto os aminoácidos que as formam, podem servir como fontes de energia além de seus papéis estrutural e enzimático.

PARRA (1991) definiu as proteínas ou aminoácidos como elementos essenciais às dietas de insetos em desenvolvimento, sendo exigidos em altas concentrações para um ótimo crescimento.

A proteína é considerada o nutriente mais requerido pelos insetos fitófagos e geralmente o mais limitante para um ótimo crescimento. Diferentes proteínas estão contidas nas plantas, apresentando variação no seu valor para os insetos herbívoros, onde a qualidade total do alimento, em termos do balanço de aminoácidos essenciais na proteína disponível, varia de uma espécie de planta para outra e mesmo nas diferentes partes da planta (BERNAYS e CHAPMAN, 1994). De acordo com estes autores, os aminoácidos livres compoem cerca de 5% dos nutrientes nitrogenados da planta e sua concentração total não é necessariamente correlacionada com o conteúdo de proteína, podendo ter um papel mais importante na seleção do alimento pelo inseto do que na formação de proteína. Ressaltam ainda, que os aminoácidos podem afetar a duração da refeição ou os intervalos entre refeições, sendo os insetos hábeis

em distinguir dietas artificiais que possuam alta concentração de proteína daquelas de baixa concentração, por aprendizagem associativa.

O consumo de proteína estimula a atividade de enzimas digestivas dos insetos, e sua degradação e absorção ocorre primeiramente no intestino médio. A redução do conteúdo de proteína na dieta artificial de larvas de *Spodoptera littoralis*, de 7,6 para 3,6%, resultou em um decréscimo de cerca de 75% na atividade proteolítica e amilolítica da parede do intestino médio, bem como um decréscimo no peso larval (ISHAAYA, 1986). Segundo este mesmo autor, os insetos necessitam para o crescimento e desenvolvimento pelo menos dez aminoácidos essenciais (arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina). Os outros aminoácidos são sintetizados a partir destes (PARRA, 1991). FONSECA e FONSECA (1988) descreveram a proteína como a mais importante substância para a qualidade nutricional do bicho-da-seda, ressaltando que entre os aminoácidos, os dez já citados anteriormente são essenciais. Em tabela apresentada por PARRA (1991), os mesmos dez aminoácidos foram apresentados como essenciais ao *Bombyx mori* L., sendo que, dos não essenciais (alanina, ácido aspártico, cistina, ácido glutâmico, glicina, prolina, serina e tirosina), apenas o ácido aspártico e a prolina foram considerados como exigidos. No entanto PARRA (2001), cita os ácidos aspártico e glutâmico como essenciais ao crescimento do *Bombyx mori* L., podendo este crescimento ser ainda favorecido com a adição de alanina, glicina ou serina na dieta.

Para BUCK (1953), o teor de proteína na hemolinfa da lagarta do bicho-da-seda é alto, sendo que a síntese do fio de seda ocorre na glândula sericígena utilizando aminoácidos fornecidos pela hemolinfa. No corpo da lagarta seu teor foi estimado em 65,81% e no fio de seda em 98,74%, sendo 80,56% de fibroína e 18,18% de sericina (HANADA e WATANABE, 1986).

Conforme MACHII e KATAGIRI (1990), há alta correlação entre a eficiência de produção da casca sérica e o conteúdo de aminoácidos da folha de amoreira, incluindo metionina e histidina que são aminoácidos limitantes e treonina que é

necessário para a proteína da seda. Para NAGATA e KOBAYASHI (1990), a concentração de proteína estocada na hemolinfa da lagarta é influenciada pela nutrição, particularmente pelo nível de proteína da dieta.

As necessidades em proteína e energia do bicho-da-seda, nos três últimos ínstares, foram apresentados por MURARI (1993) (Quadro 1)

Quadro 1. Estimativa das necessidades em proteína metabolizável (PM), proteína bruta (PB) e energia metabolizável (EM), por miligrama do ganho de peso do bicho-da-seda

Ínstar	Peso larval (mg)	PM (mg)	PB (mg)	EM (Cal)
3º	0045	0,18	0,22	2,66
	0090	0,19	0,23	2,47
	0180	0,20	0,24	2,29
4º	0200	0,21	0,26	2,59
	0400	0,16	0,20	2,09
	0600	0,14	0,17	1,87
	0800	0,12	0,15	1,68
5º	0750	0,21	0,25	2,72
	1500	0,20	0,24	2,98
	2250	0,20	0,24	3,15
	3000	0,20	0,24	3,28
	3750	0,20	0,24	3,37

SARKER *et al.* (1997) observaram uma correlação positiva entre o conteúdo de proteína bruta da folha de amoreira com o peso da casca sérica e com o rendimento do casulo (g/100 lagartas do bicho-da-seda). PORTO (2000) observou um decréscimo no peso vivo de lagartas do bicho-da-seda, no quinto ínstar, a medida que receberam folhas de amoreira com maiores idades de corte, conseqüentemente com menor conteúdo de proteína.

Carboidratos

Os carboidratos são definidos por VILLE *et al.* (1988) como as substâncias mais simples encontradas em todas as células vivas, geralmente

em quantidade relativamente pequena e constituindo importante fonte de energia prontamente disponível. Estão presentes nas plantas na forma de amidos (polímeros da glicose), frutanas (polímeros da frutose) e açúcares. O amido é um carboidrato de reserva da planta, acumulado principalmente em grânulos nos tecidos fotossintéticos, no interior das folhas. Quanto aos polímeros de frutose, poucos são os grupos de plantas que os armazenam. Por outro lado os açúcares são os carboidratos de maior importância, sendo o dissacarídeo sacarose o açúcar de maior concentração e variação nas plantas, enquanto os açúcares hexoses são de mais baixa concentração e variação menor (BERNAYS e CHAPMAN, 1994).

Para os insetos, os carboidratos são considerados a principal fonte de energia (PARRA, 1991), destacando-se como importante nutriente para os fitófagos (BERNAYS e CHAPMAN, 1994). De acordo com MILLER e MILLER (1986), alguns açúcares desempenham ainda a função de estimulantes da alimentação ou fagoestimulantes, através de estímulos a enzimas do inseto, como amilase, invertase e protease, induzindo a um aumento no consumo de alimento e conseqüente crescimento corporal. Ressaltam ainda que vários açúcares estimulam determinados quimiorreceptores em várias espécies de insetos, podendo tal fato ser uma das razões do aumento da atividade alimentar.

Conforme PARRA (1991), a maioria das lagartas de insetos fitófagos exigem algum tipo de carboidrato, que podem ser vários açúcares ou polissacarídeos, dependendo das enzimas digestivas existentes. Concentrações de sacarose iguais ao que ocorre nas plantas hospedeiras foi considerada suficiente para levar as lagartas a consumirem uma máxima quantidade de refeições em relação a um substrato neutro (BERNAYS e CHAPMAN, 1994). Para estes autores, a quantidade de folhas ingeridas está correlacionada com seu conteúdo de açúcar. A importância do carboidrato para o inseto pode ser avaliada em diferentes fases do seu desenvolvimento biológico. Segundo PARRA (1991), um inseto da ordem Orthoptera (*Schistocerca*) necessita de uma maior quantidade

de carboidratos nos últimos instares, enquanto outro inseto, da ordem Lepidoptera (*Ostrinia*), não necessita de carboidratos nos três primeiros instares, sendo que as reservas provêm do ovo.

Para o bicho-da-seda, os carboidratos sacarose, glicose e frutose induzem mais eficientemente a resposta da lagarta à mordida e alimentação (ITO, 1960). Posteriormente o mesmo autor (ITO, 1967) concluiu que a glicose, a frutose, a sacarose e a celobiose são os carboidratos de maior necessidade e que estão contidos no melão. De acordo com KASTURI BAI (1984), o controle do metabolismo de carboidratos não somente funciona para obter a estabilidade do meio interno do organismo (homeostasia), mas também para criar veículos específicos do metabolismo, dependendo dos estágios de desenvolvimento. Assim, em pupas jovens, primeiramente o glicogênio é sintetizado, mas logo uma fase degradativa é acionada. Ocorre a síntese de trealose, a qual é liberada na hemolinfa e por sua vez utilizada pelo ovário para a síntese do glicogênio.

Segundo HANADA e WATANABE (1986), está nos primeiros instares da lagarta do bicho-da-seda (fase jovem) a maior necessidade de carboidratos. Outra fase de grande exigência é durante a muda de pele ou ecdise, considerada de alto custo energético para o *Bombyx mori* L., onde 65 a 73% do carboidrato existente nas pré-mudas são utilizadas durante este processo (SLANSKY e SCRIBER, 1985). Quanto a importância específica dos carboidratos no bicho-da-seda, um estudo apresentado por ISHAAYA (1986) demonstrou que a sacarose, frutose e rafinose induzem mais eficientemente as lagartas a alimentação. Em quadro apresentado por PARRA (1991) (Quadro 2), pode ser observado os principais carboidratos exigidos pelo bicho-da-seda

Relação Proteína / Carboidrato

Um bom alimento deve não apenas conter os elementos nutritivos em quantidades suficientes, mas apresentar proporções adequadas dos mesmos. O princípio da proporcionalidade nutricional em insetos é considerado fundamental por PARRA (1991), principalmente a proporção proteína/carboidrato. Em folhas é

Quadro 2. Exigências de carboidratos pelo *Bombyx mori* L., adaptado de (PARRA, 1991)

Carboidratos	Utilizado	Pouco utilizado	Não utilizado
<i>ÁLCOOIS DE AÇÚCAR</i>			
Sorbitol	x		
Manitol	x		
<i>PENTOSES</i>			
Xilose		x?	
Arabinose			x
<i>HEXOSES</i>			
Glicose	x		
Frutose	x		
Galactose		x	
Manose	x?		
Sorbose			x
<i>DISSACARÍDEOS</i>			
Sacarose	x		
Maltose	x		
Trealose	x		
Celobiose	x		
Melibiose	x		
Lactose	x		
<i>TRISSACARÍDEOS</i>			
Melezitose	x		
Rafinose	x		
<i>POLISSACARÍDEOS</i>			
Amido	x?		
Glicogênio			x
Inulina			x

muito comum os níveis de proteína e açúcar serem inversamente correlacionados. As folhas mais novas são normalmente ricas em proteína e as folhas velhas apresentam uma tendência de serem ricas em carboidratos (BERNAYS e CHAPMAN, 1994). De acordo com estes autores, apesar dos insetos, ao selecionar plantas com alto conteúdo de açúcar, reduzirem o consumo relativo de proteína, aqueles especialistas são potencialmente hábeis em obter um balanço de carboidratos e proteínas na alimentação, através de uma seleção de folhas de diferentes idades.

No bicho-da-seda, a importância da proporção entre os nutrientes foi enfatizada por KASTURI BAI (1984), especialmente para o crescimento da

glândula sericígena e produção do casulo. Segundo este autor, a proporção de carboidratos/proteínas influem não somente no crescimento larval e desenvolvimento mas também na produção de casulo. Conforme PARRA (1991), a proporção (em peso) de proteínas em relação a carboidratos para o *Bombyx mori* L. é de 40 para 42, ou seja: 1: 1.

Lipídeos

Os lipídeos, ou gorduras, são importantes combustíveis biológicos e componentes estruturais das células, especialmente das membranas celulares (VILLE *et al.*, 1988). É grande a variedade de lipídeos contidos nas plantas, incluindo

triglicerídeos, fosfolipídeos, glicolipídeos, esteróis e uma gama de compostos que formam a cera superficial (BERNAYS e CHAPMAN, 1994). Segundo PARRA (1991), os lipídeos não poderiam ser uma importante fonte de energia para os insetos fitófagos, uma vez que nas folhas ocorre pequena quantidade deste nutriente. Para este autor, os insetos em geral utilizam lipídeos e podem sintetizá-los a partir de proteínas e carboidratos, embora alguns ácidos graxos, como os ácidos linoléico e linolênico, não sejam sintetizados. De acordo com BERNAYS e CHAPMAN (1994), os fosfolipídeos podem ainda desempenhar a função de estimulantes da alimentação (fagoestimulantes) para os insetos.

Nos insetos holometábolos o acúmulo de lipídeos ocorre normalmente dos primeiros para os últimos ínstar, onde a energia é utilizada para a produção de casulos. No *Bombyx mori* L., do total do conteúdo energético da lagarta de último ínstar, aproximadamente 30% é utilizado para a confecção do casulo (HIRATSUKA, 1920).

Nos processos de ecdise, segundo SLANSKY e SCRIBER (1985), o inseto tem um gasto energético considerado alto, sendo que, para o *Bombyx mori* L., esse gasto corresponde a 19 a 34% do lipídeo existente na pré muda. Como constituinte corporal do bicho-da-seda, os lipídeos são estimados em 14,96% e no fio de seda em 0,06% (HANADA e WATANABE, 1986).

Quanto às exigências pelo *Bombyx mori* L., apenas o ácido linoléico (ácido graxo insaturado) é exigido, porém não sintetizado por este inseto (PARRA, 1991).

Minerais e Vitaminas

Os minerais desempenham diferentes funções no organismo, destacando-se a função energética, associada às transferências de energia ligadas ao metabolismo celular (P); a função plástica, associada aos constituintes fundamentais do protoplasma e das estruturas; a função fisco-química, associada ao estabelecimento e manutenção da pressão osmótica, a realização do equilíbrio ácido-básico (K, Na) e condicionamento

da permeabilidade celular (Ca, Mg); papel funcional, na constituição das enzimas, das vitaminas, das secreções, dos hormônios além de funcionarem como transportadores (ANDRIGUETTO *et al.*, 1983)

De acordo com PARRA (1991), os insetos necessitam de quantidades consideráveis de potássio, fosfato e magnésio e pouco cálcio, sódio e cloro para o crescimento e desenvolvimento. Para este autor, sua importância está no balanceamento iônico e na permeabilidade da membrana dos insetos, podendo atuar como ativadores de enzimas ou parte de pigmentos respiratórios. As exigências mínimas em P, K, Mg, Ca, Na, Zn, Fe e Cu para lepidópteros são apresentadas como: 2000-6500 ppm, 8000-9000 ppm, 1000 ppm, 300 ppm, 10 ppm, 20-60 ppm, 148 ppm e 20 ppm, respectivamente (PARRA, 1991).

Em estudos desenvolvidos por ITO (1978), foram observados 10% de minerais na matéria seca de folhas de amoreira, sendo 35,46% de K₂O, 22% de Na₂O, 16,96% de CaO, 12,33% de SiO₂, 10,3% de P₂O₅, 5,34% de SO₃, 3,7% de MgO, 0,43% de Fe₂O₃ e 0,0164% de Cu. Quantidades ótimas de potássio, fósforo e magnésio, requeridos pelo bicho-da-seda, foram determinadas em 9,0 mg, 203 mg e 1 mg/g de matéria seca, respectivamente, sendo que a folha de amoreira, para atender as exigências desses minerais, deveria conter em uma grama de matéria seca, 25 a 33 mg de K, 1,6 a 3,4 mg de P e 2,0 a 4,9 mg de Mg. O mesmo autor enfatizou a importância do K, do Mg e do Fe como minerais essenciais ao *Bombyx mori* L. O fosfato foi observado em maior quantidade na hemolinfa do bicho-da-seda no final do quinto ínstar (SAKAMOTO e HORIE, 1979). De acordo com PARRA (1991), o bicho-da-seda é exigente em Cl, P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Zn, Mn.

As necessidades de macrominerais no terceiro, quarto e quinto ínstar do bicho-da-seda, foram determinados por EUZÉBIO (1993) (Quadro 3).

As vitaminas são substâncias orgânicas relativamente simples, necessárias em pequenas

Quadro 3. Estimativa das quantidades de macrominerais necessários para o ganho diário de 1 mg de peso em função do peso corporal do bicho-da-seda

Peso corporal (mg)	Fósforo (mg)	Potássio (mg)	Cálcio (mg)	Magnésio (mg)	Sódio (mg)
3 ^o ínstar					
40	1,17620	4,78077	0,90461	0,52033	0,00452
80	1,08879	4,80952	0,84370	0,53420	0,00322
120	1,04070	4,82642	0,80999	0,50942	0,00263
160	1,00788	4,83845	0,78689	0,50660	0,00228
200	0,98313	4,84679	0,76943	0,50442	0,00204
4 ^o ínstar					
180	1,23580	5,03382	0,86392	0,60333	0,00395
360	1,22561	5,48235	0,85102	0,60436	0,00263
540	1,21968	5,76303	0,84357	0,60497	0,00207
720	1,21550	5,97084	0,83832	0,60540	0,00175
900	1,21226	6,13719	0,83428	0,60573	0,00153
5 ^o ínstar					
900	1,14336	3,93463	0,48108	0,44039	0,01126
1700	1,02981	3,74788	0,37996	0,36507	0,01253
1500	0,96652	3,63898	0,32931	0,32582	0,01337
3300	0,92338	3,56254	0,29707	0,30020	0,01401
4100	0,89100	3,50390	0,27409	0,22158	0,01453

quantidades na dieta para o funcionamento metabólico normal do organismo. Estas substâncias diferem muito na sua estrutura química, porém têm em comum o fato de não serem sintetizadas em quantidades adequadas pelos animais e por isso, devem estar presentes na dieta (VILLEE *et al.*, 1984). Nos processos metabólicos fornecem componentes estruturais das enzimas (PARRA, 1991), atuando também como catalisadores dos processos celulares (ANDRIGUETTO *et al.*, 1986).

As vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, ácido nicotínico, piridoxina, ácido pantotênico) são consideradas essenciais para a maioria dos insetos, enquanto a biotina e o ácido fólico são considerados essenciais para insetos específicos, havendo alguns grupos restritos que apresentam exigências para outras vitaminas. A colina é considerada essencial a todos os insetos e o inositol, essencial para a maioria dos insetos fitófagos. Ambos são subcomponentes da fosfatidilcolina (lecitina) e do fosfatidilinositol, que são considerados tipos de fosfolipídeos envolvidos na estrutura da membrana lipídica e no transporte de lipoproteínas (PARRA, 2001). Conforme este autor, a vitamina C (ácido ascórbico) está presente

nas plantas verdes e pode ter função de fagoestimulante para insetos, sendo utilizada em dietas artificiais como antioxidante, assim como a vitamina E (α tociferol). A vitamina A (retinol) ou a pró-vitamina (beta-caroteno) é citada como essencial na formação dos pigmentos visuais dos insetos. Em relação a vitamina K, o mesmo autor apresenta informações de sua possível ação na viabilidade de espermatozoides de insetos. Para o *Bombyx mori* L., conforme DADD (1977), as vitaminas exigidas do complexo B são a tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, pantotenato e biotina, sendo o ácido fólico considerado importante no crescimento e a vitamina B₁₂ (cianocobalamina) ligada ao aumento da produção de seda. Como fatores lipogênicos exigidos, citam-se a colina e o inositol, além da exigência da vitamina C ou ácido ascórbico. A vitamina A é considerada importante para a visão do bicho-da-seda (SHIMIZU *et al.*, 1981).

Compostos Secundários

Estima-se que 80% dos produtos naturais conhecidos são de origem vegetal (EDWARDS e WRATTEN, 1980). Nas plantas, ocorrem compostos relacionados diretamente com as

funções primárias como fotossíntese, respiração e crescimento, além de uma grande variedade de outros compostos, denominados substâncias secundárias (PRICE, 1984). Quimicamente são definidos cerca de 10.000 metabólitos secundários de plantas e acredita-se que o número total seja superior a 400.000 (SCHOONHOVEN, 1982).

PANIZZI e PARRA (1991) citaram, como principais classes de compostos secundários envolvidos nas interações plantas/animais, os compostos nitrogenados (alcalóides, aminas, aminoácidos não-protéicos, glicosídeos cianogênicos e glucosinolatos), os terpenóides (monoterpenos, diterpenos, sesquiterpenos, saponinas, limonóides, cucurbitacinas, cardenólídeos e carotenóides), os compostos fenólicos (fenóis simples, flavonóides e quinonas) e os poliacetilenos. Conforme BERNAYS e CHAPMAN (1994), estas substâncias podem agir como venenos para animais, fungos ou microorganismos, auxiliar nas interações competitivas contra outras plantas ou prover proteção contra fatores abióticos, desempenhando portanto, importante papel na seleção de plantas hospedeiras por insetos fitófagos.

Os compostos secundários, também denominados de aleloquímicos, podem desestimular o ataque de alguns insetos fitófagos, atuando como alomônios ou estimular outros a se alimentar de certas plantas, atuando como cairomônios (DALY *et al.*, 1978).

Conforme Fraenkel (in CROCOMO e PARRA, 1985), a composição química das folhas de diferentes plantas, assim como as necessidades nutricionais dos insetos, diferem relativamente pouco entre si, atribuindo a especificidade inseto/planta à presença de substâncias químicas que conferem estímulo aos órgãos sensoriais do olfato e da gustação. De acordo com KOGAN (1976), as substâncias químicas produzidas pelos vegetais podem ser liberadas no ar e no solo, afetando os insetos antes ou durante o contato com a planta, podendo ainda atuar somente quando liberados após destruição do tecido.

Para BERNAYS e CHAPMAN (1994), além da liberação de moléculas voláteis pelos estômatos, os constituintes químicos da célula vegetal também são liberados quando ocorre a mastigação do tecido pelos insetos, proporcionando um fluxo destes conteúdos na cavidade bucal, estimulando os quimiorreceptores de contato e podendo ter ação fagoestimulante ou inibitória. De acordo com PARRA (2001), no grupo dos compostos que não têm valor nutritivo mas podem atuar como fagoestimulantes para os insetos, incluem-se os flavonóides, quinonas, taninos, fenilpropanos, isoprenóides, triterpenos (acetogeninas e fenilpropanos) e isotiocianato, faseolunatima, catalposídeo (cianogênicos e outros glicosídeos).

Para o *Bombyx mori* L., a constatação de que as folhas de amoreira continham compostos secundários que agiam como fagoestimulantes para as lagartas, veio através das pesquisas com dietas artificiais. A possível existência de uma substância na folha de amoreira, de grande importância para atração do bicho-da-seda, foi descrita por LEGAY (1958). FUKUDA (1962), utilizando dietas artificiais a base de sacarose, pó de celulose, β -sitosterol, água e amido de batata. Considerou o β -sitosterol e a sacarose como substâncias estimulantes da alimentação.

Segundo BERNAYS e CHAPMAN (1994), os principais compostos vegetais que apresentam propriedades fagoestimulantes para o bicho-da-seda são: ácido cafeico, classificado quimicamente como ácido fenólico; o ácido clorogênico da classe dos ácidos fenilpropanóides; o quercitrin da classe dos glicosídeos flavonoídicos e o flavonóide morin presente na amoreira. Conforme PANIZZI e PARRA (1991), as folhas de amoreira possuem substâncias químicas que atuam no comportamento do *Bombyx mori* L., como atraentes olfatórios (óleos essenciais), estimulantes do início da alimentação (flavonóides, terpenóides e açúcares) e fatores envolvidos na deglutição dos alimentos (elementos inorgânicos e componentes da parede celular). BERNAYS e CHAPMAN (1994) descreveram ainda os fosfolipídeos, como substâncias que podem ter ação fagoestimulatória para os insetos.

Nutrição Quantitativa

Os critérios para medir a qualidade do alimento para os insetos, em sua maioria, eram empregados após a ingestão das dietas e baseados na detecção de sintomas. Os ecologistas de insetos e nutricionistas têm procurado, no entanto, utilizar a análise do crescimento e índices de utilização, na tentativa de estabelecer um vínculo entre os efeitos e seus prováveis mecanismos causais (KOGAN, 1986). A avaliação das quantidades de alimento consumido, digerido, assimilado, excretado, metabolizado e convertido em biomassa é denominada de nutrição quantitativa e permite o esclarecimento de como o organismo responde a diferentes alimentos e quais componentes do alimento exercem maior efeito sobre o crescimento (CROCOMO e PARRA, 1985).

A padronização de índices, com intuito de comparar diferentes trabalhos na área de nutrição de insetos foi proposta por WALDBAUER (1968) e baseada principalmente no uso de técnicas de consumo, utilização e análises de crescimento, empregando o método gravimétrico. No bicho-da-seda, ocorrem importantes variações em relação à nutrição quantitativa, resultantes de fatores como: fases do período larval, sexo das lagartas, qualidade do alimento, condições climáticas, entre outros.

De acordo com UEDA (1982), a eficiência de aproveitamento do alimento pelo *Bombyx mori* L. melhora com o desenvolvimento da lagarta, variando de 40% no primeiro ínstar para 65% no quinto ínstar, sendo justificada pelo menor requerimento em energia para manutenção das lagartas “jovens”. Alguns autores relataram que lagartas “jovens” consomem apenas 20 a 40% da folha de amoreira fornecida, enquanto lagartas “adultas” atingem um percentual de consumo de 60 a 70%. O total consumido por lagarta de, aproximadamente, 20 gramas de folhas até o encasulamento, sendo 85% consumido no quinto ínstar (HANADA e WATANABE, 1986, FONSECA e FONSECA, 1988). Para HANADA e WATANABE (1986), da parte sólida consumida pela lagarta do bicho-da-seda, cerca de 50% é digerida e absorvida na fase “jovem” e 35% na

fase “adulta”, acreditando-se que 25% desse elemento sólido torne-se matéria sericígena.

Conforme LINDROTH (1993), geralmente ocorre decréscimo da digestibilidade, enquanto a eficiência de conversão do alimento aumenta dos primeiros para os últimos ínstares, ou seja, lagartas mais velhas promovem uma digestão menos completa de seu alimento, porém aquele alimento a qual elas fazem digestão, é mais eficientemente utilizado para o crescimento. De acordo com PARRA (1991), as lagartas mais novas digerem melhor o alimento pois promovem uma melhor seleção, que evita as nervuras das folhas, ricas em fibras, concentrando-se no tecido parenquimatoso, sendo que a maior parte do alimento consumido é direcionado para energia de manutenção e pouco para o crescimento. Já as lagartas mais velhas, utilizam as nervuras e o alimento é mais direcionado para produzir energia de formação do corpo e menos para manutenção, aumentando a eficiência de conversão do alimento digerido.

Quanto ao sexo da lagarta, HORIE e WATANABE (1983) observaram que a quantidade de matéria seca ingerida e digerida no quarto e quinto ínstar do bicho-da-seda, foi de 5,8 e 2,4 gramas para lagartas machos e 6,6 e 2,8 gramas para as fêmeas respectivamente, com uma digestibilidade de 42%. Para o bicho-da-seda eri (*Philosamia ricini*), JOSHI (1984) observou uma menor ingestão de alimento (*Ricciniis comunis* L.) para as lagartas machos em relação às fêmeas. O maior consumo de alimento pelas fêmeas foi atribuído ao seu maior tamanho, em função da produção de ovos, assim como por apresentarem maior desenvolvimento (SLANSKY e SCRIBER, 1985).

Outro fator de extrema importância para o consumo e utilização do alimento pelo inseto é a qualidade desse alimento, representada pelo conteúdo e proporções em nutrientes e outros compostos, bem como suas características físicas. De acordo com PARRA (1991), a taxa de consumo de um alimento por um inseto pode ser alterada conforme a quantidade de água do alimento ou propriedades físico-químicas da dieta. PAUL *et al.* (1992) verificaram que o consumo e taxa de crescimento/dia/lagarta do bicho-da-seda aumentaram com a elevação da umidade da folha

de amoreira. Para PARRA (2001), a água dilui os nutrientes e faz com que estes sejam mais consumidos pelos insetos, podendo aumentar a eficiência de conversão.

Conforme Mattson (in PARRA, 1991), os organismos em dietas pobres em nitrogênio, consomem mais alimento que nas dietas ricas deste elemento. LINDROTH (1993) citou um aumento da taxa de consumo do alimento, para muitos insetos, como resposta a baixa concentração de nutrientes críticos como a proteína. Para EDWARDS e WRATTEN (1981), os insetos fitófagos em geral, passam grande parte do tempo alimentando-se e isso se deve ao fato das folhas apresentarem, normalmente, um baixo teor de nutrientes e água. VENDRAMIM *et al.* (1983) consideraram que um determinado cultivar de couve foi menos adequado nutricionalmente que os outros, para alimentação de lagartas de *Agrotis subterranea* (Lepidoptera), pela necessidade de maior consumo desse cultivar para que o inseto adquirisse o mesmo peso obtido com os demais.

PORTO (2000), estudando o efeito da idade de corte da planta (7, 10, 13 e 16 semanas de desenvolvimento vegetativo) sobre o consumo e utilização do alimento pelo bicho-da-seda, observou para dois cultivares de amoreira (IZ 56/4 e Korin), que estes apresentaram melhores características como alimento quando fornecidos com idade de corte de 10 semanas. Com essa forragem as lagartas apresentaram em geral, menor quantidade de alimento ingerido, menor custo metabólico, bom ganho de biomassa e boa eficiência de conversão, tanto do alimento ingerido quanto do alimento digerido, além de boa digestibilidade.

Para SOO HOO e FRAENKEL (1966), uma boa planta para alimentação do inseto, seria aquela que apresentasse uma correlação inversa entre o consumo de alimento e a eficiência de utilização.

A celulose pode atuar como um estimulante para a ingestão do alimento pelo inseto, devido a alteração na sua textura (mais áspero), o que facilita a passagem deste alimento pelo trato digestivo. A melhora na alimentação e no crescimento do *Bombyx mori* L., foi observada ao se adicionar celulose à sua dieta (PARRA, 2001).

O bicho-da-seda é muito sensível às condições climáticas no ambiente de criação, que atuam diretamente no seu metabolismo, bem como na qualidade do alimento disponível. A temperatura e a umidade relativa do ar, são considerados de grande importância na criação desse inseto, uma vez que sua elevação acelera as atividades fisiológicas, como alimentação, digestão e eliminação das fezes (OKINO, 1982, HANADA e WATANABE, 1986). As lagartas “jovens” alimentam-se ativamente e crescem vigorosamente sob condições de temperatura e umidade mais elevada (FONSECA e FONSECA, 1988). Para esse autores, além da influência direta da umidade nas funções biológicas do bicho-da-seda, tais fatores ambientais podem influir nas condições de turgidez da folha nas esteiras de criação, podendo torná-las impróprias para a alimentação.

O consumo e utilização da soja por *Spodoptera litura* (Fabricius) foi influenciada pela temperatura, com uma elevação no consumo, um aumento na conversão do alimento ingerido e um aumento no crescimento relativo da lagarta, quando se aumentou a temperatura (BHAT e BHATTACHARYA, 1978).

SHEN (1986) observou que a digestibilidade da proteína no casulo foi de 35,50% para lagartas do bicho-da-seda em quinto ínstar, criadas em temperatura de 30°C e 38,03% para lagartas criadas a 20°C, concluindo que uma menor variação de temperatura pode aumentar a utilização da proteína da amoreira. De acordo com SHIVA KUMAR *et al.* (1997), a quantidade de alimento e água consumida e assimilada por lagartas do bicho-da-seda decresceram com o aumento da maturidade da folha de amoreira, em temperaturas mais altas na criação (32° C), sendo associada com uma mais alta eficiência de conversão do alimento. Para esses autores, o comportamento das lagartas indica que houve uma indução de mecanismos compensatórios de sobrevivência.

Em relação à influência da luz, HANADA e WATANABE (1986) citaram um aumento de 10% no consumo da amoreira por lagartas do bicho-da-seda durante o primeiro e terceiro ínstares, quando criadas no claro e um aumento de cerca de 1 a 2% para lagartas na fase “adulta”. Em dietas artificiais a luz pode ter efeitos deletérios, como observado

por IMANISHI e YOSHITAKE (1981), que detectaram um efeito negativo no crescimento das lagartas do bicho-da-seda, quando receberam dieta artificial exposta à luz pela transformação de lipídeos em hidroxiperóxidos, prejudiciais ao seu desenvolvimento.

Quanto ao período de incidência de luz (fotoperíodo), PORTO (2000) não observou variação no consumo de folhas de amoreira por lagartas do bicho-da-seda, nos três últimos ínstaes, quando estas foram submetidas aos seguintes regimes (luz : escuro, em horas): 12:12, 14:10, 16:08.

Inúmeros outros fatores podem interferir no consumo e utilização do alimento pelo *Bombyx mori* L.. A variação desses índices nutricionais, em função da raça do bicho-da-seda, pode ser observada nos trabalhos de PERIASAMY *et al.* (1984), NAIK e DELVI (1987) e MATEI *et al.* (1997).

SARKAR (1993) encontrou variações nos índices nutricionais entre lagartas do bicho-da-seda alimentadas com folhas de plantas triplóides e tetraplóides. Estudando o efeito de cinco diferentes cultivares de amoreira, sobre o consumo e utilização do alimento pelo bicho-da-seda, EVANGELISTA (1994) não observou variação entre os cultivares para a maioria dos índices nutricionais avaliados, exceto para a digestibilidade aproximada, no qual o cultivar Korin propiciou melhores resultados que o cultivar FMSM, não havendo diferenças entre os demais. BANERJEE e DEB (1997) encontraram efeitos de compostos imidazoles sobre o consumo e utilização do alimento, quando aplicados em lagartas do bicho-da-seda para indução de metamorfose precoce.

De um modo geral, a lagarta do *Bombyx mori* L., assim como outros insetos de ciclo completo (CROCOMO e PARRA, 1985, PARRA, 1991), apresenta uma boa capacidade compensatória em condições de desbalanço nutricional, podendo consumir mais alimento ou alterar a eficiência de utilização, de forma a manter um bom crescimento e desenvolvimento. Para LINDROTH (1993), a eficiência de conversão do alimento pelos insetos

pode variar consideravelmente em função de ajustes homeostáticos do consumo e dos índices nutricionais, de forma a conduzir o inseto a uma taxa de crescimento próxima ao ideal, mesmo com alimentos de diferentes qualidades e variação ambiental.

Para a atividade sericícola, a utilização de um alimento de qualidade inferior levaria a um maior consumo pelas lagartas, o que se refletiria em uma maior necessidade de folhas e um maior tempo de alimentação, com conseqüente elevação dos custos de produção. Cabe ressaltar, ainda, que a menor eficiência na utilização do alimento poderia representar uma menor quantidade e qualidade da seda produzida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do momento que o bicho-da-seda tornou-se um inseto de interesse econômico e com características estritamente domésticas, portanto inteiramente dependente do homem, coube a este prover as condições ideais para sua sobrevivência e assim possibilitar a máxima expressão de seus atributos produtivos.

A alta especificidade dessa espécie com seu principal alimento, a amoreira, a princípio restringiu o campo de estudo sobre sua alimentação, no entanto muito haverá que se descobrir sobre as complexas relações físico-químicas que os envolvem.

O conhecimento de aspectos biológicos e fisiológicos de sua nutrição, torna-se crucial para o entendimento de suas exigências tanto qualitativas quanto quantitativas, bem como das interações inseto/planta. Tais informações permitiriam uma melhor adequação do ambiente de criação e um melhor planejamento na produção do alimento, com conseqüente otimização na produção da seda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, O.C., ABRAMIDES, P. Técnica de criação do bicho-da-seda (*Bombyx mori*, L.). B. Técn. de Seric., São Paulo, n.3, p.1-28, 1974.
- ANDRIGUETO, J.M., PERLY, L., MINARDI, I. *et al.* Nutrição animal: as bases e os fundamentos da

- nutrição animal: os alimentos. 4.^a ed. São Paulo: Nobel, 1986. 396 p.
- BANERJEE, K., DEB, D.C. Induction of trimoulters in indian bivoltine *Bombyx mori* L. by imidazole compounds, its impact on rearing, reproductive performances, food utilization and use of male moth for polyvoltine x bivoltine F1 egg preparation. In: CONGRESSO DA COMISSÃO SERICÍCOLA INTERNACIONAL, 17., Londrina, 1997. Anais...Londrina: Governo do Estado do Paraná, 1997. Seção 2, p.133-140.
- BERNAYS, E. A., CHAPMAN, R. F. Hort - plant selection by phytophagous insects. New York: Chapman & Hall, 1994. 312 p.
- BHAT, N.S., BHATTACHARYA, A.K. Consumption and utilization of soybean by *Spodoptera litura* (Fabricius) at different temperatures. Indian J. Ent., New Delhi, v. 40, n. 1, p. 16-25, 1978.
- BUCK, J.B. Physical properties and chemical composition of insect blood. In: ROEDER, K.D. (Ed). Insect physiology. New York: John Wiley & Sons, 1953. p.147-90.
- CAVALCANTE, V.M., CRUZ-LANDIM, C. Types of cells present in the midgut of the insects: a review. Naturalia, São Paulo, v.24, p.19-40,1999.
- CHALUVACHARI, T., BONGALE, U.D. Evaluation of leaf quality of some germplasm genotypes of mulberry through chemical analysis and bioassay with silkworm, *Bombyx mori* L. Indian J. of Seric., Bombay, v. 34, n. 2, p. 127 - 132, 1995.
- CROCOMO, W.B., PARRA, J.R.P. Consumo e utilização de milho, trigo e sorgo por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae). R. bras. de Entomol., São Paulo, v. 29, n. 2, p. 225 - 260, 1985.
- DADD, R.H. Qualitative requirements and utilization of nutrients: insects. In: RECHCIGL Jr., M. (Ed.). CRC Handbook. Series in Nutrition and Food. Section D. Nutritional Requirements. Cleveland: CRC Press, 1977, v.1.p.305-346.
- DALY, H.V., DOYEN, J.T., EHRLICH, P. Introduction to insect biology and diversity. New York: McGraw-Hill Book Co., 1978. 358 p.
- EDWARDS, P.J., WRATTEN, S. D. Ecology of insect-plant interactions. London: Edward Arnould Publishers, 1980. 71p.
- ESAU, K. Anatomia das plantas com sementes. São Paulo: Edgar Blücher, 1976. 293 p.
- EUZÉBIO, U. Determinação das necessidades nutricionais de macro-minerais em bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.) nos três últimos instares. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1993. 84 f. Dissertação de Mestrado.
- EVANGELISTA, A. Índices nutricionais e desempenho do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.) alimentados com diferentes cultivares de amoreira. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1994. 84 f. Dissertação de Mestrado.
- FONSECA, T.C., FONSECA, A.S. Cultura da Amoreira e criação do bicho-da-seda. São Paulo: Nobel, 1988. 246 p.
- FUKUDA, T., SUTO, M., KAMEYAMA, T. *et al.* Synthetic diet for silkworm raising. Nature, London, v.196, p.53-54, 1962.
- GALLO, D., NAKANO, O., WIENDL, F.M. *et al.* Manual de entomologia. São Paulo: Editora Agrônômica Ceres, 1970. 158 p.
- HANADA, Y., WATANABE, J.K. Manual de criação do bicho-da-seda. Curitiba: Cocamar, 1986. 224 p.
- HIRATSUKA, E. Researches on the nutrition of the silkworm. Bull. Seric. Exp. Sta., v.1, p.257-315, 1920.
- HORIE, Y., WATANABE, J. K. Daily utilization and consumption of dry matter in food by the silkworm *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). Appl. Ent. Zool., Tokyo, v.18, n.1, p.70-80, 1983.
- IMANISHI, S., YOSHITAKE, N. Deterioration in food value of the artificial diet for the silkworm, *Bombyx mori*, by the lighting. J. of Seric.. Sci. of Japan., Tokyo, v. 50, n. 2, p.90-93, 1981.
- ISHAAYA, I. Nutritional and allelochemic insect - plant interactions relating to digestion and food intake: some examples. In: MILLER, J.R., MILLER, T.A.

- Insect - Plant Interactions. New York: Springer - Verlog Inc., 1986. p. 191 - 223.
- ITO, T. Effect of sugars on feeding of larvae of the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Insect Physiol., Tokyo, v. 5, p. 95-107, 1960.
- ITO, T. Nutritional requirements and artificial diets for the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Seric. Sci., Tokyo, v. 36, n. 4, p. 315-319, 1967.
- ITO, T. Silkworm nutrition. In: The silkworm: an important laboratory tool. Kodansha, Japan, 1978. p. 121-157.
- JOSHI, K.L. Sex specific consumption and utilization of food by eri silkworm *Philosamia ricini* Hutt (Lepidoptera: Saturniidae). Sericologia, Titabar, v. 24, n. 1, p. 21-24, 1984.
- KASTURI BAI, A.R. Science and study of the silkworm. Sericologia, Titabar, v. 24, n. 4, p. 455-471, 1984.
- KOGAN, M. The role of chemical factors in insect/plant relationship. In: INTERNATIONAL CONGRSS ENTOMOLOGY, 15., Washington, DC, 1976. Proccedings... Washingto, DC, 1976. p. 211-227.
- KOGAN, M. Bioassays for measuring quality of insect food. In: MILLER, J.R., MILLER, T.A. Insect-plant interactions. New York: Springer-Verlog Inc., 1986. p. 155-189.
- KRISHNASWAMI, S., NARASIMHANNA, M.N., SURYNARAYAN, S.K. *et al.* Sericulture manual 2 - Silkworm rearing. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 131 p.
- LEE, A. Historia de la seda. R. Seric. Col., Pereira, n. 27, p. 3-5, 1998.
- LEGAY, J.M. Recent advances in silkworm nutrition. Ann. Rev. Entomol., Palo Alto, n. 3, p. 75-86, 1958.
- LINDROTH, R.L. Food conversion efficiencies of insect herbivores. In: Food Insects Newsletter, v. 6, n. 1, 1993 (http://www.hollowtop.com/finl_html/conversion.htm).
- MACHII, H., KATAGIRI, K. Varietal Differences in food value of mulberry leaves with special reference to production efficiency of cocoon shell. J. Seric. Sci. Jap., Tokyo, v. 59, n. 1, p. 34 - 42, 1990.
- MATEI, A., BRASLA, A., OPRESCU, A. Comparative study of several *Bombyx mori* L. Silkworm races, focusing on feed utilization. In: CONGRESSO DA COMISSÃO SERICÍCOLA INTERNACIONAL, 17., Londrina, 1997. Anais... Londrina: Governo do Estado do Paraná, 1997. Seção 2, p.109-121.
- MATSON, W.J., SCRIBER, J.M. Nutritional ecology of insect folivores of woody plants: nitrogen, water, fibre and mineral considerations. In: SLANSKY, F. Jr., RODRIGUEZ, J.G. Nutritional ecology of insects. Mites spiders and related invertebrates, New York: Wiley, & Sons, 1987. p. 105-146.
- MILLER, J.R., MILLER, T.A. Insect plant interactions. New York: Springer-Verlog, 1986. 342 p.
- MURARI, O. Determinação da necessidade em proteína e energia do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.) nos três ínstares finais da fase larval. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1993. 83 f. Dissertação de Mestrado
- NAGATA, M., KOBAYASHI, M. Quantitative changes in estorage proteins during larval development of the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Seric. Sci. Jap., Tokyo, v. 59, n. 6, p. 461 - 468, 1990.
- NAIK, R.P., DELVI, M.R. Food utilization in different races of silkworm *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). Sericologia, Titabar, v. 23, n. 3, p. 391-397, 1987.
- OKINO, I. Manual de Sericultura . Bauru: 1982. 80 p.
- PANG-CHUAN, W., DA-CHUANG, C. Silkworm rearing. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992. 83 p.
- PANIZZI, A.R., PARRA, J.R.P. A ecologia nutricional e o manejo integrado de pragas. In: PANIZZI, A.R., PARRA, J.R.P. Ecologia Nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas. São Paulo: Manole, 1991. p.313-336.
- PARPIEV, B.A. Water metabolism in silkworm fed with a different strain changing diet. Shelk, v. 39, p. 15-17, 1968.
- PARRA, J.R.P. Consumo e utilização de alimentos por insetos. In: PANIZZI, A.R., PARRA, J.R.P. Ecologia

- Nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas. São Paulo: Manole, 1991. p. 9-66.
- PARRA, J.R.P. Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. 6.ed. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 2001. 134 p.
- PAUL, D.D.. Impact of dietary Moisture on nutritional indices and growth of *Bombyx mori* L. and concomitant larval duration. J. Insect Physiol., London, . v. 38, n.3, p. 229 - 245, 1992.
- PERIASAMY, K., NARAYANAPRAKASH, R., RADHAKRISHNAN, S. Food utilization in exotic and indogenous races of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). Sericologia, Titabar, v. 24, n. 1, p. 43-50, 1984.
- PIZZAMIGLIO, M.A. Ecologia das interações inseto/planta. In: PANIZZU, A.R., PARRA, J.R.P. Ecologia Nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas. São Paulo: Manole, 1991. p.101-130.
- PORTO, A.J. Efeito da idade de corte de dois cultivares de amoreira no desempenho e características do casulo do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.). Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, 2000. 81 f. Dissertação de Mestrado.
- SAKAMOTO, E., HORIE, Y. Quantitative change of phosphorus compounds in hemolymph during development of the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Seric. Sci., Tokyo, v.48, n. 4, p. 319-325, 1979.
- SARKAR, A. Effects of feeding different races of silkworm (*Bombyx mori* L.) with mulberry (*Morus indica* L.) leaves varying in ploidy level. Sericologia, Titabar, v. 33, n.1, p. 25-34, 1993.
- SARKER, A.A., HAQUE, M.R., RAB, M.A. *et al.* Studies on crude protein and amino acid contents of mulberry (*Morus alba* L.) leaves in relation to cocoon production of the silkworm, *Bombyx mori* L. Sericologia, Titabar, v. 37, n. 1, p. 137-142, 1997.
- SCHOONHOVEN, L.M. Biological aspects of antifeedants. Entomol. Exper. Applic., Amsterdam, v.31, p. 57-69, 1982.
- SCRIBER, J.M., SLANSKY Jr., F. The nutritional ecology of immature insects. Ann. Rev. Entomol., Palo Alto, v.26, p. 183-211, 1981.
- SHEN, W.D. Effects of different rearing temperature in the 5th instar larval of silkworm on the nutritional metabolism and dietary efficiency. 2-Digestion and utilization of dietary crude protein. Sci. of Agric. University Park, , v.12, n.2, p. 72-76, 1986.
- SHIMIZU, I., KITABATAKE, S., KATO, M. Effect of carotenoid deficiency on photo sensitivities in the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Insect Physiol., London, v. 27, p. 593-600, 1981.
- SHIVA KUMAR, C. Effect of temperaure and leaf quality on food and water consumption and utilization in Silkworm, *Bombyx mori* L. In: CONGRESSO DA COMISSÃO SERICÍCOLA INTERNACIONAL, 17., Londrina, 1997. Anais... Londrina: Governo do Estado do Paraná, 1997. Seção 2, p.108.
- SOHN, K.W. Desarrollo x morfologia exterior del gusano de seda. R. Seric. Col., Pereira, n. 16, p.15-20, 1997.
- SLANSKY Jr., F., SCRIBER, J.M. Food consumption and utilization. In: KERKUT, G. A., GILBERT, L. I. Comprehensive insects physiology biochemistry and pharmacology. Oxford: Pergamon Press, v. 4, p.87-163. 1985.
- SILVEIRA NETO, S., NAKANO, O., BARBIN, D. *et al.* Manual de ecologia dos insetos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1976. 41 p.
- SOO HOO, C.F., FRAENKEL, G. The consumption, digestion and utilization of food plants by a polyphagous insect *Prodenia eridania* Craemer. J. Insect Physiol. London, v.12, p. 711-730, 1966.
- TERRA, W.R. Digestão do alimento e suas implicações na biologia dos insetos. In: PANIZZU, A.R., PARRA, J.R.P. Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas. São Paulo: Manole, 1991. p. 67-99.
- TINOCO, S.T. J. , ALMEIDA, R.A.C. Manual de Sericultura. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1992. 59 p.
- TOLEDO, J.O.A. Eficiência da utilização do alimento e desempenho do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.) sob diferentes temperaturas e do manejo de alimentação. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e

- Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1996. 145 f. Tese de Doutorado.
- UEDA, A.S. Theory of the growth of silkworm larvae and its applications. *Jarq*, Tokyo, v. 15, n. 3, p. 180-184, 1982.
- VAN'T HOF, H.M., MARTIN, M.M. The effect of diet water content on energy expenditure by third-instar manduca sexta larvae (Lepidoptera: Sphingidae). *J. Insect Physiol.*, London, v. 35, p. 433-436, 1989.
- VILLEE, C.A., WALKER Jr., W.F., BARNES, R.D. *Zoologia geral*. 6 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 683 p.
- VENDRAMIM, J.D., LARA, F.M., PARRA, J.R.P. Consumo e utilização de folhas de cultivares de couve (*Brassica oleracea* L. var. *Acephala*) por *Agrotis subterranea* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Noctuidae). *Anais da Soc. Entomol. Bras.*, São paulo, v. 12, n.2, p. 144, 1983.
- WALDBAUER, G.P. The consumption and utilization of food by insect. *Adv. in Insect Physiol.*, New York, n. 5, p. 229-288, 1968.
- YANAGAWA, H.A., SHINBO, H., YAMAMOTO, T. Recent studies on low-cost artificial diets and polyphagous silkworm in Japan. In: CONGRESSO DA COMISSÃO SERICÍCOLA INTERNACIONAL, 17., Londrina, 1997. *Anais...* Londrina: Governo do Estado do Paraná, 1997. Seção 2, p.95-98.