



**Centro Universitário de Brasília**  
**Faculdade de Ciências da Saúde**

**FLORES E INSETOS: A ORIGEM DA ENTOMOFILIA  
E O SUCESSO DAS ANGIOSPERMAS**

Cintia Lima

Brasília – 2000

Centro Universitário de Brasília  
Faculdade de Ciências da Saúde  
Licenciatura em Ciências Biológicas

## **FLORES E INSETOS: A ORIGEM DA ENTOMOFILIA E O SUCESSO DAS ANGIOSPERMAS**

Cintia Lima

Monografia apresentada à Faculdade de Ciências da Saúde do Centro Universitário de Brasília como parte dos requisitos para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientação: Prof. Marcelo X. A. Bizerril

Brasília – 2000

“Para que a primeira forma de vida surgisse na Terra, foram necessários milhões e milhões de anos. E a História da vida sobre este planeta tem sido de incessantes transformações de seres animados e inanimados à procura do ponto de equilíbrio, que nunca é atingido porque nada é estático ao longo do tempo.”

(Sinval Neto, em Manual de Ecologia dos Insetos, 1976)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço àqueles que a leram e ajudaram com correções e palpites na realização desta monografia. Um texto sempre é um trabalho difícil de ser finalizado. Um texto para uma monografia carrega a responsabilidade de ser o melhor que você pode fazer, ainda que exista sempre o que possa ser melhorado. Não teria conseguido terminá-lo sem ajudas preciosas como a prestada por Diego Faulhaber, amigo e namorado, e alguém que entende de geologia o suficiente para facilitar minha compreensão sobre o tema. As discussões travadas sobre os diferentes enfoques de um mesmo fato, ele com a sua visão de geólogo e eu com meu ponto de vista de bióloga, ajudaram muito na decisão do tema e da maneira como abordá-lo. Agradeço também ao professor Marcelo da Luz e meu pai, Gilberto, que com tanta dedicação corrigiram as várias versões do texto que preparei. Agradeço, à minha mãe, Ângela, pelo apoio prestado sempre que começo um novo projeto, independente do que seja. Ademais, agradeço à quem conviveu comigo durante a faculdade, e aos colegas formandos. Como numa escala evolutiva, estamos passando pela transição de um período para outro, tendo como evento-marco a graduação como Biólogos. Dentre os registros por nós deixados as monografias serão as que mais exemplificarão este período: pesquisa, dedicação, trabalho, mas por fim orgulho e uma enorme felicidade.

## **Resumo**

As angiospermas são o grupo mais recente e complexo dentre os vegetais. Este grupo abrange as mais variadas e numerosas espécies e tem grande importância econômica, o que torna natural o interesse na sua origem e evolução. A origem das angiospermas no tempo ainda é vaga. Existem registros fósseis de plantas semelhantes desde antes do Período Cretáceo, há 144 milhões de anos, porém o apogeu do grupo acontece durante o Período Terciário, já na Era Cenozóica (Era atual). A flor apareceu como um mecanismo de proteção dos óvulos, que eram consumidos por insetos primitivos. Atrair os animais para que pudessem transportar seus gametas contidos nos grãos de pólen foi outra evolução da flor. Não por acaso, a irradiação adaptativa das angiospermas coincide com a explosão evolutiva de alguns grupos de insetos voadores. Interações de insetos polinizadores e flores são descritas desde o final do Período Cretáceo. Atualmente, existem 250.000 espécies de angiospermas registradas, e mais de 25.000 espécies de insetos dependem do pólen e néctar das flores para sua nutrição.

## ÍNDICE

1 - Introdução .....	1
2 - Estudos em Paleobotânica.....	2
2.1 – Caracterização do estudo Geológico.....	2
2.2 – Fossilização.....	3
2.3 – Dificuldades no estudo de fósseis de angiospermas e insetos.....	4
2.4 – Palinologia.....	5
3 –Vegetais Superiores.....	6
3.1 – Características das Gimnospermas.....	6
3.2 – Evolução das angiospermas.....	8
3.3 – A polinização .....	11
3.3.1 – Biologia da polinização.....	13
3.3.2 – Síndromes de polinização.....	13
3.4 – A flor.....	14
4 – História evolutiva dos insetos.....	16
4.1 – Adaptações evolutivas dos insetos.....	17
5 – Considerações finais.....	19
6 – Referências.....	21
7 – Anexos.....	23

## 1- INTRODUÇÃO

Atualmente, vários são os trabalhos que estudam as relações existentes entre insetos e plantas. A herbivoria é uma destas interações. Alimentar-se de vegetais nem sempre é uma vantagem, visto que esta atividade apresenta certas dificuldades, tais como a localização de espécies particulares entre uma variedade de plantas existentes; a dificuldade em se obter uma ancoragem segura em superfícies lisas das folhas expostas ao vento e à chuva (Edwards & Wratten, 1981), bem como a fixação ou penetração em superfícies rijas, cerosas, peludas ou espinhosas que constituem problemas físicos para compor uma dieta baseada em plantas. Como se não bastassem estes problemas, existem ainda outros que envolvem a relação de custo e benefício entre a energia gasta no consumo e digestão de um vegetal e o valor nutritivo adquirido, que nem sempre será vantajosa para o inseto.

Além da herbivoria, existem outras interações entre insetos e plantas, como a polinização – processo de transferência de grãos de pólen da antera para o estigma da flor; e a insetivoria – relação entre plantas insetívoras e suas presas. Estas interações são verificadas desde eras geológicas passadas, através do estudo e análise de fósseis de insetos e vegetais. A polinização, assunto a qual este trabalho refere-se, é verificada desde a Era Mesozóica – conhecida como “a idade média da evolução da vida” (Guerra & Guerra, 1997).

A Era Mesozóica, que teve duração de 185 milhões de anos, compreende os períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo. Durante esta Era infere-se através de análises paleoclimáticas, uma variação do clima seco e quente no Período Triássico, de um modo uniforme por todo o planeta, até o Período Cretáceo, onde zonas climáticas já se encontravam bem definidas, havendo diferenciação da fauna e da flora (Guerra & Guerra, 1997).

Ao final do Período Cretáceo a flora é constituída por um novo tipo de planta: as angiospermas. Estas plantas tinham flores desenvolvidas e bem adaptadas além de um sistema eficiente de polinização e dispersão de sementes. A polinização de forma

direta e eficiente foi obtida através da coevolução<sup>1</sup> dos insetos em conjunto com as flores. Após o período Cretáceo, com os dinossauros já extintos, houve um aumento no número e diversidade de mamíferos, grandes consumidores de frutos. Com isso, estes animais tiveram grande participação na propagação das angiospermas como agentes dispersores de sementes. Tantas estratégias garantiram a proliferação destas novas plantas. As angiospermas tornaram-se abundantes e, até os dias atuais, são a maior classe taxonômica do *Reino Plantae*.

O objetivo deste trabalho é retratar o ambiente primitivo onde surgiram as angiospermas e sua forma inovadora de reprodução: as flores. As flores surgirão como uma necessidade de proteção ao aparelho reprodutivo da planta. A função atribuída às flores de atrair polinizadores, é secundária na história da evolução destas estruturas, porém foi de maior importância na sua evolução anatômica e funcional.

## **2 - ESTUDOS EM PALEOBOTÂNICA**

A paleobotânica se ocupa do estudo dos restos vegetais fósseis, em geral preservados de forma fragmentária (Ribeiro-Hessel, 1982). Outra definição importante seria a paleoecologia, que engloba o estudo de relações entre o ambiente e a biota de eras passadas, sendo realizado também pela análise de fósseis. A paleoecologia inclui estudos de paleoclima e paleoambiente, entre outros.

### **2.1 - CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO GEOLÓGICO**

O estudo geológico é realizado através de uma escala de tempo onde são expostos os acontecimentos desde a criação do planeta, até os dias de hoje. Estes

---

<sup>1</sup> Coevolução ocorre quando duas populações interagem, ambas sofrendo uma mudança evolutiva. (Ricklefs, 1996).



acontecimentos são marcados como intervalos, associados a eventos orogenéticos<sup>1</sup> e/ou extinções em massa ocorridas. A escala de tempo geológica é composta por Eons, que são divididos em Eras, que por sua vez dividem-se em Períodos e estes em Épocas e estas em Estágios (anexo 1).

Através da lei da superposição das camadas criada por Nicolau Steno em 1669 e do estudo fossilífero encontrado em sucessivos pacotes sedimentares, foi possível separar as camadas do solo e subsolo de acordo com a idade. Com isto em mãos os geólogos puderam colocar os estratos - ou camadas - em uma seqüência cronológica, construindo desta forma a escala de tempo geológico (Salgado-Labouriau, 1996).

Basicamente esta escala retrata as transformações pelas quais o nosso planeta passou desde a sua criação até os dias atuais, bem como os efeitos de tais mudanças ao longo do tempo. Estas informações têm de grande valia para a compreensão da incrível dinâmica que o nosso planeta possui, pois através dos registros de acontecimentos pretéritos é que podemos compreender o que se passa no presente, e possamos prever o comportamento do planeta no futuro.

## **2.2 - FOSSILIZAÇÃO**

A fossilização compreende processos mais ou menos complexos que transformam restos de vegetais e animais em fósseis (Guerra & Guerra, 1997). Entre esses processos, encontra-se a fossildiagênese. A fossildiagênese refere-se aos processos a que estão sujeitos os restos de vegetais e animais, até que se tornem fósseis. Em sua grande parte, a fossilização dos restos vegetais e animais é referente somente aos constituintes mais duros dos organismos tais como: folhas, caule, sementes, pólen e esporos para os vegetais e ossos, conchas e carapaças para os animais. Isto não impede que ocorra também a fossilização das partes moles ou frágeis de ambos os organismos, mas estas ocorrências são muito raras e quando

---

<sup>1</sup> Eventos de transformação da Crosta Terrestre, como terremotos ou o soerguimento de cadeias montanhosas.

encontradas têm importante valia para reconstruções paleoecológicas. Tal fato está relacionado a uma melhor conservação das partes duras ou mais resistentes dos organismos nas rochas sedimentares durante o processo de fossilização. Um organismo ao morrer está sujeito à decomposição, de forma que para este vir a ser um fóssil é necessário que haja um recobrimento rápido para atenuar o processo da decomposição. O processo de decomposição está intimamente associado às características físicas e químicas existentes no local onde tal organismo se encontra. Caso não haja um recobrimento rápido, as partes moles estarão sujeitas a decomposição mais rápida, enquanto que as partes duras, por serem mais resistentes, possuem maior probabilidade de sofrer o processo da fossilização.

### **2.3 - DIFICULDADES NO ESTUDO DE FÓSSEIS DE ANGIOSPERMAS E INSETOS**

As grandes dificuldades encontradas para os estudos de fósseis de angiospermas e de insetos estão relacionadas à sua conservação. A maioria das plantas terrestres macroscópicas proveniente de épocas não paleozóicas são impressões de folhas em rochas, sendo menos freqüentes frutos, sementes e madeira; e muito raro as flores (Ribeiro-Hessel, 1982). As angiospermas, ou plantas com flores e frutos, possuem um registro fóssil terrestre muito escasso, sendo os mais antigos datados do Triássico inferior, referente a fragmentos fósseis (McAllester, 1994). A principal evidência da presença das angiospermas no passado é documentada através do pólen, que é uma estrutura muito resistente composta basicamente por esporopolenina. Em sedimentos do Cretáceo inferior há numerosos registros de grão de pólen, indicando o aumento no número de tais plantas na época. Pólen, esporos e outros palinórfos fósseis ou atuais são o objeto de estudo da palinologia, assunto que será abordado mais adiante neste trabalho.

Quanto aos insetos, seu registro fóssil é dado por conservação em âmbar<sup>1</sup> ou também por impressões nas rochas. Em âmbar conserva-se o inseto como um todo, pois não há substituição de material orgânico por outro tipo de material presente no meio, como sílica. Há somente a conservação, incluindo nisto tanto as partes moles quanto duras do inseto. Nas impressões registra-se somente as partes duras como asas e partes inteiras ou não de exoesqueletos. Raramente observa-se constituintes moles, mas quando encontrados são de grande valor taxonômico.

## 2.4 - PALINOLOGIA

A palinologia é o ramo da botânica que estuda os esporos e grãos de pólen tanto fósseis como atuais e suas diversas aplicações. Além disso, a palinologia estuda também outros microfósseis vegetais resistentes aos mesmos tratamentos químicos utilizados para o pólen e esporos. Dentre eles destacam-se os dinoflagelados, acritarcas, histicosferidos, entre outros microfósseis que são constituídos de esporopolenina (Ribeiro-Hessel, 1982).

A grande importância da palinologia deve-se principalmente a algumas características apresentadas pelos palinomorfos, tais como o tamanho, a quantidade em que são produzidos, à sua complexidade morfológica e a resistência destes organismos à decomposição. Por possuírem pequeno tamanho, os palinomorfos podem ser transportados e facilmente depositados como partículas sedimentares. Eles também são produzidos em grande quantidade, possuindo valor quantitativo; outra característica é que eles podem ser distinguidos com certa facilidade, devido a sua complexidade morfológica e, como característica primordial, os palinomorfos apresentam uma alta resistência à decomposição devido à sua constituição química, facilitando sua preservação como fóssil (Ribeiro-Hessel, 1982).

---

<sup>1</sup> Tipo de resina secretada por vegetais superiores.

### 3 – VEGETAIS SUPERIORES

#### 3.1 - CARACTERÍSTICAS DAS GIMNOSPERMAS

Provavelmente as angiospermas surgiram a partir de gimnospermas. Estas últimas são plantas que possuem caule, sistema vascular e folhas simples e pequenas em geral. A inovação que surgiu junto com as gimnospermas foi a semente. As sementes podem ser consideradas o fator responsável pela dominância de tais plantas sobre o ambiente terrestre. Dominância esta que aumentou gradativamente nos últimos milhões de anos, até chegar ao estágio atual. Grande parte deste êxito advém da capacidade da semente de proteger o embrião e disponibilizar alimento a ele, quando dos estágios iniciais da germinação. Esta vantagem das espermáfitas, ou plantas que produzem sementes, sobre os grupos produtores de esporos como mecanismo reprodutivo, garantiu o desenvolvimento e diversificação destas que hoje constituem o grupo com maior número de espécies identificadas: são 720 espécies de gimnospermas, e 235.000 espécies de angiospermas classificadas.

Os órgãos reprodutivos das gimnospermas são rudimentares em relação aos das angiospermas. Seu óvulo não se encontra protegido por um envoltório, sendo diretamente polinizado (Ribeiro-Hessel, 1982). Delevoryas (1978) cita: “o fato do pólen chegar diretamente aos óvulos torna-as tipicamente gimnospermas”. Os óvulos destas plantas agrupam-se em cones ou estróbilos, assim como os sacos polínicos. A falta de envoltórios para os óvulos facilita a polinização anemófila<sup>1</sup>, tipo de polinização característica das gimnospermas, apesar de algumas angiospermas também serem polinizadas desta forma. A polinização, primeiramente anemófila, aparece então como um dos vários mecanismos que vai aumentar a eficiência da reprodução entre os vegetais que habitavam os continentes.

---

<sup>1</sup> Polinização onde o vetor é o vento.

Polinizar significa: “transportar o pólen da parte masculina para a parte feminina da flor” (Howe & Westley, 1988). Os órgãos reprodutivos feminino e masculino podem existir numa mesma flor, o que facilitaria a fecundação. Porém a autopolinização não é vantajosa geneticamente para a planta como a polinização cruzada. O pólen produzido por uma flor precisaria então de um meio para locomover-se até o estigma<sup>1</sup> de outra. O vento é considerado um vetor para a polinização, e existem outros como a água e animais. Do ponto de vista animal, a polinização é um produto secundário da colheita de um recurso largamente espalhado (pólen e/ou néctar) que é fornecido em diversos tipos de recipientes chamados flores (Janzen, 1980). Porém, a polinização realizada por animais é subsequente à realizada pelo vento, na escala evolutiva dos vegetais.

Nas plantas esporófitas, a água era imprescindível ao encontro dos gametas. As gimnospermas seriam a primeira classe dos vegetais a tornarem-se independentes da água no momento da reprodução. O transporte de pólen por correntes de ar foi uma importante adaptação surgida com as gimnospermas, além da formação de sementes. A conquista da terra firme pelos vegetais aumentou a partir de tais adaptações, que permitiam sua existência longe de pântanos e beira de mares e lagos.

Apesar de ser uma vantagem na historiada evolução, a polinização pelo vento tem desvantagens. É considerada pouco eficiente já que não é precisa. Também é necessário que grandes quantidades de pólen sejam produzidas, uma vez que muitos deles não atingem os óvulos perdendo-se pelo ambiente. Outra desvantagem apresentada seria a distância absoluta entre as plantas que precisa ser curta, e os doadores<sup>2</sup> tem de estar imediatamente adjacentes aos receptores (Janzen, 1980). Ainda assim, as plantas anemófilas desenvolveram mecanismos que aumentaram o grau de eficiência deste tipo de polinização. Sua floração geralmente é primaveril, e o aparecimento das folhas surge após a floração. Assim, a polinização já está concluída quando as folhas passam a ser um obstáculo para o livre acesso do vento. Estigmas grandes e flores com poucas pétalas, ou à distância entre estas muito espaçadas

---

<sup>1</sup> Parte do parêntese reprodutivo feminino da flor, onde os grãos de pólen são depositados.

<sup>2</sup> De gametas.

(flores nuas), são outras adaptações das gimnospermas à polinização realizada pelo vento.

Algumas plantas, além de apresentarem este tipo de polinização, recebiam a visita de insetos oportunistas, provavelmente coleópteros – que são considerados polinizadores primitivos. Estes invertebrados alimentavam-se de partes dos óvulos das plantas, destruindo parcialmente seus sistemas reprodutivos, mas carregavam grãos de pólen após esta ação. Surgia então, na história evolutiva, a entomofilia<sup>1</sup>.

### 3.2 - EVOLUÇÃO DAS ANGIOSPERMAS

No que se trata de mecanismos reprodutivos, as angiospermas são a classe mais adaptada do *Reino Plantae*. As plantas mais primitivas como as algas, briófitas e pteridófitas não produziam sementes e a sua propagação ocorria através de esporos. As gimnospermas foram as primeiras plantas do *Reino* a produzir sementes. Os óvulos destas plantas encontravam-se dispostos a céu aberto, nas junções dos galhos com o caule. A evolução da flor, portanto, pode ser vista como a evolução do método reprodutivo destes vegetais.

As primeiras plantas com sementes apareceram primeiro no Devoniano superior (há 375 milhões de anos). Durante a primeira metade do período Cretáceo (220 milhões de anos atrás), as angiospermas apareceram adquirindo dominância global na vegetação (Raven *et alli*, 1996). Darwin refere-se ao aparecimento aparentemente súbito das angiospermas no registro fóssil como “um mistério abominável”. Os fósseis mais antigos das angiospermas são grãos de pólen de cerca de 127 milhões de anos de idade (Raven *et alli*, 1996). Existem suposições de que “as primeiras angiospermas podem ter desenvolvido-se em terrenos secos onde apenas haveria deposição e, portanto com baixa probabilidade de haver fossilização” (Kurtén, 1968). Outra suposição seria a de que as angiospermas estariam restritas, no início, a áreas elevadas, onde há grande erosão e baixa sedimentação, fornecendo

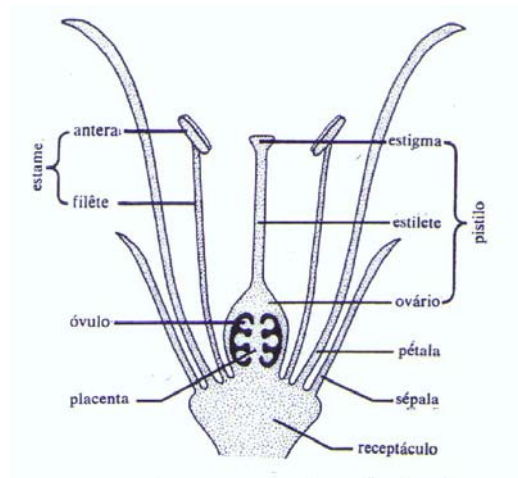
---

<sup>1</sup> Polinização onde o vetor é um inseto.

assim um ambiente pouco propício ao registro fóssil terrestre (McAllester, 1994). Ainda acredita-se que o pólen de angiospermas poderia ser indistinguível do pólen de gimnospermas ou de esporos, o que impediria uma afirmação precisa sobre a datação do aparecimento destas na flora antiga (Howe & Westley, 1988; Raven *et alli*, 1996).

A primeira angiosperma provavelmente não teria muita semelhança com as angiospermas contemporâneas. Elas poderiam ter um carpelo fechado, por exemplo, mas talvez não existisse nada semelhante a uma flor (Delevoryas, 1978). Os carpelos são estruturas presentes nas flores de angiospermas e tem a função de agrupar os óvulos (Figura 1). Após a fecundação, os tecidos do carpelo sofrem hiperplasia, o que originará o fruto. As sementes são o resultado dos óvulos fecundados e ficam encerradas em seu interior.

As suposições sobre as angiospermas mais simples e seu caminho evolutivo baseiam-se em princípio no estudo das flores modernas. Dois grandes grupos dividem os ancestrais das plantas com flores: o primeiro tem como referência um fóssil australiano de 120 milhões de anos. As flores deste grupo continham poucas partes



**Figura 1:** Seção longitudinal de uma flor de angiosperma atual, com todas as suas peças florais. Fonte: Delevoryas, 1978.

florais, como estames<sup>1</sup> e carpelos, e eram frequentemente unissexuais. Pode-se comparar estas flores com a de famílias como a da pimenta-do-reino<sup>2</sup> (figura 2). O segundo grande grupo consiste em plantas com flores grandes, hermafroditas, e com muitas partes livres, tal qual nas magnólias<sup>3</sup> atuais (figura 3).



**Figura 2:** Fóssil e interpretação artística de uma flor de angiosperma antiga, datada de 120 milhões de anos (Raven *et alli*, 1996).

Mesmo sendo a flor a peça mais aparente na evolução das angiospermas outras características destas plantas tornaram-nas um sucesso evolutivo. Os vasos condutores evoluíram fazendo com que o transporte pelo floema fosse mais eficiente. Talvez com maior importância, os sistemas elaborados de polinização e dispersão de sementes, que se tornaram características de plantas com flores, permitiram uma maior distribuição destas plantas sobre os continentes. O hábito decíduo, ou seja, a capacidade de perder as folhas quando há uma situação de adversidade extrema foi

---

<sup>1</sup> Órgão reprodutivo masculino das flores (Soares, 1993)

<sup>2</sup> Família *Piperaceae* (Raven *et alli*, 1996)

<sup>3</sup> Subclasse *Magnoliidae* (Fairbridge & Jablonski *et alli*, 1979).



uma inovação igualmente importante. Segundo Raven (1996), este hábito apareceu em áreas tropicais que experimentavam secas periódicas. As plantas que chegaram as porções mais frias do globo terrestre onde havia falta de água em certos períodos, foram beneficiadas pelo mesmo motivo. Condições extremas do clima já não eram uma barreira intransponível para tais vegetais. Adaptações em relação à química das angiospermas também foram muito importantes contra doenças e contra herbívoros. Estas adaptações deram às angiospermas vantagens seletivas numa época em que o clima do mundo tornar-se-ia cada vez mais estressante (últimos 50 milhões de anos) (Raven *et alli*, 1996).



**Figura 3:** Reconstrução de um ramo florífero e de um ramo frutífero de *Archaeanthus linnenberg*, uma angiosperma extinta muito semelhante às atuais Magnólias. (Raven *et alli*, 1996)

### 3.3 - A POLINIZAÇÃO

Provavelmente, a polinização por insetos impulsionou a evolução e diversificação das angiospermas. O início desta interação deu-se com a atração dos coleópteros pelos grãos de pólen no Período Permiano, seguidos pelos Dípteros, no

final do mesmo período. Os Lepidópteros, Himenópteros e as Aves<sup>1</sup> foram representados desde o Período Jurássico e, por fim, os Quirópteros (morcegos) apareceram durante o Período Terciário (anexo 1). Estes são os principais representantes da zoofilia<sup>2</sup> ainda hoje.

A polinização por animais envolve uma relação antagonista: é necessária para a maioria das angiospermas, pois otimiza a reprodução, porém, os animais têm nas flores uma oferta de alimento, e não raro consomem os seus órgãos reprodutivos. A estratégia adotada por estas plantas então foi a de oferecer algo em troca de suas partes indispensáveis à reprodução, como néctar, e assim garantir uma fertilização segura.

A necessidade da polinização surgiu nas áreas tropicais do globo, após a definição das zonas climáticas ocorrida no Período Cretáceo. Existiam várias espécies de plantas e nem sempre a distância entre exemplares de determinada espécie era a adequada para que houvesse a polinização pelo vento. Os vetores animais tinham capacidades superiores às do vento para a polinização. Eles tinham maior agilidade, realizavam traçados entre plantas semelhantes e também abrangiam diversos ângulos para a realização da troca de grãos de pólen.

As vantagens da polinização feita por animais foram utilizadas com sucesso pelas angiospermas. A coevolução entre espécies de animais e espécies de plantas deu-se de forma intrínseca, uma vez que os animais passaram a ter suas necessidades alimentares satisfeitas pelas flores, que produziam o néctar, substância específica para este fim. As plantas por sua vez, garantiram suas necessidades de reprodução, já que incitaram visitas constantes dos seus polinizadores.

---

<sup>1</sup> Primeiros vertebrados a realizarem polinização

<sup>2</sup> Zoofilia inclui a polinização feita por insetos (entomofilia), por pássaros (ornitofilia) e por morcegos (quiróptero-filia).

### **3.3.1 - BIOLOGIA DA POLINIZAÇÃO**

Entre as angiospermas existe a predominância da polinização por animais. Esta modalidade de polinização envolve quatro fatores, segundo D. Do Carmo (comunicação pessoal): (1) o polinizador precisa ser induzido a fazer visitas periódicas a flores de mesma espécie; (2) o animal precisa permanecer na flor por tempo suficiente para que os grãos de pólen possam aderir a ele; (3) a flor precisa oferecer condições mecânicas favoráveis, no caso dos insetos; (4) o pólen precisa ser preso de maneira firme, a fim de ser transportado para o carpelo de outra flor.

As flores desenvolveram atrativos primários como o néctar, o próprio pólen, e um tipo de óleo que certas flores primitivas produzem, usado exclusivamente como alimento larval por grupos de abelhas (D. do Carmo, comunicação pessoal). Outros atrativos surgiram, também da necessidade de se “cumprir” os quatro fatores essenciais para o sucesso da polinização. Eles incluem os odores das flores, produzidos por glândulas específicas, e as cores presentes nas pétalas.

### **3.3.2 - SÍNDROMES DE POLINIZAÇÃO**

Denomina-se síndrome de polinização o conjunto de características de uma flor que favorece a visita de um determinado agente polinizador. Para adaptar-se aos diferentes tipos de insetos polinizadores, as plantas tiveram que desenvolver várias características na organização de suas flores. Desta forma diferenciam-se as síndromes de polinização por insetos descritas na tabela 1.

Os insetos também desenvolveram mecanismos que tornaram a polinização mais eficiente, uma vez que a coevolução acontece “quando duas populações interagem, ambas sofrendo uma mudança evolutiva” (Ricklefs, 1996). Tais modificações sofridas pelos insetos serão oportunamente descritas no decorrer deste texto.

**Tabela 1** – Síndromes de polinização de visitantes de flores associadas aos diferentes grupos taxonômicos.

<b>Animal</b>	<b>Período de abertura da flor</b>	<b>Cor</b>	<b>Odor</b>	<b>Forma</b>	<b>Néctar</b>
Besouros	Dia/noite	Branca ou pálida	De frutas	Grande e planas, simetria radial;	Geralmente ausente
Moscas	Dia/noite	Marrom ou esverdeado	Fétido	Plana ou profunda, simetria radial;	Rico em aminoácidos, quando presente;
Abelhas	Dia/noite	Variável, mas nunca vermelho somente;	Adocicado.	Plana ou tubular, simetria radial ou bilateral;	Rico em sucrose e hexoses
Mariposas	Noite	Branco ou verde pálido	Adocicado	Profunda, simetria radial;	Rico em sucrose
Borboletas	Dia/noite	Variável, quase sempre com tons de rosa;	Adocicado	Profunda, simetria radial;	Rico em sucrose

Adaptado de Howe & Westley, 1988.

### 3.4 - A FLOR

A flor evoluiu como meio pelo qual as plantas induzem os animais a transportar os gametas masculinos para as células-ovo (Curtis, 1977). De fato, a flor como órgão reprodutivo é mais suscetível à seleção natural que os outros órgãos, que não os florais. Desta forma, qualquer mudança fenotípica nas flores que tornasse a polinização mais eficiente seria logo incorporada pelas plantas.

Cores atraentes e flores vistosas e chamativas têm um único objetivo: convidar os hospedeiros voadores a procurar o néctar e, ao mesmo tempo, induzi-los a realizar a polinização. Este é o verdadeiro sentido das pétalas, dos pigmentos e dos aromas produzidos pelas flores.

As flores mais primitivas eram apenas deposições de óvulos sobre folhas, nos galhos das plantas. As pétalas – folhas modificadas – eram soltas, e não fundidas, e

dispunham-se sobre os galhos de forma espiralada. Insetos oportunistas, provavelmente besouros (família dos coleópteros), passaram a alimentar-se dos óvulos destas plantas. Como as modernas gimnospermas, os gametófitos femininos devem ter produzido gotas pegajosas nas quais os grãos de pólen eram presos e postos para dentro do óvulo (Curtis, 1977). Grãos de pólen de aproximadamente 105 milhões de anos foram encontrados na Suíça, recobertos por uma fina camada viscosa, típica de vegetais polinizados por insetos (Lucírio, 1993). Esta substância pegajosa também pode ter servido de atrativo alimentar para os coleópteros polinizadores. A relação entre insetos e plantas com a finalidade de polinização foi verificada em flores da família das *Bennettitales* e *Gnetales*<sup>1</sup>, a partir do Período Cretáceo (Benton & Harper, 1997).

Como um fator de proteção para os óvulos, que eram parcial ou totalmente destruídos durante as visitas dos insetos, tais plantas acabaram por envolvê-los em folhas, que ficavam ao seu redor. A proteção não era exclusivamente destinada a evitar ataques dos óvulos pelos insetos: a dessecação e o aparecimento de fungos constituíam problemas adicionais à reprodução. Esta medida propiciou aos óvulos mais segurança e acabou por aumentar a capacidade reprodutiva das angiospermas.

Para algumas espécies, a polinização pelos coleópteros foi mais eficiente do que a polinização pelo vento. Isso porque a seleção natural favoreceu as plantas que tiveram polinizadores deste tipo uma vez que, quanto mais atraentes as flores eram para os insetos, mais frequentemente eram visitadas por eles, tornando maior o número de sementes produzidas. Assim sendo, o número de angiospermas logo superou o número de plantas de outras espécies existentes na flora antiga.

A evolução das características das angiospermas foi paralela à evolução do maior grupo de artrópodos<sup>2</sup> (Benton & Harper, 1997), principalmente nas áreas tropicais. O desenvolvimento e distribuição das angiospermas, durante o Período Cretáceo, sofreu um aumento considerável, na abundância das plantas com flores

---

<sup>1</sup> Ordens de gimnospermas datadas do Período Permiano, que existiram até o Período Cretáceo.

<sup>2</sup> Animais pertencentes ao Filo Arthropoda. Neste filo se encontram os insetos, crustáceos, aracnídeos, quilópodos e diplópodos.

(Delevoryas, 1978). Provavelmente este aumento súbito teve várias causas. Dentre elas, a extinção dos dinossauros ocorrida no final do Período Cretáceo, que propiciou o desenvolvimento dos mamíferos, até então representados por animais de pequeno porte. Os mamíferos tornaram-se consumidores de frutos e com isso, dispersores de sementes. Antes disso, a polinização por insetos tornou a reprodução das angiospermas mais eficiente. A diversificação dos insetos acompanhou a diversificação das plantas com flores, fato que pode auxiliar na compreensão de tão “abominável mistério” citado por Darwin, quando se referiu à súbita diversificação das angiospermas.

#### **4 - HISTÓRIA EVOLUTIVA DOS INSETOS**

A evolução dos insetos é um assunto o qual é cercado por diversas teorias. Os seus registros fósseis datam desde o final do Período Devoniano (408 milhões de anos atrás) (Neto *et alli*, 1976; Salgado-Labouriau, 1996).

Através das adaptações sofridas pelos animais ao longo da escala evolutiva, desde a sua mudança da água salgada para a água doce, até chegar à terra firme, os artrópodes são os que obtiveram a melhor resposta evolutiva. Ao alcançarem a terra firme, as duas classes que melhor se adaptaram foram a Aracnida e a Insecta. O fato disso é dado em virtude do surgimento de uma proteção quitinosa que impedia o ressecamento do organismo, bem como ao mesmo tempo conferia ao organismo impermeabilidade, flexibilidade, resistência e leveza (McAllester, 1994).

Outro fator determinante para o sucesso destas classes, foi o desenvolvimento da traquéia (tubos quitinosos ramificados que levam o oxigênio diretamente aos tecidos), que favoreceu uma alta eficácia na oxigenação (McAllester, 1994). Tal eficácia faz com que se obtenha registros fossilíferos, tanto de aracnídeos quanto de insetos, de espécimes com tamanhos descomuns em relação aos atuais.

Neto *et alli* concluem, através de documentações paleontológicas, que os insetos evoluíram a partir de quatro estágios fundamentais. O primeiro estágio seria

referente a exemplos fósseis não dotados de asas, os denominados ápteros. No Período Devoniano (408 milhões de anos) aparecem os primeiros fósseis de insetos dotados de asas, mas sem capacidade de serem utilizadas. Estes insetos receberam o nome de Paleópteros.

Ao final do Carbonífero inferior (360 milhões de anos) o registro fóssil indica a capacidade que os insetos adquiriram para flexionar as asas. Surgem então os Neópteros. No final do Período Carbonífero (286 milhões de anos), os insetos já apresentam uma metamorfose mais intensa, bem como um desenvolvimento alar interno, e recebem assim a denominação de Endopterygota.

Este sucesso adaptativo deu-se pelo surgimento e crescimento de forma gradual das asas, durante alguns milhões de anos de sucessivas ecdises (Neto *et alli*, 1976). Associado a este fato, surgiu também uma nova forma de alimento com os óvulos das plantas primitivas, no início, e posteriormente o surgimento do pólen e do néctar.

Através destas adaptações ao longo do tempo geológico resultam atualmente cerca de trinta ordens de insetos com aproximadamente 900 mil espécies diferentes (Neto *et alli*, 1976).

#### **4.1 – ADAPTAÇÕES DOS INSETOS À POLINIZAÇÃO**

A polinização entomófila iniciou-se com os besouros (coleópteros), porém estes insetos não evoluíram de forma significativa como polinizadores. Isto deve-se ao fato de os besouros possuírem uma dieta variada em seiva, frutos, fezes e cadáveres. Os besouros possuem o olfato bem desenvolvido, sendo atraídos pelas flores que têm forte odor. Com essa atração, os besouros que também se alimentam dos óvulos das flores e dos seus grãos de pólen, acabam por carregar nas peças bucais, acidentalmente, grãos de pólen até outras flores (Raven *et alli*, 1992).

A relação mais intrínseca entre flores e insetos entomófilos ocorre com as vespas, abelhas e moscas, como agente de polinização (Janzen, 1980; Ricklefs, 1996;

Raven *et alli*, 1992). As abelhas formam o grupo mais importante de visitantes florais. Tais insetos possuem peças bucais, pelos e outros apêndices com adaptações especiais para a coleta e transporte de néctar. Um exemplo é que algumas abelhas com hábitos de forrageamento restrito frequentemente possuem adaptações morfológicas e fisiológicas conpíscuas, como cerdas grossas em seu aparato coletor de pólen (para plantas com grãos de pólen grandes) ou bucais alongados (para o néctar de plantas com flores tubulosas) (Raven *et alli*, 1992).

Para algumas flores, tipo Melitófiles, os nectários situam-se na base do tubo da corola, sendo somente possível serem acessados por órgãos especializados, como as peças bucais das abelhas, e não o aparelho mastigador dos besouros. Para isto, tais flores possuem uma superfície plana para o pouso do inseto (Raven *et alli*, 1992).

Outros insetos muito importantes para a polinização entomófila são mariposas e borboletas. Por usarem longas probóscides sugadoras, estes insetos geralmente polinizam flores onde o nectário localiza-se na base do longo tubo floral (Raven *et alli*, 1992). Neste grupo de insetos, há uma variação quanto a adaptação, em se tratando de mariposas grandes e pequenas. As mariposas grandes usualmente não entram nas flores, ficando então pairando defronte a mesma, de forma a inserir o probóscide no tubo floral, enquanto as mariposas pequenas tendem a pousar na flor. Com isto temos uma relação adaptativa quanto ao tamanho da probóscide da mariposa grande para a mariposa pequena (Raven *et alli*, 1992).

A coleta de néctar e pólen por insetos está associada a pequenas, mas importantes modificações de peças bucais, pêlos e outros apêndices. Estes geralmente estão ligados a uma determinada especiação entre inseto e planta. Mas como regra geral, o desenvolvimento de tais adaptações em locais específicos no corpo dos insetos convergem para o mesmo propósito: ao visitar uma flor para se alimentar, sejam carregados grãos de pólen.



## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coevolução pode ocorrer entre duas espécies, qualquer que seja a relação entre elas. Parasitas e hospedeiros, predadores e presas, todos eles desenvolvem características que os tornem mais eficientes em seu nicho ecológico. O mutualismo é por definição “uma relação entre duas espécies que beneficia ambas” (Ricklefs, 1996). Espécies que participam de interações mutualísticas altamente específicas freqüentemente possuem adaptações refinadas umas com as outras e com isso, “as conseqüências da coevolução, estritamente definida, são mais evidentes em pares de espécies que interagem fortemente” (Futuyma, 1992).

Relações que envolvem insetos que transportam pólen entre flores são classificadas como “mutualismo dispersivo” (Ricklefs, 1996), pois existe a recompensa por este transporte, que seria o néctar. A dispersão de sementes também seria classificada desta forma, já que os frutos trariam vantagens nutricionais aos que se alimentam dele. Relações deste tipo surgiram com as angiospermas e as necessidades que estas plantas tinham.

De fato, o aparecimento das angiospermas causou diversas alterações no meio primitivo. Não só na flora, como na fauna. Salgado-Labouriau (1996) cita a hipótese de que o desaparecimento dos dinossauros pode ter alguma relação com o surgimento das plantas com flores. O crescimento e expansão destas resultou na falta de comida para os dinossauros, que eram acostumados a uma dieta rica em óleos essenciais oferecida pelas gimnospermas. Os animais herbívoros então foram perecendo, e com eles todo o restante da cadeia alimentar que mantinham. As datas de tais processos coincidem: o desaparecimento dos grandes répteis ocorreu no final do Período Cretáceo, época em que o domínio das angiospermas teve impulso. O desenvolvimento dos mamíferos também pode ter tido influência no fim da era dos dinossauros, ainda segundo Salgado-Labouriau (1996). Eles teriam conseguido novas formas alimentares com os frutos, e com isso, cresceram em número e tamanho, passando a pregar ovos de dinossauros. Essas hipóteses não foram comprovadas e a coincidência das datas não basta para corroborar tais idéias.

O aumento progressivo da diversidade das angiospermas está diretamente ligado à origem e a diversificação de grupos de insetos, como lepidópteros e himenópteros (Benton *et alli*, 1997; Salgado-Labouriau, 1996). Ainda que algumas angiospermas tenham mantido a polinização anemófila, a evolução do grupo se deu após o desenvolvimento das relações entre as flores e os polinizadores. Também pode ser comprovado este fato com o surgimento das angiospermas nas regiões tropicais do planeta: é onde a presença de insetos é mais freqüente, propiciando a polinização por estes animais.

A relação entre insetos e angiospermas gerou, e ainda tem gerado uma tal variedade de formas e hábitos, com enorme grau de interdependência e complexidade, que constitui um nítido exemplo da grande invenção que a evolução e a coevolução, a partir de estoques genéticos distintos, podem oferecer.

## 6 - REFERÊNCIAS:

- Benton, M. & Harper, D. 1997. *Basic Palaeontology*. Ed. Longman. Hong Kong.
- Curtis, H. 1977. *Biologia*. 2ª ed. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro.
- Delevoryas, T. 1971. *Diversificação nas Plantas*. Ed. Pioneiras. São Paulo.
- Edwards, P. J. & Wratten, S. D. 1981. *Ecologia das Interações entre Insetos e Plantas*. Ed. E.P.U. São Paulo.
- Fairbridge, R. W. & Jablonski, D. 1979. *The Encyclopedia of Paleontology*. Printed Dowden, Hutchinson and Ross. Stroudsburg, Pensilvânia.
- Futuyma, D. J. 1992. *Biologia Evolutiva*. Ed. Sociedade Brasileira de Genética/CNPq. Ribeirão Preto – São Paulo.
- Guerra, A.T. & Guerra, A. J. T. 1997. *Novo Dicionário Geológico-geomorfológico*. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.
- Howe, H. F. & Westley, L. C. 1988. *Ecological Relationships of Plants and Animals*. Oxford University Press. New York.
- Janzen, D. H. 1980. *Ecologia Vegetal nos Trópicos*. Ed. E.P.U. São Paulo.
- Kurtén, B. 1968. *Introducción a la Paleontología*. El Mundo de los Dinosaurios. Ed. Guadarrama S.A. Madrid.

Lucírio, I. D. 1993. Flor, a folha que subiu na vida. *Superinteressante*. Ano 6 (5):70-73.

McAllester, A. L. 1994. *História Geológica da Vida*. 5ª reimpressão. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo.

Neto, S. S.; Nakano, O.; Barbin, D.; Nova, N. A. V. 1976. *Manual de Ecologia dos Insetos*. Ed. Ceres. São Paulo.

Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. 1992. *Biologia Vegetal*. 5ª ed. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro.

Ribeiro-Hessel, M. H. 1982. *Curso Prático de Paleontologia Geral*. Ed. Da universidade – UFRGS. Porto Alegre.

Ricklefs, R. E. 1996. *A Economia da Natureza*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro..

Salgado-Labouriau, M. L. 1996. *História Ecológica da Terra*. 2ª ed. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo.

Soares, J. L. 1993. *Dicionário Etimológico e Circunstanciado de Biologia*. Ed. Scipione. São Paulo.