

AULA 5

BIOMETEOROLOGIA VEGETAL

5.1 INTRODUÇÃO

Nos vegetais, desde que estes saíram do meio aquático para o meio terrestre, foram selecionadas modificações em suas estruturas anatômicas e morfológicas, bem como na sua própria fisiologia para se adaptarem à rigidez deste novo ambiente. Quanto mais afastados do meio aquático, mais agressivo se torna o ambiente, por motivos óbvios, como extremos de temperatura e perda de água.

Plantas crescendo em diferentes habitats mostram estruturas anato-morfológicas especiais normalmente interpretadas como adaptações evolutivas às condições específicas deste habitat. Mas é necessário observar que diferentes plantas mostram diferentes estruturas mesmo crescendo em um mesmo nicho ecológico e diferentes plantas, crescendo em nichos diferentes podem mostrar mesmas estruturas.

Nesta aula ser visto a influência do tempo e clima sobre a fisiologia, anatomia e morfologia das plantas, pois nestes organismos esta influência , mais fácil de se observar e reconhecer (especialmente as anato-morfológicas), já que estes não podem se locomover. Muitos estudos foram efetuados na flora natural e nas espécies cultivadas (Agrometeorologia).

5.2 EFEITO DOS PRINCIPAIS FATORES METEOROLÓGICOS.

O principal parâmetro para a sobrevivência dos vegetais , a água, já que cerca de 80% do seu peso (peso fresco), constituído deste elemento. Sua ausência afeta o crescimento, desenvolvimento e a reprodução. As substâncias dissolvidas na água determinam a pressão osmótica, de importância vital para a absorção de mais água e para o seu crescimento.

O segundo fator é a temperatura; as oscilações desta afetam a atividade enzimática que por sua vez afeta todos os demais fatores. Os efeitos da temperatura variam com a idade, conteúdo hídrico, estado nutricional, histórico de temperaturas precedentes ("degree days") e níveis de energia solar incidente.

O terceiro fator é a radiação solar, extremamente relacionada ao fator acima. Sua distribuição afeta o crescimento e a reprodução no fenômeno chamado fotoperiodismo além, claro, da fotossíntese.

O quarto fator é o vento. Este afeta a planta quando sua intensidade produz dessecação ou perda intensa de calor para o ambiente.

A altitude pode ser considerada, segundo alguns autores, como um quinto fator, na verdade como uma somatória dos fatores acima.

5.3 RADIAÇÃO SOLAR.

Um dos mais importantes modos de transferência de energia entre os organismos e seu ambiente é a radiação eletromagnética. A energia radiante é transferida pelos fótons. Os fótons que atingem a Terra são provenientes da reação de fusão nuclear que ocorre dentro das estrelas, incluindo o nosso Sol.

A energia radiante emitida por unidade de área de um corpo negro (radiador) pode ser calculada, pela lei de Stephan-Boltzmann, como $\Phi = \sigma T^4$, onde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, T em Kelvin e Φ , a densidade do fluxo emitido.

A Terra pode ser considerada, aproximadamente, como um corpo negro emitindo a 288 K (cerca de 15°C). O Sol pode também ser considerado um corpo-negro emitindo 73 MW/m² na superfície solar ou cerca de 6 000 K, com um pico de emissividade de 0.483 μm (comprimento de onda máximo). Para corpos-cinza (a maioria das superfícies naturais) há uma emissividade $\epsilon = 0.90$ a 0.98 ($\epsilon\sigma T^4$). No corpo negro $\epsilon = 1.0$.

Já a atmosfera terrestre funciona como um filtro deste "continuum" do espectro solar (fig.5.1). Portanto somente alguns determinados comprimentos de onda (λ) atingem a superfície da Terra, A alta atmosfera "bloqueia" os raios X e γ (a maior parte) O ozônio (O₃) absorve o ultravioleta (de 0.29 a 0.32 μm , o UV-B, cancerígeno) e o vapor de água junto ao CO₂ absorvem parte do infravermelho.

O solo, a vegetação e a água alteram a composição espectral da radiação com suas diferenças de absorção, reflexão e transmissão. Obviamente nós vemos as cores destes locais que são refletidas. O espectro de absorção e reflexão de folhas e alguns animais são mostrados na figura 5.2. O verde das folhas resulta na baixa absorção desta cor em relação ao azul e vermelho. A baixa absorção do infravermelho da folha resulta na redução do superaquecimento desta.

Para se estimar o balanço de energia incidente em um organismo deve-se estimar a densidade do fluxo em 3 fluxos radiantes: o direto (perpendicular), a irradiância difusa (proveniente do céu e nuvens) e a refletida pelo solo. A média da refletividade superficial é chamada albedo. Ver tabela 5.1.

TABELA 5.1

Superfície	Albedo	Superfície	Albedo
grama	0.24	floresta decídua	0.18
trigo	0.26	floresta de Coníferas	0.16
milho	0.22	pântano	0.12
abacaxi	0.15	solo seco	0.32
cana-de-açúcar	0.15	média da Terra	0.30

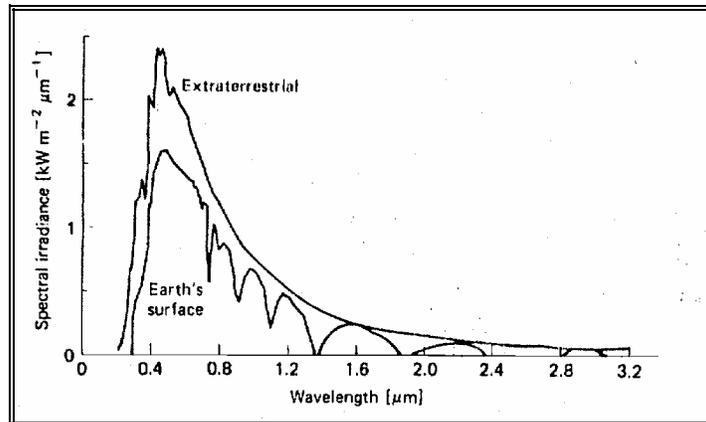


Figura 5.1. Irradiância espectral acima e abaixo da atmosfera da Terra. A absorção do UV é feita pelo ozônio e o IV pelo vapor d'água.

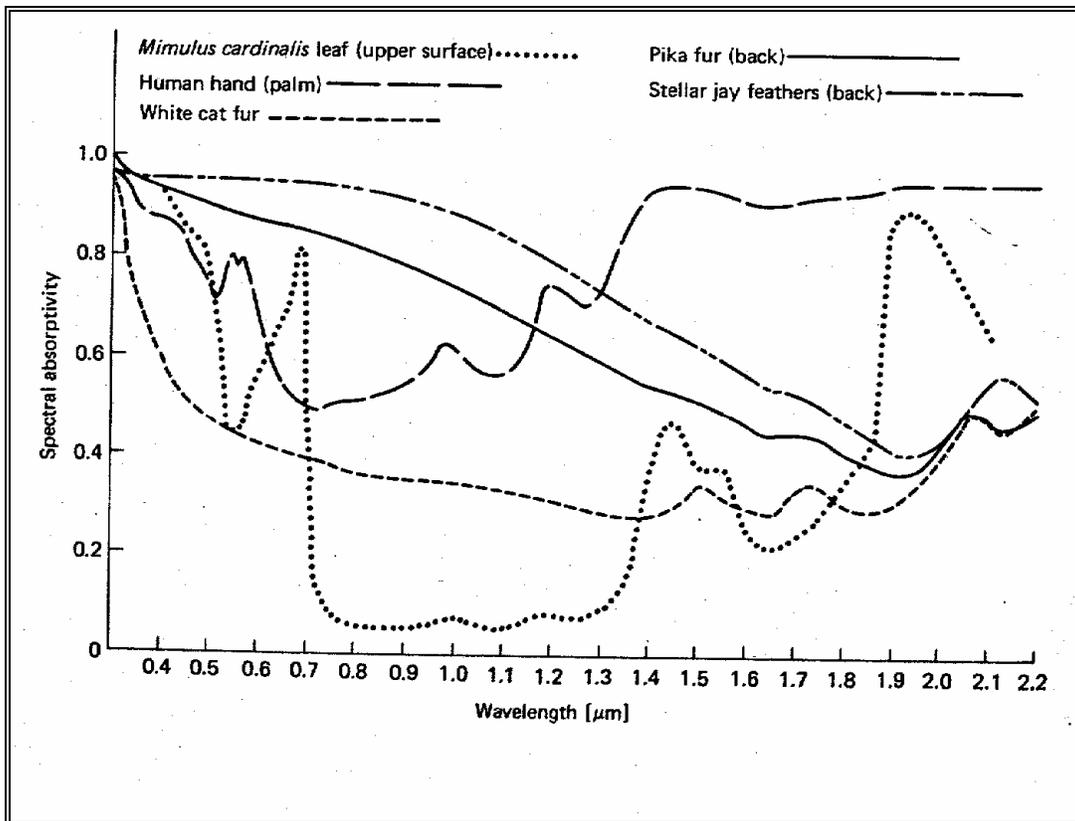


Figura 5.2. Absortância espectral de algumas superfícies naturais como função do comprimento de onda. *Mimulus*, a mimosa, palma da mão humana, pelos e penas.

A radiação solar, além de aquecer e movimentar a atmosfera terrestre, possui efeitos diretos nos seres vivos. Os efeitos biológicos dependem do seu λ nas três principais regiões do espectro : infravermelho (IV), o ultravioleta (UV) e a luz visível, sendo esta última analisada na fotossíntese a seguir. O IV curto é evitado pelas folhas, como podemos verificar pela figura 5.2, sendo refletido para preveni-las de um superaquecimento. Para plantas polares, da tundra, há a situação inversa. O UV, por outro lado, é evitado por todos

ecossistemas vegetais, pois degenera a clorofila, incluindo as biota da tundra, onde o UV é fortemente refletido pela neve.

5.3.1 Fotossíntese. : dada em aula.

5.4 OS EFEITOS TÉRMICOS.

A radiação solar incidente sobre o vegetal atua de três formas:

- i) pelo aumento da vibração das moléculas (conseqüentemente aumentando a temperatura), onde a transferência deste calor se dá através da convecção (mais rápida), condução (célula a célula, molécula a molécula) e radiação eletromagnética.
- ii) pela evaporação da água onde há transferência de massa através dos estômatos e cutícula. Esta transferência para a atmosfera é a responsável, também, pelo resfriamento (transferência de calor) da planta.
- iii) reações fotoquímicas, como a fotossíntese (cerca de 1% da radiação incidente).

Portanto, o estímulo térmico é resultante direto da radiação solar, mas depende de outros fatores, também, tais como a umidade relativa, velocidade do vento, etc.

As plantas, diferentemente dos animais homeotérmico, são incapazes de controlar sua temperatura interna nos tecidos e células no ótimo para o seu metabolismo. Devido a isto, o crescimento, o desenvolvimento e outras atividades fisiológicas são muito afetadas pelo meio externo.

Entretanto, é difícil estabelecer relações precisas entre os processos fisiológicos e o meio ambiente por causa da extrema variação da temperatura do ar. Por exemplo, a temperatura de uma folha depende de:

- i) hora do dia- variação diária da temperatura.
- ii) mês do ano- variação sazonal.
- iii) nebulosidade e velocidade do vento, irregular e de pequena duração.
- iv) posição no dossel: folha de sol e de sombra.
- v) altura acima do solo.
- vi) dimensões, forma e características anatômicas da própria folha.

Conseqüentemente, o dossel foliar é um complexo mosaico de flutuações de temperatura que dificulta o estudo do seu campo, como veremos adiante em 5.5.5.

As atuais investigações levam em conta a média, a máxima e a mínima temperatura e a quantidade de calor acumulado em um determinado período de tempo. Cada folha parece ter um ótimo crescimento em determinadas temperaturas, aonde elas atingem a taxa de fotossíntese maior, geralmente ao redor de 20-30°C, com um mínimo ao redor de 0°C e um máximo entre 40-42°C, onde não há compensação da fotossíntese com a respiração, prejudicando o vegetal. Estes são valores médios, dependem do ecossistema na qual a planta vive. As baixas temperaturas podem "dessecar" ou até congelar as células de plantas não adaptadas à climas frios, enquanto que as altas temperaturas podem degenerar as proteínas e enzimas.

5.5.1 Balanço de energia na folha.

Quando a folha é iluminada, ela absorve entre 20% a 95% da radiação incidente, dependendo do comprimento de onda e da sua morfologia (forma, presença de pelos ou tricomas, Tc), bem como de sua coloração. Uma parte mínima, já mencionada (1%), será utilizada na fotossíntese, enquanto que o resto irá se transformar em calor ou atravessará a folha. A presença de água equilibra a elevação da temperatura, com conseqüente balanço de calor:

$$Q_{\text{abs}} = Q_{\text{rad}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{trans}}, \text{ onde}$$

Q_{abs} = quantidade de energia absorvida pela folha.

Q_{rad} = quantidade de energia perdida (irradiada) pela folha = $\epsilon\sigma T^4$

Q_{conv} = quantidade de energia perdida por convecção ou condução = $\frac{k(u)^{1/2}(T_s - T_a)}{d}$

onde k = uma constante.

u = velocidade do vento.

d = diâmetro foliar.

T_s = temp. da folha.

T_a = temp. do ar.

Q_{trans} = energia perdida por transpiração do vapor de água = $\frac{L\rho_{vs}(T_s) - UR\rho_{va}(T_a)}{r_v}$

onde L = calor latente de vaporização.

ρ_{vs} = densidade de saturação. do vapor na folha.

ρ_{va} = densidade. de saturação. do vapor no ar.

UR = umidade relativa do ar.

r_v = resistência de difusão do vapor na folha.

5.5.2 Adaptações das plantas e resistência às baixas temperaturas.

O primeiro efeito das baixas temperaturas é a redução das taxas de crescimento (como veremos adiante na análise qualitativa de crescimento) e de processos metabólicos. Um resfriamento de 0° a 10°C de plantas tropicais levam a uma queda metabólica rápida e até a morte em poucas horas. Há uma hipótese de que o resfriamento cause danos na mudança de fase da membrana lipídica resultando na inativação das enzimas das membranas, afetando, por sua vez as mitocôndrias, e daí a todos processos químicos da célula. As plantas de clima temperado possuem ácidos gordurosos insaturados nas membranas lipídicas, mantendo-as "líquidas" em baixas temperaturas.

O congelamento do meio intracelular pode levar as células a morte por dessecação ou por esmagamento devido ao aumento do volume ocupado pelo gelo. O gelo, devido ao fato de "absorver" vapor de água mais rapidamente do que a própria célula, pode então desseca-las.

Uma das características das plantas árticas e alpinas é a presença de pigmentos, como a antocianina (vermelho a púrpura) na epiderme e até, no mesófilo. O efeito combinado destes pigmentos e da clorofila podem produzir um púrpura bem escuro até o preto, absorvendo assim mais calor, sendo que cerca de 4°C mais quente que uma folha verde, oferecendo assim, uma proteção à própria clorofila, sensível às baixas temperaturas. Além de proteger dos raios ultravioletas, comuns nestas regiões.

A resistência da planta ao frio é primeiramente a resistência à formação de gelo intracelular. Uma primeira "linha de defesa", de tanto plantas herbáceas como lenhosas, é uma simples diminuição do ponto de congelamento da água no vacúolo e citoplasma, contendo soluções de açúcares e sais mais concentradas. Halófitas (plantas de regiões salobras), especialmente de regiões árticas, podem ter seu ponto de congelamento abaixado até -14°C.

Há plantas que toleram baixas temperaturas, acomodando grandes quantidades de gelo no apoplasto (tipo de parênquima lacunoso) sem causar destruição nos tecidos subjacentes (ex. *Camellia* sp.).

Uma das adaptações morfológicas que as folhas de ambientes frios possuem são suas formas aciculadas ou de agulha (comuns nas Gimnospermas, especialmente nas Coníferas). A perda de calor na acícula é bem menor que nas folhas largas e lobadas das plantas tropicais. Se as plantas possuem folhas grandes (ex. o plátano), elas se tornam caducifolias (as perdem no inverno). A acícula "diminui" os efeitos do ar turbulento (com maior perda de calor) afastando a camada limite (transição do fluxo de ar laminar, próximo à superfície foliar, para o turbulento) da folha, como veremos também adiante, em 5.5.

5.5.3 Adaptações e resistência às altas temperaturas.

Os tecidos foliares dissipam calor pelas três formas já mencionadas: emissão de radiação eletromagnética (de onda longa), por convecção e pela transpiração, sendo esta a mais eficiente. Conseqüentemente, as altas temperaturas nas plantas são devido a cessação da transpiração causada pelo fechamento do estômato devido ao déficit hídrico. Esta combinação, o maior desafio às plantas de ambientes desérticos.

Certas espécies crescem em habitats desérticos possuindo folhas pequenas e secas, reduzindo os danos do excesso de calor e perda de água. Outras se defendem, perdendo toda a água e deixando as sementes para a nova geração protegidos dentro de estruturas de reprodução hermeticamente fechadas. Entretanto, algumas evitam o "stress" hídrico e térmico reduzindo a quantidade de energia solar incidente absorvida pelo vegetal. Estas plantas tem alto coeficiente de reflexão ou albedo, como um arbusto do deserto, a *Encelia farinosa*, exibindo um dimorfismo sazonal, com folhas brancas na estação seca (devido à produção de cêras) e verdes na chuvosa. Outras adaptações são o ângulo do pecíolo (para diminuir a radiação direta ou perpendicular) e folhas pregueadas juntas ou ainda a abscisão foliar na estação seca e quente. A existência de espinhos é uma excelente adaptação foliar.

Há ainda as plantas C4 que toleram mais o calor que as C3, resistindo até a 60°C. As diferenças entre ambas estão citadas em aula complementar.

Outra adaptação é a formação de folhas grossas e suculentas ou folhas esclerófilas (duras e suculentas). Em *Opuntia* sp., uma planta sempre verde e suculenta, a temperatura da superfície foliar pode alcançar 65°C. O parênquima aquífero, portanto, ajuda no

controle do "stress" térmico, devido ao alto calor específico da água, no interior foliar, sem sair pelos estômatos.

A presença de tricoma na lâmina foliar pode servir tanto para aumentar o albedo como para "reter" uma camada de ar úmido entre a cutícula e a sua estrutura (fig.5.3), protegendo a planta tanto do excesso de calor como de frio.

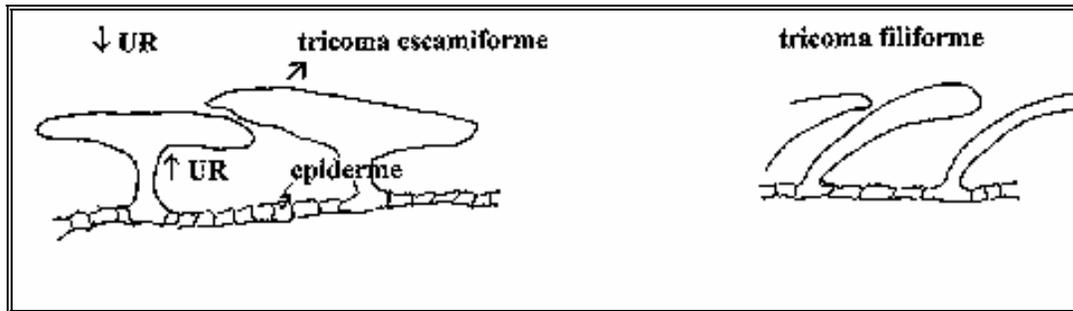


figura 5.3. Corte transversal de dois tipos de tricomas

Estes tricomas (ou "pêlos") são formados por um crescimento das células epidérmicas em forma de pontas, geralmente. Podem existir em todas as partes da planta, inclusive até em estames e sementes. Podem ser constituídos de uma única célula ou de muitas células. Variam entre 0.01 mm até 8 mm (*Geranium* sp.). Estão presentes em todas as Angiospermas.

5.5.5. A temperatura foliar.

Parte dada em aula.

Vogel, em 1984, estudou a dissipação de calor de chapas de cobre expostas a baixas velocidades do vento, todas com mesma área, mas com diferentes formatos (lobadas, estreladas, em forma de plátano, carvalho etc.), a 15°C mais quentes que o ar, medindo sua "perda" de calor. Os resultados indicaram a hipótese de alguns ecologistas que a forma das folhas podem representar uma adaptação ao seu habitat, mas é necessário mais estudos aprofundados. É óbvio que a acícula de um pinheiro "perde" menos calor para o ambiente que a folha de um guaimbê, esta folha pode representar uma melhor adaptação à ambientes quentes tropicais quentes e úmidos, perdendo mais calor e vapor-de-água, devido ao aumento da turbulência, embora haja muitas outra variáveis, tais como, competição e doenças, mascarando uma possível comparação.

5.5.5 O efeito térmico no crescimento dos vegetais.

Examinando uma curva hipotética de crescimento de um vegetal, expressa em termos de pêso seco ou altura do caule, temos a figura 5.5:

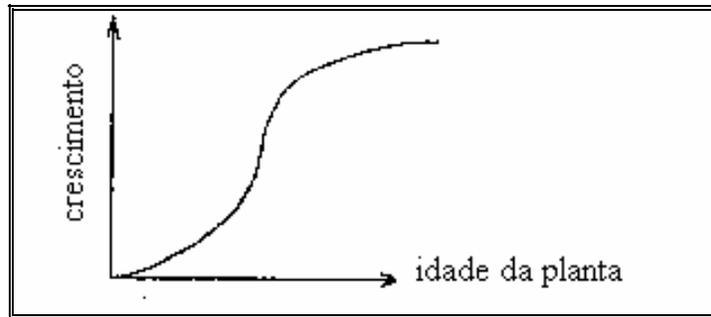


figura 5.5. Curva de crescimento de um vegetal hipotético.

A interpretação fisiológica destas diferentes fases do crescimento é a seguinte: no início, a planta depende das reservas da semente para a produção da plântula, emergência das folhas, os processos anabólicos, dependentes da fotossíntese se traduzem pelo aumento do crescimento, atingindo o tamanho definitivo, a planta inicia a fase de senescência, que se reflete, no começo, pela paralisação da produção de matéria orgânica.

A análise do crescimento destina-se à avaliação da produção líquida das plantas, derivada do processo fotossintético, particularmente, importante para a agricultura. A quantidade de tecido metabolicamente ativo é chamado de *biomassa*, embora algumas partes da planta não possam ser consideradas tecidos vivos (ex.: xilema e a periderme).

Os fatores ambientais são preponderantes para o crescimento e desenvolvimento do vegetal, especialmente a radiação solar e a temperatura. Para medirmos as suas influências temos que definir alguns parâmetros. Primeiramente, a *taxa de crescimento relativo* (TCR); este valor resulta na contribuição de dois outros componentes. O primeiro se refere à taxa de maior crescimento por unidade de tempo e por unidade de *área foliar* (TAA) e o segundo é definido pela relação de área foliar e o peso seco da planta, chamado de *razão de área foliar* (RAF), portanto:

$$TCR = TAA \cdot RAF$$

onde TAA (taxa de assimilação aparente) := $\frac{dP}{dt} \times \frac{1}{A}$

com RAF = A/P

No intervalo de tempo de t_1 até t_2 , temos que o valor médio de RAF:

$$RAF = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{A}{P} dt \quad \text{e} \quad TAA = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P}{A} dt$$

O índice TAA depende tanto da radiação solar incidente como da temperatura. O auto-sombreamento pode afetar este índice, diminuindo-o. O aumento da temperatura diminui TAA devido indiretamente a este sombreamento (maior número de folhas), mas

aumenta o RAF, maior área por peso seco. A radiação solar, por sua vez, faz o inverso, devido à fotossíntese, aumentando o peso seco.

Ao longo do tempo, o TAA possui a seguinte curva na figura 5.6 abaixo, onde N= conteúdo protéico, A=área foliar e P=peso seco foliar.

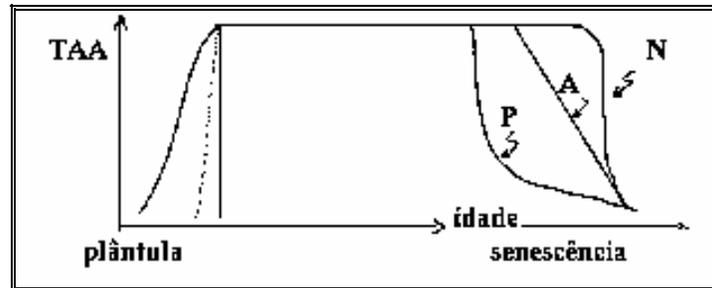


figura 5.6. Taxa de assimilação aparente em função da idade de um vegetal hipotético.

A temperatura afeta o crescimento foliar, também, como na planta toda, o crescimento atinge um ótimo e depois declina. Este ótimo de crescimento não é muitas vezes claro e também não é válido para todas as dimensões da folha (vide figura 5.7)

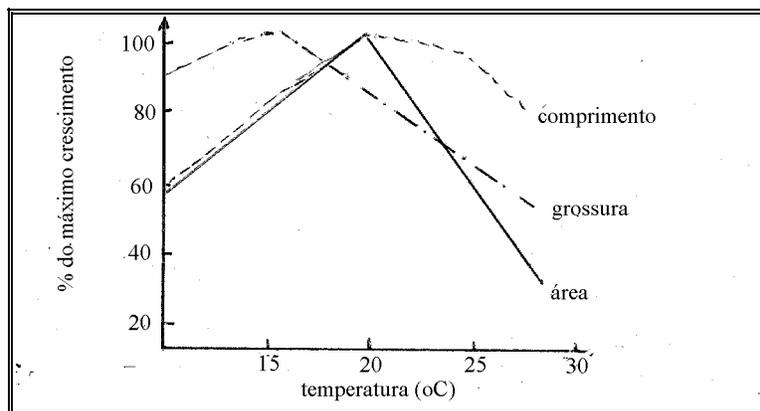


figura 5.7 Relações entre temperatura e crescimento foliar no trigo.

5.5.6. Efeito térmico na dormência e germinação.

Dormência e germinação são dois processos que capacitam as plantas a sincronizarem o desenvolvimento tanto com o ambiente como entre os membros de uma mesma população. Dormência é um período em que o crescimento é suspenso ou reduzido, freqüentemente quando as condições meteorológicas são adversas. Ocorre em sementes da maioria das espécies, em alguns órgãos subterrâneos de reserva, como no caso dos bulbos e em gemas da maioria dos arbustos e árvores perenes.

O termo germinação tem sido aplicado ao brotamento dos esporos de bactérias, fungos, briófitas (musgos) e pteridófitas (samambaias) ao crescimento em grãos-de-pólen no estigma e mesmo à emergência de alguns animais unicelulares encistados.

O crescimento das plantas está restrito às delicadas regiões *meristemáticas* (tecido não diferenciado, muito jovem) na maioria das vezes localizados nas pontas dos ramos e raízes. As células destas regiões são caracterizadas por terem intensa atividade metabólica e paredes finas. Estas regiões frágeis mostram ciclos de atividade e dormência, particularmente onde a queda de temperatura ou seca possa danificar estes tecidos. Certas árvores, como o plátano e o carvalho seriam rapidamente mortas se o tecido tivesse crescido ativamente durante o inverno. Dormentes, elas resistem inclusive até -80°C (tabela 5.2).

TABELA 5.2

Espécie	Limite (°N)	Temp. Mínima (°C)	Resistência (°C)
<i>Quercus</i>	32	-4 a -8	-7 a -8
<i>Magnolia</i>	35	-9 a -16	-15 a -20
<i>Salix</i>	48	-32 a -34	<-80
<i>Betula</i>	60	< -46	<-80

Mesmo as plantas tropicais e subtropicais apresentam padrões de crescimento cíclicos e possuem gemas de repouso, como é o caso das espécies de cerrado para evitar a estação desfavorável, no caso, a seca. Até em plantas de clima úmido, como o cacau, há períodos de crescimento esporádico e repouso levando 2 a 8 semanas por ciclo.

A dormência é comum em sementes de plantas, "selvagens", capacitando-as à sobrevivência. Na maioria das plantas cultivadas (milho, trigo, feijão, etc.) não apresentam dormência prolongada. Estas sementes são chamadas *quiescentes*, no sentido de distingui-las das verdadeiras sementes dormentes; nas quiescentes os fatores que impedem a germinação são invariavelmente exógenos, como ausência de água e temperatura inadequada. Assim que se estabeleça as condições necessárias, há germinação.

Sementes verdadeiramente dormentes não germinam nem mesmo colocadas em condições ótimas, a menos que sinais ambientais ou fatores que quebram a dormência sejam percebidos. Tipos comuns de sementes dormentes são as leguminosas de casca dura como a *Caesalpinia* (Pau-brasil) ou uma camada de cera à prova d'água (flamboyant). Em alguns casos, particularmente, nas Papilionáceas, a entrada de água é controlada por uma pequena válvula no hilo (da semente). Esta válvula se abre apenas quando a UR é menor que a da semente, assim esta perde mais água (*Lupinus arboreus*).

A escarificação é o método utilizado para a germinação, através de ataques de fungos, bactérias, pH do solo ou a ingestão por animais.

Muitas sementes precisam de exposição a uma temperatura crítica, às vezes por um longo período, antes de serem capazes de germinar. Esta temperatura, usualmente baixa, não está relacionada com a temperatura ótima para a germinação, mas é requerida para a quebra da dormência. Exemplo de espécies herbáceas (*Aster* sp. e *Adonis* sp.) ex. de lenhosas (*Pinus* sp., *Vitis* sp., *Malus* sp., *Rosa* sp., *Fagus* sp. *Pyrus* sp. e *Betula* sp.).

- para a cereja (*Prunus* sp.) é de 5°C a temperatura crítica.
- para a *Rosa multiflora*, 2 meses de 5° a 10°C.
- para a *Rosa rubiginosa*, 6 meses a 5°C.

Nos pêsegos, 23° a 27°C, nos primeiros 7 dias causam nanismo, entretanto, resfriamento posterior de 5 °C, anulam esta condição. Maçãs necessitam, por sua vez, necessitam de baixas temperaturas, ver figura 5.8:

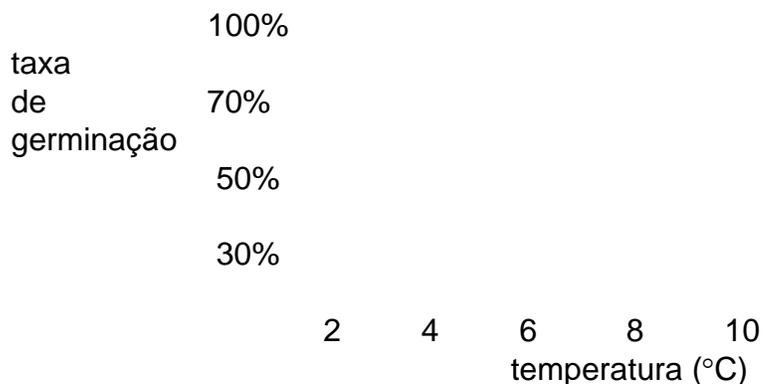


figura 5.8 . Taxa de germinação de pêsegos após 85 dias de armazenagem.

A longevidade de uma semente depende de vários fatores. E pode ser escrita empiricamente, na forma:

$$L_p = K - C_{1m} - C_{2t}$$

onde p= é a meia vida da semente, K, C₁e C₂ são constantes de acordo com a espécie, 1 em termos de umidade e 2 em termos de temperatura (m=UR e t=°C).

A umidade parece ser mais importante do que a temperatura, para muitas sementes, p.ex.: em *Trifolium* sp. (trevo) são viáveis por 3 anos a 6% de UR e 38 °C e somente por 3 meses a 12% e 30°C. Algumas espécies, no entanto, permanecem viáveis por muitos anos se mergulhadas me água (7 anos no caso dos juncos). O recorde de longevidade é talvez de uma leguminosa de casca dura, *Nelumba nucifera*, que por datação de C¹⁴ deve possuir mais de 2000 anos, encontrada nas tumbas dos faraós.

Exemplo de plantas com uma temperatura ótima para a germinação:

Espécie	T (mínima)°C	T (ótima) °C	T (máxima)°C
<i>Zea mays</i> (milho)	8-10	32-35	40-44
<i>Oryza sativa</i> (arroz)	10-12	30-37	40-42
<i>Nicotiana tabacum</i>	10	24	30
<i>Cucumis melo</i> (melão)	16-19	30-40	45-50

5.5 A DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Este fator oscila muito, tanto no solo como na própria atmosfera, sendo este fator um dos principais parâmetros que afetam o desenvolvimento dos vegetais, especialmente a folha e sua epiderme. Observar que diferentes climas ou diferentes situações sinópticas

podem ocasionar semelhantes disponibilidade hídrica, tais como o clima ártico e desértico ou as massas de ar (anticiclones) tropicais e polares.

A disponibilidade hídrica de uma planta está ligada à dois fatores ambientais: a umidade relativa -UR- e o índice pluviométrico.

As plantas, de acordo com sua disponibilidade de água, são classificadas em 3 grandes categorias: xerófitas, mesófitas e hidrófitas. As primeiras são adaptadas a ambientes que possuam ao menos uma estação seca, as segundas requerem abundantes precipitações e elevadas UR (tanto no solo como na atmosfera) e as terceiras vivem em ambientes aquáticos, parcialmente ou totalmente submersas. As características estruturais (morfo-anatômicas) para cada tipo são classificadas em : xeromorfismo, mesomorfismo e hidromorfismo, respectivamente.

5.5.1 Plantas xéricas ou xeromorfismo.

O termo xeromorfismo ou xerófita é empregado geralmente à plantas que sofram deficiências hídricas, mas todos os fatores meteorológicos podem criar xeromorfismo ou plantas xéricas, em diferentes graus, segundo a intensidade do fator e as necessidades do vegetal em questão.

O próprio termo xeromorfismo pode não ser o adequado, segundo Arens (1958), não é necessário que uma planta folha xérica provenha de uma planta xérica, portanto, ele propôs o termo escleromorfismo (do grego εσκληροσ (*esclero*)=duro), enquanto que a uma folha "mole" seria chamada de malacomorfa (do grego μαλακος=*mole*). O escleromorfismo é considerado xérico quando há deficiência hídrica clara. Vide figura 5.9 ilustrando os esclereídeos.

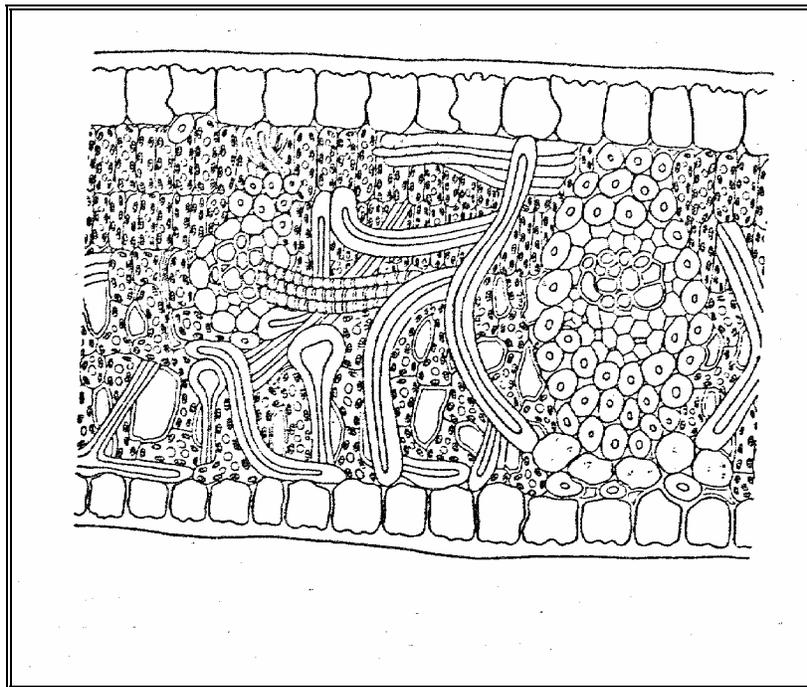


Figura 5.9 Corte transversal da lâmina foliar de *Annona coriacea*, uma gramínea, revelando inúmeras estruturas xeromorfas (escleromorfas). Ferri, 1943.

Os ambientes xéricos são mais comuns onde há pouca água disponível, como nos desertos, regiões semi-áridas e polares. Regiões onde há uma estação seca bem definida, há também plantas com xeromorfismo, tais como no Mediterrâneo, no nosso cerrado e na caatinga. As regiões alpinas e sub-árticas também as possuem.

As alterações estruturais são as seguintes:

- presença de parênquima (tecido interno) aquífero para a armazenagem de água em regiões, geralmente arenosas, tanto no caule como nas folhas, até nas raízes.
- raízes profundas até o lençol freático, ou plantas com tubérculos que resistem à estação seca.
- folhas coriáceas ou duras.
- extratos cuticulares sobre as folhas (na epiderme) mais espessos. A cutícula geralmente é responsável por 10 % da transpiração, enquanto que os estômatos ficam com 90%.
- proteção de cêras sobre a cutícula, em forma de grãos, bastonetes ou ainda estrias. Bem como substâncias semelhantes à laca e ao verniz (maior impermeabilidade).
- células epidérmicas suberosas ou silificadas (Gramíneas) impedindo o desmembramento desta epiderme em situações de extrema carência de água. O tanino pode atuar com o mesmo fim em regiões árticas e subárticas.
- a própria epiderme pode estocar água, como no caso das Gramíneas, bem como a presença de células buliformes (em forma de pote), vacuolizadas, com paredes delgadas, também armazenam água e podem absorvê-las rapidamente (reação fisiológica).
- o mesófilo foliar (camadas internas) pode ter até 8 camadas de células, em comparação a uma planta mesomorfa com 1 só.
- a presença de um grande número de tricomas, já descritos.
- a presença de células, os esclereídeos, duras, semelhantes a um ossinho, para sustentação durante o "stress" hídrico.

Os estômatos podem contribuir para o controle do déficit hídrico, tanto "anatomicamente", situando-se apenas na epiderme abaxial (inferior) e/ou em criptas, como fisiologicamente, fechando-se quando a perda é excessiva, vide figura 5.10

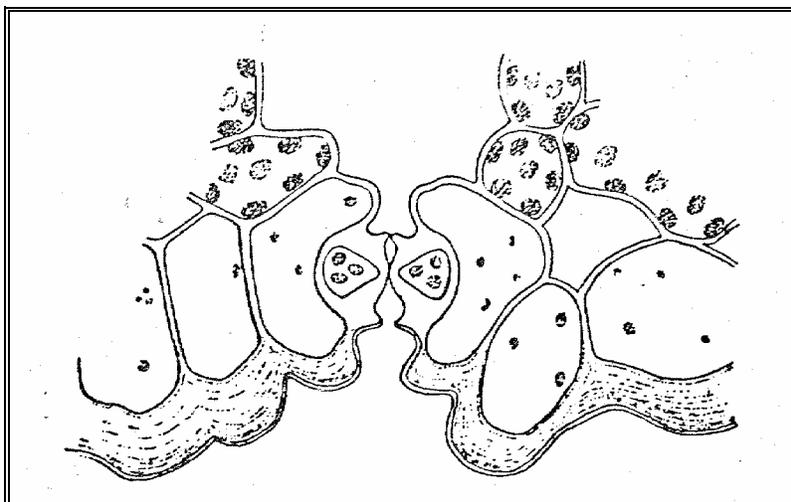


Figura 5.10. Estômato de *Andira humilis*, o angelim, no fundo de uma depressão, cortado transversalmente. Ferri, 1943.

5.5.12 Mesófitas.

As plantas mesófitas apresentam caracteres de vegetais em ambientes sombreados e úmidos. Entretanto, existem plantas mesomorfas com características (folhas, p.ex.) xeromorfas, como citado anteriormente. No caso do cacau, há folhas de "sol" com caracteres xéricos e folhas de "sombra", mesomorfas. Estas últimas, possuem menos estômatos por cm^2 , células maiores, sistemas vasculares menos densos, cutícula menos espessa, entre outros.

Nas mesófitas, a epiderme adaxial (superior) de algumas folhas pode apresentar células papilosas em diferentes graus. As paredes internas são levemente achatadas a convexas, enquanto que a externa são muito convexas. Estas papilas funcionam como lentes plano-convexas à biconvexas, para poder aumentar a insolação dentro do mesófilo foliar. Exs.: *Ficus* sp., *Anthurium* sp. e *Philodendrum* sp., todas plantas ornamentais, para interiores.

Há também, a presença de hidatódios, o qual é um sistema que "descarrega" o excesso de água (figura 5.11) do interior foliar para sua superfície, no fenômeno chamado de gutação. Podem ser ativos ou passivos e também podem ser denominados de estômatos aquíferos.

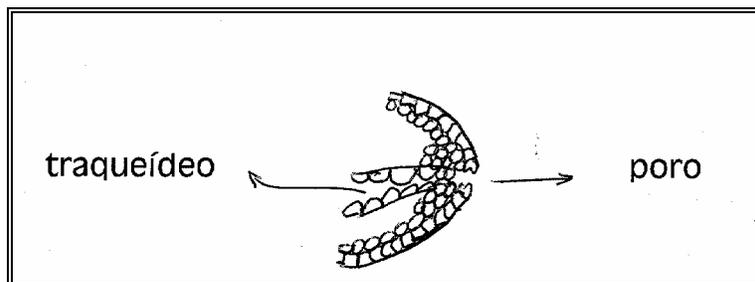


figura 5.11. Um hidatódio com os traqueídeos (sistema vascular da folha).

5.6 O EFEITO DO VENTO.

A velocidade do vento, nos termos mais simplificados, é resultado das diferenças de distribuição e absorção de calor pela superfície terrestre. A velocidade média do vento, por sua vez, é geralmente maior em latitudes médias a altas e em altitudes elevadas, bem como em planícies. O vento é responsável pela perda de calor e aceleração de trocas de massa (H_2O , CO_2 e O_2) nos vegetais.

Na superfície foliar, o calor e a transferência de massa são transportadas por condução "através" da chamada camada limite (figura 5.12), já descrita em aulas anteriores, próxima à superfície. Esta camada separa o fluxo laminar (abaixo) do turbulento (acima), e sua espessura pode ser medida pelo inverso do número de Reynolds ($v \cdot L / \nu$), onde v é a velocidade do vento, L é o comprimento da superfície (ex. a largura da folha) e ν é a viscosidade cinemática do ar, como já descrita na aula 2. Para certas situações (L não muito grande, da ordem de mm a poucos cm. e v também não muito alto), esta camada limite é tanto maior quanto menor for seu comprimento e menor for sua velocidade do vento. Podemos concluir, conseqüentemente, que quanto menor for a folha e menor for sua resistência ao deslocamento de ar, maior será sua espessura da camada limite.

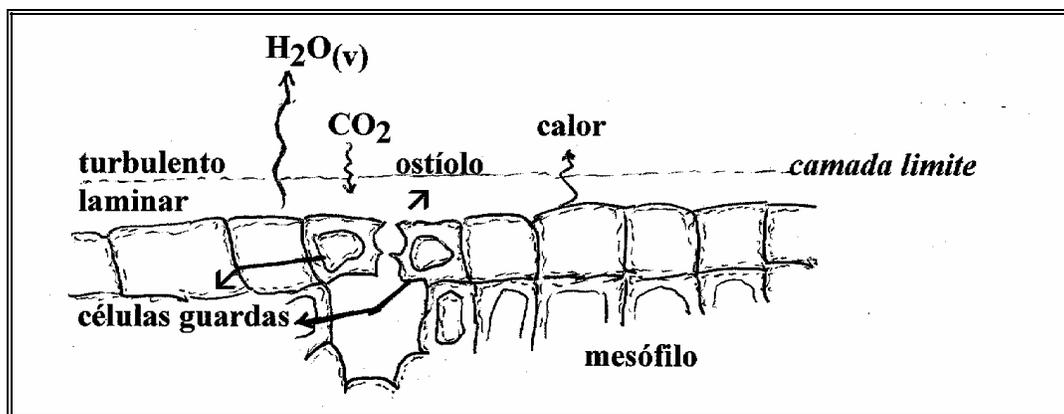


figura 5.12. Corte transversal de um estômato e da camada limite.

As acículas das coníferas possuem a morfologia (forma) ideal para "diminuir" o efeito turbulento e devido a este fato, "perder" menos calor. O oposto ocorre com as folhas de plantas tropicais, como o *Anthurium* e o guaimbê, já citados, possuindo grande tamanho, inúmeras "falhas" e espaços internos. Portanto, para as folhas de climas temperados, não caducifolias (não perde folhas no inverno), é melhor ter o fluxo turbulento afastado, contudo as plantas tropicais e equatoriais devem salientar este fluxo, para poderem perder mais calor e principalmente mais vapor, de outro modo, poderiam secar em plena floresta luxuriante equatorial!

Quanto aos danos causados pelo vento, por arraste, células silificadas, nas Gramíneas por ex. (os cystólitos) aumentam a resistência à abrasão (ação mecânica). Galhos e troncos flexíveis o suficiente para não quebrarem ao vento, mas com algum grau de resistência para não caírem, também, são uma defesa de muitas árvores (por ex. o teixo) na orla marítima, onde sopra constantemente vento do mar, como em Cabo Frio, litoral fluminense e na Califórnia. Ambos locais com oceanos frios próximos responsáveis por intensas brisas

marítimas. Extratos cuticulares podem ficar presos à epiderme como uma âncora, também, para diminuir a abrasão.

Nas plantações, pode se considerar que a ação mecânica do vento é danosa, sendo necessário construir quebra-ventos. As desvantagens desses são a significativa redução na radiação solar e o aumento na concentração de CO₂. Devido a estes fatores, as plantas crescidas próximas aos anteparos são normalmente menores e mais raquíticas.

5.6.1. Anemocoria e anemofilia.

Tanto a polinização como a dispersão dos frutos e sementes pode ser efetuada pelo vento e pela água (fatores abióticos) como por seres vivos (fatores bióticos). A polinização pelo vento, denominada anemofilia (do grego $\alpha\eta\mu\omicron\varsigma$ = vento), prevalece nas famílias Graminae, Cyperaceae, Juncaceae e nas ordens Amentiferae e Urticales. Há plantas que podem ser dispersas por insetos (entomofilia) e no entanto ser uma planta anemófila (ex.: *Plantago media* = língua-de-vaca), já que a polinização por insetos pode ser considerado um método mais primitivo, portanto residual.

São características de flores anemófilas: grande produção de grãos-de-pólen, área do estigma aumentada, sendo estes plumosos. Perianto (pétalas e sépalas) reduzido, pois poderia representar barreiras ao pólen, podendo estar ausentes ou decíduos. Cor e odor das flores desnecessários. Em alguns casos o perianto (sépalas e pétalas) pode ser colorido e apresentar odor, o que evidencia a recente evolução de anemofilia a partir de entomofilia (ex.: *Ricinus* sp.= mamona) ou ornitofilia (de pássaros). Os grãos-de-pólen são pequenos, lisos, secos e mecanismos para arrastá-los são freqüentes. Os números de óvulos são reduzidos.

Já a anemocoria (dispersão de frutos e sementes pelo vento), ainda que numericamente importante, não é básica para as plantas com sementes. Sua preponderância em certas regiões refletem o clima e a pobreza ambiental (biótica) e é essencialmente uma característica de regiões pioneiras. Há dados, p.ex., que a flora alpina é 60% anemócora.

Na anemocoria podemos distinguir dois tipos de transporte: via advecção, no plano xy (horizontal) e a convecção no plano vertical, devido ao aquecimento da superfície local. A primeira pode transportar com ventos de até 10 m/s, e a segunda em geral, é mais fraca, ao redor de 1 m/s. O efeito propelente, sobre estruturas aladas, destes tipos de transporte dispersa as sementes de um raio entre 20 m e 10 km.

Há dois tipos de dispersão de sementes, as que dependem totalmente do transporte atmosférico, as anemócoras, acima descritas, e as autócoras, que geram uma mistura entre os efeitos atmosféricos e a dispersão por si mesmas. Esta auto-dispersão é efetuada por diversos mecanismos de arremesso e balísticos, bastante comum em gramíneas, onde também temos a anemocoria.

A anemocoria pode ser classificada nos seguintes tipos:

- a) voadores (meteor oanemócoras)
 - i) diáspora em poeira (Crassuláceas, com sementes entre 0.001 a 0.004 mg)
 - ii) balões (Rosáceas)
 - iii) diáspora plumosas (Bromeliáceas)
 - iv) diáspora aladas (até 15 cm, como as sâmaras)
- b) planadoras (camácoras), comuns nas estepes: Cruciferae e Compostas.

c) arremessadoras (ou anemocoria balística ou autócoras): Campanuláceas e Caryophialaceae.

5.7. O EFEITO DA ALTITUDE.

A altitude afeta a planta devido à confluência de diversos parâmetros, tais como, o aumento da radiação UV, queda da temperatura brusca à noite, aumento da velocidade média do vento e déficit hídrico. Todos estes parâmetros são geradores de características xeromórficas, já mencionadas. O único parâmetro diferente é a pressão atmosférica. Este parâmetro parece induzir ao espessamento dos extratos cuticulares, bem como a organização das cêras, contudo outros fatores também podem afetá-los.

5.8 FITOPATOLOGIA.

Na maioria das doenças de plantas e dos ataques de insetos, os fatores meteorológicos podem desempenhar um papel bastante importante. Não é surpresa que bem antes de correlacionarmos nossas patologias com os fenômenos meteorológicos, a fitopatologia meteorológica tinha se desenvolvido consideravelmente. Entretanto, os estudos sistemáticos são recentes.

De acordo com estudos recentes, a produção agrícola perde, devido à doenças e ataque de insetos ainda de 25 a 40% de suas safras, a despeito de toda tecnologia atualmente utilizada. Na Europa, esta perda é ao redor de 25 %, nos EUA, 29%, na Rússia e China, 30% e no terceiro mundo de 40% ou mais. Parte destas perdas é devida à não utilização de métodos preventivos ou somente paliativos. Isto é particularmente verdadeiro para plantas atacadas por viroses, carregadas por insetos. Há ainda doenças micóticas (fungos), onde nenhum controle químico foi ainda desenvolvido.

O alvo da proteção às plantações, usando métodos de prevenção meteorotrópicos, não somente previnem perdas, mas também minimizam prejuízos à já danificadas plantações.

Segue-se algumas das principais doenças, nas quais já estão correlacionadas a comportamentos meteorotrópicos: o míldio da batata (murchidão), causada pelo fungo *Phytophthora infestans*, que ocasionou inúmeras mortes por fome, na Irlanda entre 1845 e 1850; a mancha foliar em beterraba (do fungo *Cercospora beticola*) e mancha-de-olho do tabaco (do fungo *Cercospora herpotrochoides*).

No passado, estudos utilizando métodos simples e empíricos foram efetuados, como no caso acima mencionado, comparando a mancha foliar da beterraba e situações sinóticas (massas de ar), nos EUA, distinguindo as condições perigosas e danosas do tempo pelo estudo de cartas meteorológicas.

Após a introdução de equações e modelos físico-matemáticos, a precisão e prevenção de doenças transformou-se em um disciplina sistêmica. O desenvolvimento de índices de colheita (plantações x parâmetros meteorológicos) facilitou a geração de modelos de previsão de doenças. Na maioria dos modelos, os seguintes parâmetros devem ser considerados.

a) aumento da temperatura ambiente: deve determinar limites para o desenvolvimento da doença. P.ex.: temperatura acima de 35°C mata o fungo *Exobasidium vexians*, responsável pela murchidão das folhas de chá.

b) queda da temperatura ambiente: favorece a longevidade de muitos esporos de fungos. P.ex. : a temperatura de 13°C favorece a germinação dos conídeos (estrutura reprodutora) de *Phytophthora infestans*. Acentuada queda de temperatura, porém, produz efeito inibidor ou morte da maioria dos micélios dos fungos.

c) umidade relativa: folhas úmidas é importante para os estágios do ciclo de vida de diversos fungos e bactérias. P.ex.: o mesmo *P.infestans* requer 13 horas de folhas úmidas para germinar. Para a propagação da maioria das fitopatologias é a constância de altas umidades relativas, nevoeiros e precipitação.

d) vento: é importante para a dispersão de esporos de fungos e bactérias. O esporo da ferrugem do cafeeiro, *Hemileia vastatrix*, pode ter chegado ao Brasil, via célula de Walker (convecção na África e com subsidência no Brasil central), ou seja, transporte de longo alcance, mesmo para um esporo com cerca de 100 µm de diâmetro.

e) radiação solar: pequenas doses de UV estimulam a germinação de esporos de diversos fungos, já doses elevadas são letais, tanto para o micélio (corpo) como para esporos e também bactérias. P. ex.: O *P.infestans* só esporula à noite.

5.9 EFEITO DAS PLANTAS NO MEIO AMBIENTE DOS SERES HUMANOS

A) Composição geral do ar :

- filtro de poluentes
- plâncton: excedente da produção de O₂.

B) Barulho: redução

C) Radiação incidente sobre casas, terrenos, etc.

D) Albedo planetário

E) Núcleos de condensação/ congelamento (biogênicos)