

Unidade 8

VÍRUS COMO AGENTES DE DOENÇAS DE PLANTAS

1. DEFINIÇÃO

Os vírus não têm a organização complexa das células e são estruturalmente muito simples. Uma das tentativas mais recentes para definir vírus foi feita por **Matthews** (1992), que considerou vírus como um conjunto formado por uma ou mais moléculas de ácido nucléico genômico, normalmente envolto por uma capa ou capas protetora(s) de proteína ou lipoproteína, o qual é capaz de mediar sua própria replicação somente no interior das células hospedeiras apropriadas. Dentro destas células, a replicação viral é: (a) dependente do sistema de síntese de proteínas do hospedeiro; (b) derivada de combinações dos materiais requeridos, ao invés de fissão binária; (c) localizada em sítios não separados do conteúdo da célula hospedeira por uma membrana dupla de natureza lipoproteica.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS VÍRUS DE PLANTAS

- Parasitas obrigatórios.
- Presença de um só tipo de ácido nucléico, RNA ou DNA, em cadeia simples ou dupla.
- Incapacidade de crescer e se dividir autonomamente.
- Dependem da célula hospedeira para replicação.
- Dependem da célula hospedeira para executar funções vitais.
- Replicação somente a partir de seu próprio material genético.
- Ausência de informação para produção de enzimas do ciclo energético.
- Ausência de informação para síntese de RNA de transferência e ribossômico.

3. COMPONENTES ESTRUTURAIS DOS VÍRUS

- **Genoma:** conjunto de informações genéticas de um vírus, codificado pelo ácido nucléico.
- **Capsídeo:** capa protéica que envolve o genoma viral, formada por subunidades de proteína.
- **Capsômero:** subunidades do capsídeo.

- **Nucleocapsídeo:** conjunto formado pelo genoma mais capsídeo.
- **Envelope:** membrana que envolve o nucleocapsídeo em alguns tipos de vírus.
- **Vírião:** estrutura viral completa.

4. COMPONENTES QUÍMICOS DOS VÍRUS

• Ácidos Nucléicos

A porção infectiva da partícula viral é o seu ácido nucléico. Os vírus podem possuir DNA ou RNA, de fita dupla (ds) ou de fita simples (ss). Todos os quatro tipos de genoma (ssDNA, dsDNA, ssRNA, dsRNA) têm sido encontrados entre os vírus de plantas. Além disso, a estrutura de DNA de fita dupla ou simples no vírião pode ser linear ou circular. Os vírus que possuem ssRNA e atuam diretamente como RNA mensageiro (mRNA) são designados como vírus de cadeia positiva (+). Os vírus que devem replicar seu RNA primeiro para depois formar a fita complementar são designados como vírus de fita negativa (-). A replicação da fita negativa é sempre catalisada por uma RNA polimerase contida no vírião. A quantidade de ácido nucléico, e mais significativamente, o número de genes presente, varia entre os diferentes grupos de 1 a 12 genes no caso de vírus de planta, até aproximadamente 260 nos vírus grandes que infectam vertebrados.

• Proteínas

Além do ácido nucléico, a proteína é o principal componente químico do vírus. A capa protéica, formada de proteína estrutural, tem a função de proteger o genoma viral da ação de fatores adversos, possibilitar a aderência do vírus à célula hospedeira e conferir simetria estrutural. A principal diferença entre estirpes de um mesmo vírus ocorre em função de suas proteínas, decorrente das diferenças na proporção de seus aminoácidos ou na presença/ausência de alguns aminoácidos, notadamente histidina e metionina. Muitos vírus possuem dentro do capsídeo uma ou mais enzimas que são liberadas após o desnudamento do vírus no interior da célula hospedeira. Estas enzimas atuam na replicação do ácido nucléico do vírus, sendo as mais comuns as polimerases. Os vírus podem codificar outras proteínas com importantes funções: movimento do vírus célula a célula, transmissão por

determinados vetores e processamento proteico, como a clivagem de poliproteínas codificadas pelo vírus.

• Lipídeos

Os compostos lipídicos mais encontrados nos vírus são os fosfolipídeos, glicolipídeos, gorduras neutras, ácidos graxos, aldeídos graxos e colesterol, notadamente derivado de membranas do hospedeiro. Os fosfolipídeos encontrados no envelope viral são as substâncias lipídicas predominantes nos vírus. Os vírus envelopados podem ser destruídos por solventes lipídicos, tais como éter ou clorofórmio. A infectividade desses vírus pode ser então inativada pelos solventes químicos.

• Carboidratos

Todos os vírus possuem carboidratos em sua constituição, uma vez que o próprio ácido nucléico contém ribose ou desoxirribose. Alguns vírus envelopados possuem em seu envelope espículas constituídas de glicoproteínas.

5. TIPOS MORFOLÓGICOS DE VÍRUS E ESTRUTURA DAS PARTÍCULAS VIRAIS

Utilizando microscopia eletrônica é possível determinar as características morfológicas dos vírus. Os vírions variam em tamanho, de 17 nm de diâmetro do vírus satélite do vírus da necrose do fumo a 2000 nm de comprimento do vírus da tristeza dos citros (1 nm = 1/1.000 µm). Assim, excetuando-se os **viróides**, que são minúsculas moléculas de RNA, representam os menores e mais simples agentes infecciosos em plantas.

O arranjo dos componentes proteína e ácido nucléico constitui a arquitetura do vírus. Podem-se distinguir, essencialmente, os tipos morfológicos abaixo para os vírus de plantas sem envelope e com envelope (Fig 1).

a) Vírus sem envelope

• Vírus alongados

Apresentam-se como bastonetes rígidos (18 nm de diâmetro e comprimento de até 300 nm) ou filamentos flexuosos (3 a 12 nm de diâmetro e comprimento entre 470 a 2000 nm), com simetria helicoidal (capsídeo cujos capsômeros são arranjados em torno do ácido nucléico na forma de uma hélice).

Gêneros:

Bastonetes rígidos - *Furovirus*, *Hordeivirus*, *Tobamovirus* e *Tobravirus*.

Filamentos flexuosos - *Trichovirus*, *Bymovirus*, *Capilovirus*, *Carlavirus*, *Closterovirus*, *Potexvirus*, *Rymovirus* e *Tenuivirus*.

• Vírus poliédricos ou esféricos

Possuem 17 a 80 nm de diâmetro. São vírus cujas unidades químicas estão arranjadas formando um poliedro de 20 faces, 12 vértices e 3 lados (icosaedro).

Gêneros:

Alphacryptovirus, *Betacryptovirus*, *Bromovirus*, *Caulinivirus*, *Carmovirus*, *Comovirus*, *Cucumovirus*, *Dianthovirus*, *Luteovirus*, *Machlorovirus*, *Marafivirus*, *Necrovirus*, *Nepovirus*, *Sabemovirus*, *Tombosvirus* e *Tymovirus*

• Vírus quase isométricos a baciliformes

Variam de 30 a 35 nm de diâmetro.

Gênero: *Irlavirus*

• Vírus baciliformes

Apresentam-se em forma de bastonete, com partículas de dimensões bastantes variadas.

Gêneros: *Alfamovirus* e *Badnavirus*

b) Vírus com envelope

Apresentam envelope envolvendo o nucleocapsídeo.

• Esferoidais: medem de 80 a 120 nm.

Gênero: *Tospovirus*

• Baciliformes: medem de 45 a 100 nm x 100 a 430 nm.

Gêneros: *Cytorhabdovirus* e *Nucleorhabdovirus*

A proporção entre ácido nucléico e proteína depende do vírus considerado, variando de 5 a 40% de ácido nucléico, com 60 a 95% de proteína. A menor proporção de ácido nucléico e a maior porcentagem de proteínas são encontradas nas partículas dos vírus alongados, enquanto os vírus isométricos possuem relativamente, maior porcentagem de ácido nucléico e menor de proteínas. Nos vírus envelopados, a proporção de proteínas pode chegar apenas a 20% do peso das partículas.

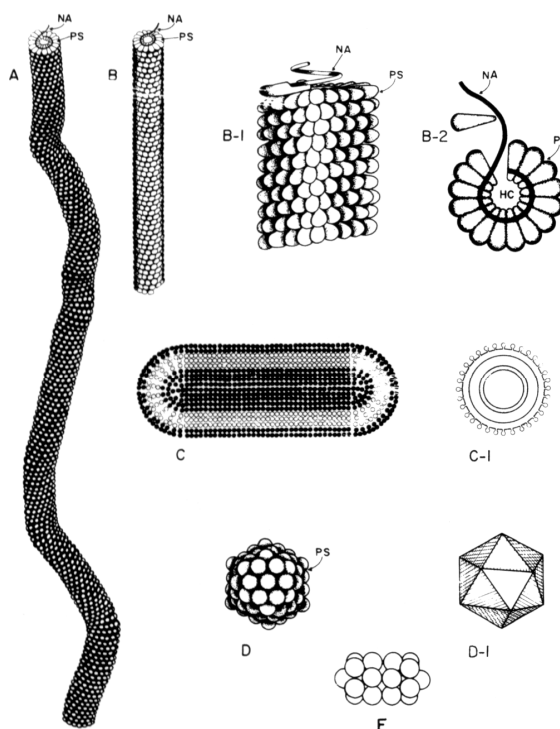


Figura 1. Forma relativa, tamanho e estrutura de alguns vírus de plantas representativos. A) vírus na forma de bastonete flexuoso; B) vírus na forma de bastonete rígido; B-1) vírus na forma de bastonete flexuoso, mostrando subunidades de proteínas [PS] e ácido nucléico [NA]; B-2) seção transversal do vírus na forma de bastonete flexuoso, mostrando o canal central [HC]; C) vírus na forma baciliforme com envelope; C-1) seção transversal vírus na forma baciliforme com envelope; D) vírus na forma poliédrica; D-1) icosaedro, representando a simetria de 20 lados que são arranjadas as subunidades de proteína do vírus poliédrico; E) vírus na forma poliédrica com duas partículas iguais semeadas [adaptado de Agrios (1997)].

6. CLASSIFICAÇÃO E NOMENCLATURA DOS VÍRUS

6.1. Classificação

Todos os vírus pertencem ao Reino Vírus. O sistema de classificação dos vírus de plantas se baseia em características como: tipo de ácido nucléico (DNA ou RNA); número de fitas de ácido nucléico (monocatenário ou bicatenário); peso percentual do ácido nucléico em relação à partícula; peso molecular, tamanho e forma da partícula (isométrica, alongada e baciliforme); presença ou ausência de envelope características físicas, químicas, biológicas e antigênicas da partícula; gama de hospedeiros; forma de

transmissão. Através desse conjunto de critérios, os vírus de plantas são reunidos em gêneros. Os nomes para estes gêneros são geralmente derivados de nomes de protótipos ou membros mais representativos do grupo (Fig. 2). Por exemplo, o nome do gênero de vírus relacionado ao vírus do mosaico do tabaco (tobacco mosaic virus) é o *tobamovirus*.

6.2. Nomenclatura

Geralmente os vírus de plantas são denominados pelo tipo de doença ou sintomatologia apresentada pelo hospedeiro (Tabela 1).

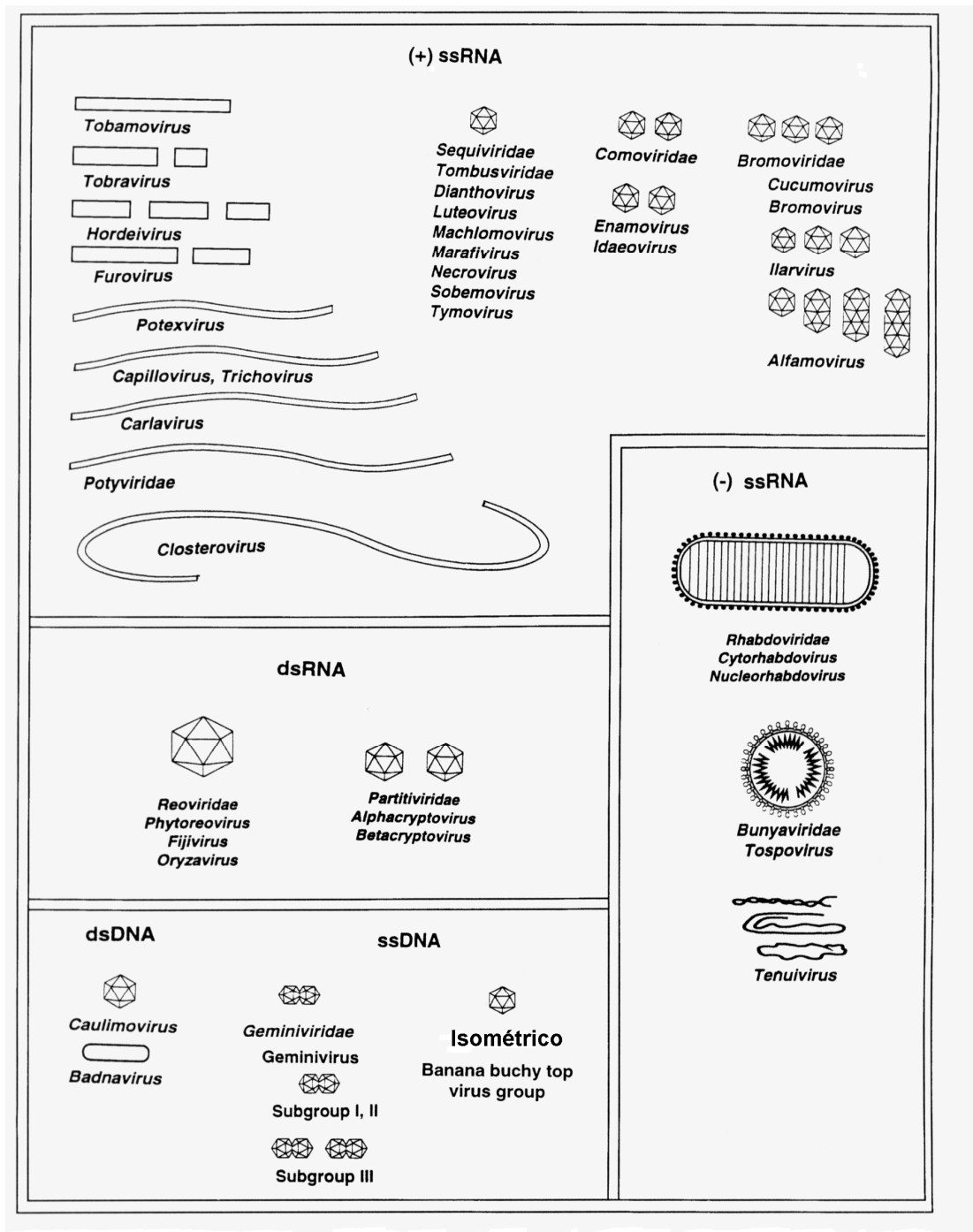


Figura 2. Diagrama esquemático de famílias e gêneros de vírus que infectam plantas [adaptado de Agrios (1997)].

Tabela 1. Exemplos de vírus de plantas com a respectiva nomenclatura em português e inglês, gênero a que pertence e doença causada.

Nomenclatura		Gênero	Doença
Português	Inglês		
Vírus do mosaico do fumo	Tobacco mosaic virus	<i>Tobamovirus</i>	Mosaico do fumo
Vírus do mosaico estriado da cevada	Barley stripe mosaic virus	<i>Hordeivirus</i>	Mosaico estriado da cevada
Vírus X da batata	Potato virus X	<i>Potexvirus</i>	Virose X da batata
Vírus do mosaico ou mancha anelar do mamoeiro	Papaya ringspot virus	<i>Potyvirus</i>	Mancha anelar ou mosaico do mamoeiro
Vírus do mosaico comum do feijoeiro	Bean common mosaic virus	<i>Potyvirus</i>	Mosaico comum do feijoeiro
Vírus do mosaico da cana-de-açúcar	Sugarcane mosaic virus	<i>Potyvirus</i>	Mosaico da cana-de-açúcar
Vírus Y da batata	Potato virus Y	<i>Potyvirus</i>	Virose Y da batata
Vírus da Tristeza dos citros	Citrus tristeza virus	<i>Closterovirus</i>	Tristeza dos citros
Vírus do amarelo da beterraba	Beet yellows virus	<i>Closterovirus</i>	Amarelo da beterraba
Vírus da necrose do fumo	Tobacco necrosis virus	<i>Necrovirus</i>	Necrose do fumo
Vírus do mosaico do caupi	Cowpea mosaic virus	<i>Comovirus</i>	Mosaico do caupi
Vírus do mosaico do pepino	Cucumber mosaic virus	<i>Cucumovirus</i>	Mosaico do pepino
Vírus do mosaico dourado do feijoeiro	Bean golden mosaic virus	<i>Begomovirus</i>	Mosaico dourado do feijoeiro

7. REPLICAÇÃO VIRAL

Os vírus, como partículas extracelulares, não têm atividade metabólica independente e são incapazes de reprodução por cissiparidade, gemulação ou outros processos observados entre as bactérias e outros microrganismos. Ao contrário, a multiplicação dos vírus dá-se por replicação, na qual os componentes protéicos e o ácido nucléico viral são produzidos dentro de hospedeiros suscetíveis. A replicação (duplicação) do ácido nucléico tem por base a pré-existência de um molde.

Fora da célula do hospedeiro, o vírus fica sem nenhuma atividade metabólica, fisiológica ou biológica, onde comporta-se como um verdadeiro "esporo de resistência". Os vírus redirecionam efetivamente os processos metabólicos de muitas células hospedeiras para produzir novos virions, em vez de produzir material novo para a célula hospedeira.

As etapas da infecção viral em plantas, a nível celular, que são comuns a todas as infecções: penetração, liberação do ácido nucléico (desnudamento), biossíntese dos componentes

virais (replicação bioquímica), montagem e maturação e, liberação.

- **Penetração:** tanto o vírus completo como o ácido nucléico viral podem penetrar no interior da célula. A penetração dos vírus de plantas é um processo passivo, sendo necessária a presença de ferimentos, principalmente por intermédio de insetos, ou por poros que se estendem ao longo da parede celular.

- **Liberação do ácido nucléico:** se o vírus completo entrar numa célula, deve ocorrer o desnudamento, isto é, a perda da capa protéica pela ação de enzimas da célula hospedeira, para que ocorra a liberação do ácido nucléico, tornando-o disponível para a transcrição, tradução e replicação. Dependendo do vírus, o desnudamento pode ocorrer dentro de vacúolos, no citoplasma ou no núcleo.

- **Biossíntese dos componentes virais:** a replicação ativa do ácido nucléico e a síntese de proteínas virais começam após a dissociação do capsídeo e genoma. Além do ATP (adenosina

trifosfato) celular, os vírus requerem o uso de ribossomos da célula, do RNA de transferência, de enzimas e de certos processos biossintéticos para sua replicação.

• **Montagem e maturação:** o local específico para a montagem e maturação do vírus dentro da célula é característico de cada gênero de vírus (núcleo ou citoplasma). O período de tempo entre o desnudamento até a montagem de um novo vírion maduro é denominado período de eclipse, pois se a célula hospedeira for rompida neste período, nenhum vírus infeccioso será encontrado.

• **Liberção:** o mecanismo de liberaçõ varia com o tipo de vírus. Em alguns casos a lise celular (morte da célula) resulta na liberaçõ das partículas virais. Em outros, a maturação e a liberaçõ sãõ relativamente lentas e os vírions sãõ liberados sem a destruiçõ da célula hospedeira. A produçõ de partículas virais pela célula varia de acordo com o vírus, o tipo de célula e as condições de crescimento. A produçõ média de vírions de plantas é de vários milhares a cerca de 1 milhão por célula.

8. MOVIMENTO E DISTRIBUIÇÃõ DO VÍRUS NA PLANTA

O vírus, uma vez introduzido na planta, pode ser distribuído através de um movimento lento célula a célula e de forma mais rápida via sistema vascular, geralmente através do floema (Fig. 3).

O movimento célula a célula tem lugar nas células do parênquima, sendo simultâneo à replicação do vírus. As indicações sãõ de que o

vírus não passa simplesmente de uma célula para outra, mas replica-se numa célula para em seguida entrar na célula vizinha. A passagem ocorre através dos plasmodesmas, sendo auxiliada pela açõ de proteína de movimento codificada pelo vírus, que ligam as células do parênquima. A passagem do vírus através dos plasmodesmas normalmente é feita na forma de partícula íntegra, apesar de já ter sido observado a migraçõ somente do ácido nucléico no caso de alguns vírus alongados.

O tecido vascular, geralmente o floema, atua na distribuiçõ das partículas virais para locais distantes do seu ponto de penetraçõ na planta. A velocidade de transporte neste caso é 10 a 100 vezes superior ao movimento célula a célula. A grande maioria dos vírus é transportada via floema, na forma de partículas completas, atingindo, a partir do ponto de penetraçõ, primeiramente as raízes, em seguida as folhas jovens e, posteriormente, a planta toda, caracterizando uma infecçõ sistêmica.

Quanto à distribuiçõ, alguns vírus que provocam lesões locais ficam praticamente confinadas às áreas do tecido compreendidas por estas lesões. Ao contrário, os chamados vírus sistêmicos sãõ distribuídos por toda a planta (Fig. 4). Apesar da ocorrênciã sistêmica dos vírus, a sua concentraçõ varia nos diferentes órgãos e tecido da planta. Embora os vírus sistêmicos também possam atingir os tecidos meristemáticos, em alguns casos parece existir uma regiãõ próxima às extremidades de raízes e brotos que permanece isenta de vírus. Esta evidênciã tem permitido a produçõ de clones livres de vírus através da cultura de tecido obtido desta regiãõ.

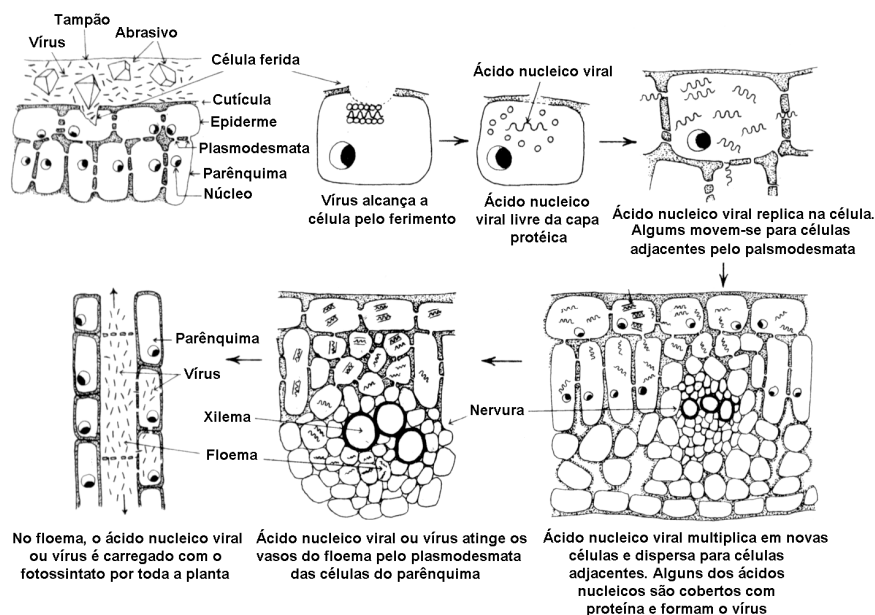


Figura 3. Inoculaçõ mecânica e estádios iniciais na distribuiçõ sistêmica do vírus na planta [adaptado de Agrios (1997)].

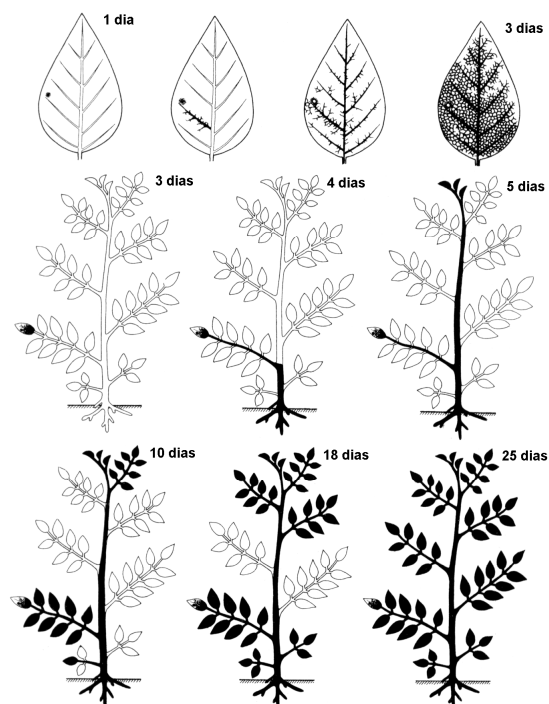


Figura 4. Representação esquemática da direção e da taxa de translocação de um vírus numa planta [adaptado de Agrios (1997)].

9. SINTOMATOLOGIA

Os vírus de plantas podem causar dois tipos de sintomas ou infecção: **localizada** e **sistêmica**. Os sintomas localizados são lesões cloróticas e necróticas nos pontos de penetração, enquanto os sintomas sistêmicos afetam a planta em vários aspectos de sua morfologia e fisiologia. Os sintomas sistêmicos mais comumente exibidos pelas plantas são mosaico, mosqueado, distorção foliar, mancha anelar, amarelecimento, superbrotamento e nanismo. Como consequência destes sintomas geralmente ocorre a queda de produção, e, às vezes, a morte da planta.

10. TRANSMISSÃO DOS VÍRUS DE PLANTAS

A transmissão dos vírus pode ocorrer mecanicamente, bem como através de insetos, fungos, nematóides, ácaros, sementes, órgãos de propagação vegetativa e grãos de pólen.

10.1. Transmissão mecânica

É de pouca importância no campo, mas muito importante para a experimentação. No campo, apenas quando a densidade de plantio é muito alta, o vento pode causar danos mecânicos à folhagem ocasionando a transmissão de vírus devido ao contato entre plantas. Se considerarmos o uso de implementos agrícolas em campos com

plantas afetadas, este tipo de transmissão mecânica pode se tornar importante.

10.2. Transmissão por insetos

Os insetos têm muita importância como transmissores de vírus, sendo encontrados na Ordem Homoptera (afídeos, cigarrinhas e moscas brancas) e nos Coleopteros e tripes. De acordo com o método pelo qual os vírus são transmitidos por insetos vetores, eles podem ser agrupados em:

a) Vírus não persistentes ou externos

O método de transmissão ácido o estiletar (ex. afídeos), em que os insetos adquirem as partículas virais num curto espaço de tempo em plantas infectadas e as transmitem imediatamente para um número reduzido de plantas sadias. O período de tempo que um afídeo permanece virulífero varia de alguns minutos a algumas horas.

b) Vírus persistentes ou internos

São os que permanecem no interior dos insetos vetores por longos períodos de tempo, podendo ser:

- **Circulativos:** as partículas de vírus são ingeridas pelo insetos vetores e levadas pela hemolinfa para as glândulas salivares de onde passam para plantas sadias. Este vírus

não perde sua infectividade mesmo com a ecdise dos insetos.

- **Propagativos:** são os que se multiplicam no interior dos insetos vetores (ex. cigarrinhas). Normalmente é necessário um período de incubação de 1 a 2 semanas desde a aquisição até a primeira transmissão.

Os vetores mais importantes são os afídeos e, embora haja especificidade, uma espécie de afídeo possa transmitir apenas 1 ou até 50 vírus diferentes. Os vírus transmitidos por afídeos são normalmente não persistentes ou circulativos e raramente propagativos.

10.3. Transmissão por fungos

Olpidium brassicae, que causa podridão de raízes de diversas plantas, transmite o vírus da necrose do fumo, da alface, do pepino e o vírus do nanismo do fumo. *Polymixa graminis* transmite o vírus do mosaico do trigo. *Spongopora subterranea* transmite o vírus da batatinha. O vírus é possivelmente conduzido externamente ou internamente nos zoósporos, não havendo evidências de sua multiplicação nestas estruturas.

10.4. Transmissão por nematóides

Pouco mais de 10 vírus de plantas são transmitidos por nematóides ectoparasitas pertencentes aos gêneros *Xiphinema*, *Longidorus* e *Trichodorus*. Os dois primeiros transmitem vírus poliédricos do gênero *Nepovirus* e o último transmite vírus do tipo bastonete rígido do gênero *Tobravirus*. Os nematóides transmitem os vírus alimentando-se em raízes de plantas infetadas e em seguida, em plantas sadias. Tanto o adulto como as formas larvais (juvenis) podem adquirir e transmitir os vírus, no entanto estes não são transmitidos através dos ovos, nem permanecem no nematóide após sua ecdise. Coincidentemente todos os vírus transmitidos por nematóides, o são também por sementes, sendo tal característica muito importante na distribuição epidemiológica de tais vírus.

10.5. Transmissão por ácaros

Vários ácaros pertencentes às famílias Eriophyidae e Tetranychidae são reconhecidamente vetores de vírus vegetais. Os membros de tais famílias alimentam-se através de seus penetrantes estiletos, introduzindo-os nas células das plantas e sugando seus conteúdos. Alguns vírus são transmitidos nos estiletos dos ácaros (transmissão estiletar) e outros são circulativos.

10.6. Transmissão por sementes

Cerca de 20% dos vírus de plantas conhecidos são transmitidos por sementes. De acordo com a localização dos vírus nas sementes, o processo de transmissão pode ser do tipo embrionário (no interior do embrião) e não embrionário (na superfície de sementes de frutos carnosos ou mesmo debaixo do tegumento, no seu interior ou dentro do próprio endosperma, temos como único exemplo deste grupo, o TMV).

10.7. Transmissão por órgãos de propagação vegetativa

Qualquer tipo de propagação vegetativa, que envolva o uso de borbulhas (enxertia), bulbos, tubérculos, rizomas, estacas e etc., serve para transmitir vírus de plantas matrizes infectadas para sua progênie.

10.8. Transmissão por grãos de pólen

Os grãos de pólen produzidos em plantas sistemicamente infectadas por vírus podem transmiti-los através do processo de polinização cruzada, para sementes produzidas em plantas sadias. Tais sementes dão origem a plantas doentes ampliando o grau de transmissão iniciada pelo grão de pólen. Em alguns casos os vírus levados pelo grão de pólen passam através da flor fertilizada para os demais órgãos da planta mãe, causando-lhe uma infecção sistêmica.

10.9. Transmissão por plantas parasitas superiores

Os vírus podem ser transmitidos entre plantas distintas ou pertencentes a famílias completamente distintas através de parasitas como *Cuscuta* spp.

11. CONTROLE DOS VÍRUS DE PLANTAS

O controle de viroses pode ser efetuado pelo emprego de variedades resistentes, eliminação do vetor, remoção e destruição da planta afetada, eliminação do hospedeiro intermediário, emprego de sementes e mudas certificadas, proteção cruzada ou preimunização (inoculação de uma estirpe fraca do vírus, visando a imunização da planta contra a estirpe forte que causa a doença).

12. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AGRIOS, G.N. Plant diseases caused by viruses. In: AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. 4th ed. San Diego: Academic Press, 1997. p.479-563.
- BEDENDO, I.P. Virus. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds.). **Manual de fitopatologia**:

- princípios e conceitos. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.1, p.132-160.
- BOS, L. **Introduction to plant virology**. Wageningen: PUDOC, 1983. 160p.
- CARVALHO, M.G. **Viroses vegetais e fitovírus**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 54p.
- MATHEWS, R.E.F. **Plant virology**. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 1991. 654p.
- MATHEWS, R.E.F. **Fundamentals of plant virology**. San Diego: Academic Press, 1992. 403p.
- WALKEY, D.G.A. **Applied plant virology**. New York: John Willey & Sons, 1985. 232p.