

FOTOPERIODISMO

Homero Bergamaschi

Professor da UFRGS e bolsista do CNPq

1. Introdução

O comprimento de um dia é conhecido como *fotoperíodo* e as respostas do desenvolvimento das plantas ao fotoperíodo são chamadas *fotoperiodismo*. (Chang, 1974).

Há muito tempo, o homem tem conhecimento de respostas dos seres vivos à variação na duração do dia. Muitas espécies, tanto vegetais como animais, têm o seu ciclo vital (ou pelo menos parte dele) regulado pelo fotoperíodo. Tanto animais ditos “inferiores” (insetos, por exemplo) como muitos mamíferos e outros animais de grande porte manifestam influências à variação na duração do dia. Porém, é no estudo da fenologia vegetal que as atenções e as aplicações do fotoperiodismo sempre foram maiores. Do ponto de vista agrônomo, o maior interesse pelo estudo do fotoperiodismo decorre das respostas de muitas espécies importantes à variação na duração do dia, no processo de indução ao florescimento, afetando fortemente todo o desenvolvimento fenológico das plantas.

A primeira publicação científica importante sobre fotoperiodismo foi feita por Garner & Allard (1920). Ainda em 1906, trabalhando com uma cultivar antiga de fumo Maryland Narrowleaf, eles observaram que algumas plantas cresceram a uma grande altura, produzindo um número extraordinário de folhas. A partir dessas plantas, foi selecionada uma nova cultivar de fumo (Maryland Mammoth), de florescimento muito tardio. As plantas dessa nova cultivar eram mortas pelas geadas de outono, antes que o florescimento ocorresse. Porém, cultivadas em casa-de-vegetação no inverno, elas floresciam e produziam sementes normalmente. Eles também descobriram que, mesmo em casa-de-vegetação, as plantas não floresciam se o dia fosse prolongado por luz artificial. O estudo do “gigantismo” das plantas de fumo despertou o interesse para estudos mais aprofundados, tanto por aspectos relacionados à produção de folhas como pelo interesse científico. Posteriormente, o mesmo comportamento foi observado em diversas outras cultivares de fumo.

Mais tarde, várias outras espécies vegetais foram estudadas por Garner e Allard. Eles descobriram que, além do efeito sobre a formação de flores, frutos e sementes, o fotoperíodo tem influência sobre o crescimento vegetativo, a formação de bulbos e tubérculos, o processo de ramificação, a forma das folhas, a abscisão e queda de folhas, a formação de pigmentos, pubescência, desenvolvimento radicular, dormência e morte de plantas. Verificou-se que fluxo de luz necessário para provocar resposta fotoperiódica é tão baixo que mesmo o crepúsculo, antes do nascer-do-sol e depois do por-do-sol, é efetivo (Chang, 1974).

Em soja Garner e Allard (1920) observaram que, quando semeadas em épocas sucessivas, certas cultivares mostravam forte tendência de florescer em datas aproximadas, independentemente de quando haviam sido semeadas. Em outras palavras, quanto mais tarde fosse feita a semeadura mais curto era o período de crescimento, até o

florescimento. Em trabalhos feitos com soja no inverno, utilizando diferentes níveis de aquecimento (em estufa) para avaliar o efeito da temperatura sobre a produção de óleo, verificou-se que as plantas começavam a florescer antes que tivessem atingido um crescimento normal, dificultando os estudos. Como no caso do fumo Mammoth, a época do ano em que as plantas crescem também exerce grande influência sobre o crescimento e a reprodução da soja.

Na publicação original de Garner e Allard (1920), maiores destaques são dados aos trabalhos de campo com soja. Foram utilizadas quatro cultivares, com ciclos de maturação distintos: Mandarin (mais precoce), Peking, Tokyo e Biloxi (mais tardia). A Tabela 1 resume os principais eventos fenológicos dos quatro genótipos, evidenciado as diferentes respostas à variação na época de cultivo.

Tabela 1. Efeito da data de semeadura sobre a data de florescimento de soja, cultivado no campo em Arligton - Virgínia, 1909 (Garner e Allard, 1920).

Emergência plantulas	Mandarin		Peking		Tokyo		Biloxi	
	Data flor.	Dias p/ flor.	Data flor.	Dias p/ flor.	Data flor.	Dias p/ flor.	Data flor.	Dias p/ flor.
02/05	11/06	40	08/07	67	28/07	87	04/09	125
16/05	14/06	29	11/07	56	28/07	73	02/09	109
02/06	28/06	26	28/07	56	11/08	70	04/09	94
16/06	11/07	25	06/08	51	16/08	61	11/09	92
03/07	27/07	24	16/08	44	26/08	56	18/09	77
15/07	06/08	25	22/08	38	31/08	47	22/09	69
02/08	26/08	24	06/09	35	11/09	40	29/09	58
Variação de 92 dias	Var. 76 dias		Var. 60 dias		Var. 45 dias		Var. 25 dias	

É possível observar que o efeito do fotoperíodo é maior na cultivar mais tardia (Biloxi), na qual o período entre a emergência e o florescimento variou apenas em 25 dias, quando as datas de emergência variaram em 92 dias. Isto é devido a que, submetidas a dias progressivamente mais curtos, as plantas das últimas épocas encurtam o crescimento vegetativo devido à indução ao florescimento. A cultivar mais precoce (Mandarin) reduziu menos o período vegetativo, demonstrando uma dependência menor ao fotoperíodo do que as demais.

2. Variação astronômica do fotoperíodo

Sabe-se que a Terra realiza, no decurso de um ano, um giro ao redor do Sol, em um movimento denominado “translação”. No percurso que descreve, ao longo de sua órbita, o nosso planeta assume quatro posições características, que determinam o início de cada estação do ano. Com uma inclinação de 23°27' entre o plano equatorial e o plano da eclíptica, o eixo de rotação da Terra mantém uma mesma posição em relação à sua órbita, como mostra a Figura 1.

As posições da Terra que marcam o início das quatro estações do ano consistem em dois solstícios (de inverno e verão) e dois equinócios, conforme a Tabela 2.

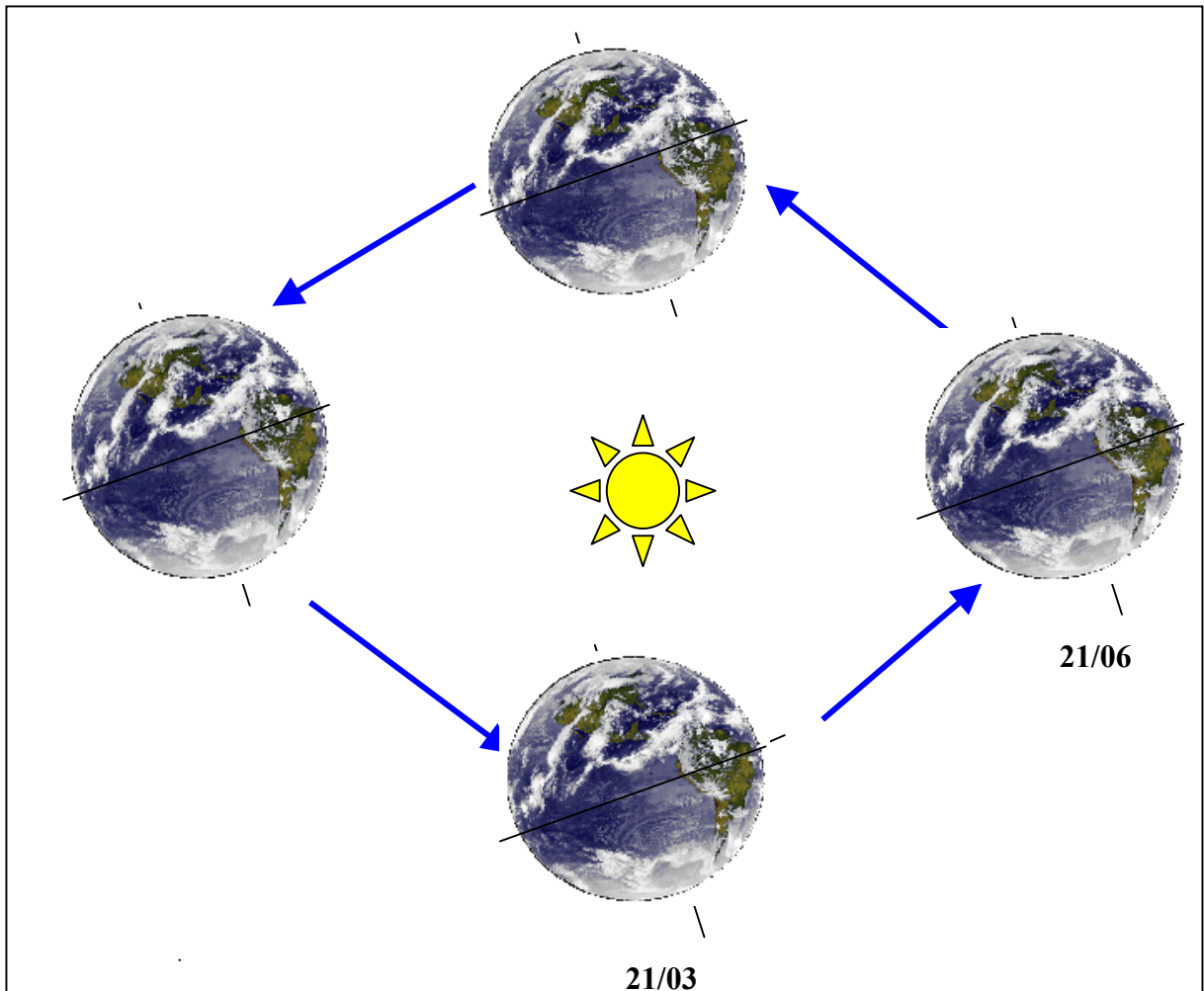


Figura 1. Posições da Terra em relação ao Sol, ao longo de um ano, nos dois solstícios (21 de junho e 21 de dezembro) e nos dois equinócios (21 de março e 22 de setembro).

Em decorrência da mudança de posição da Terra, em relação ao Sol, a incidência da radiação solar sobre o nosso planeta altera seu ângulo, conforme sua posição descrita na Tabela 2, também representado na Figura 2. A variação no ângulo de incidência da radiação solar, causada pela alteração da declinação solar, faz variar a quantidade de radiação que chega à superfície, por duas razões: pela alteração no fluxo de energia incidente sobre cada unidade de superfície e pela variação na duração dos dias, ao longo do ano. Neste momento, o interesse se prende à variação na duração dos dias (fotoperíodo) e seus efeitos sobre as plantas, em termos de processos fotomorfogênicos.

Conforme pode-se observar na Figura 2, a duração dos dias se altera na medida em que se modifica a posição do nosso Planeta em relação ao Sol. Nos dois equinócios o fotoperíodo tem 12h em todas as latitudes. Nos dois solstícios a duração do dia atinge seu valor extremo, sendo máximo no verão e mínimo no de inverno. No solstício de verão do Hemisfério Sul (21/12) o dia varia de 12h no Equador a 24h a partir do Círculo Polar Antártico. Ao contrário, no solstício de inverno do Hemisfério Sul (21/06) o fotoperíodo vai de 12h no Equador à noite de 24h a partir do Círculo Polar Antártico.

Para o Hemisfério Norte, invertem-se as estações inverno e verão, ou seja, há uma defasagem de seis meses.

Tabela 2. Posições características do Sol em relação à Terra, no início das quatro estações do ano.

Data	21/03	21/06	22/09	21/12
Posição (Hemisf. Sul)	Equinócio de Outono	Solstício de Inverno	Equinócio de Primavera	Solstício de Verão
Sol perpendicular sobre	Equador (latitude 0°)	Trópico Câncer (23°27'N)	Equador (latitude 0°)	Tróp. Capricórnio (23°27'S)
Sol tangenciando	Polos	Círculo Polar Antártico (meio-dia)	Polos	Círculo Polar Ártico (meio-dia)
Duração dos dias	Dias com 12 h (todas latitudes)	Dias longos no Hemisf. Norte	Dias com 12 h (todas latitudes)	Dias longos no Hemisf. Sul

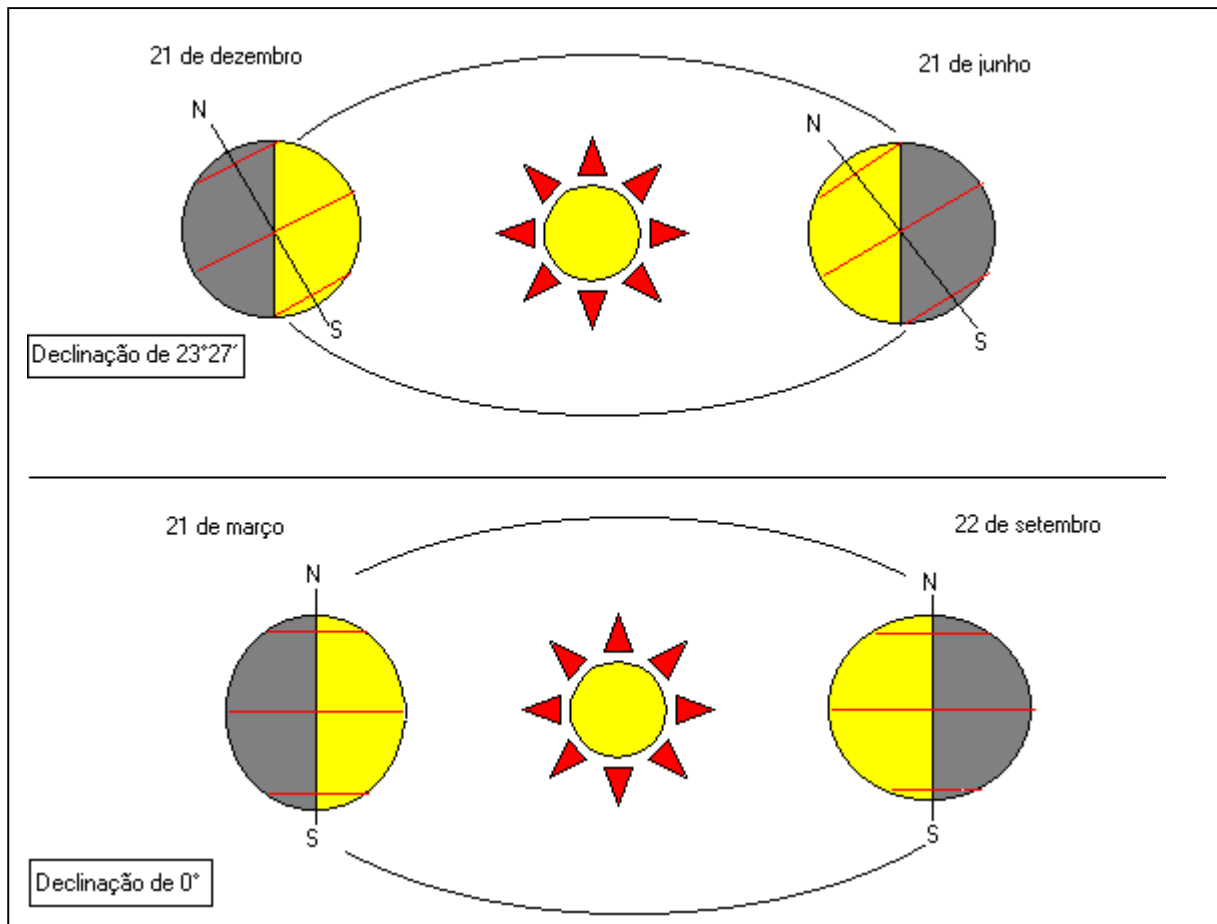


Figura 2. Representação esquemática (em plano) das posições características do Sol em relação à Terra, no início das quatro estações do ano, em decorrência da mudança na declinação solar.

Portanto, na faixa do Equador (latitude de 0°) o fotoperíodo tem 12h em todo o ano. Nas demais regiões, a duração do dia aumenta no verão, à medida em que aumenta a latitude, e diminui no inverno pela mesma razão.

A Figura 3 representa a variação do fotoperíodo, ao longo do ano, em latitudes entre 0 e 40°, no Hemisfério Sul. Observa-se, mais uma vez, que o fotoperíodo é igual a 12h em todas as latitudes, nos dois equinócios (daí decorre a sua denominação). Nos dois solstícios a duração do dia continua em 12h no Equador, mas aumenta com a latitude no verão e se reduz no inverno.

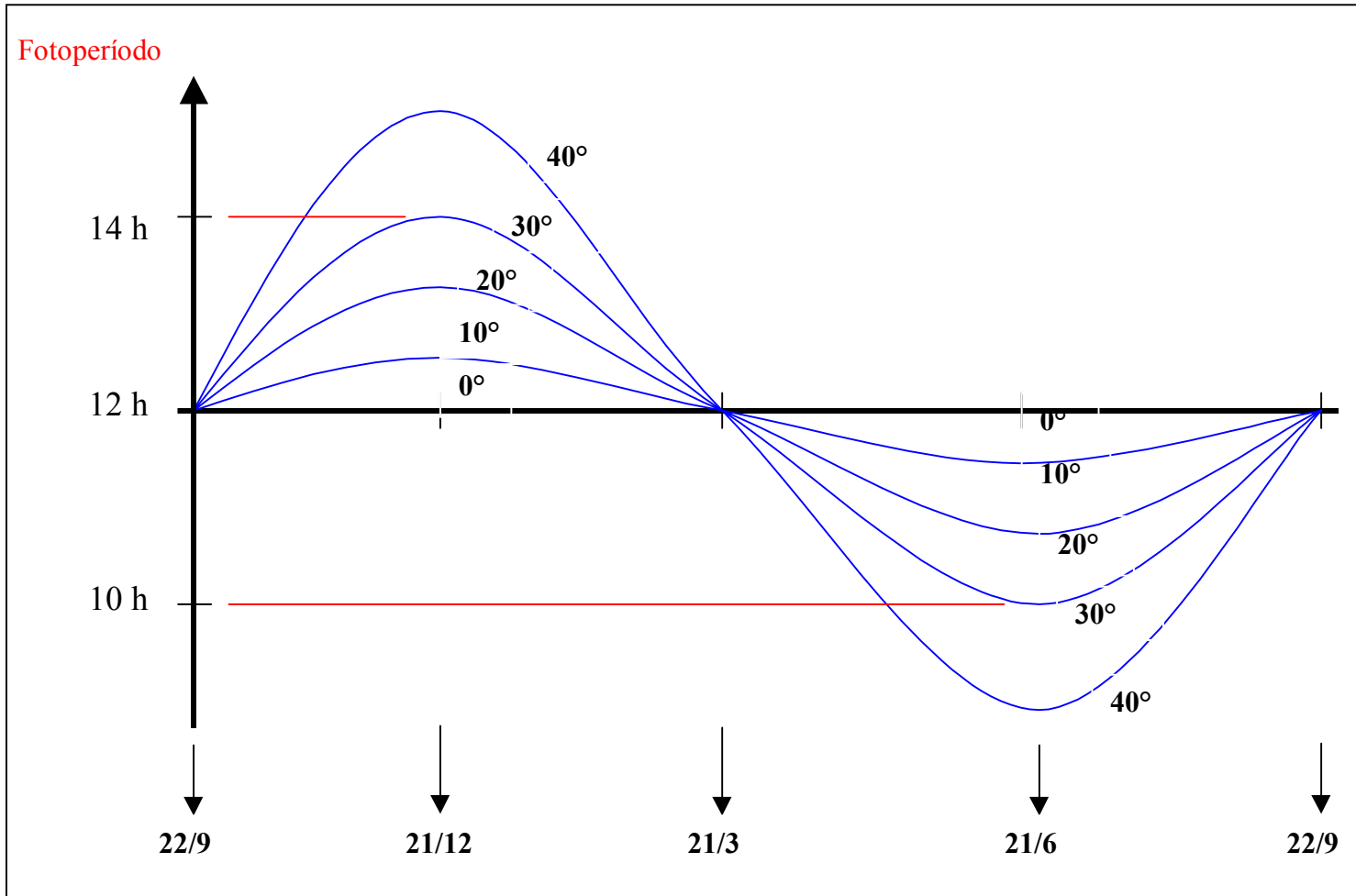


Figura 3. Variação anual do fotoperíodo em diferentes latitudes do Hemisfério Sul.

Para a latitude de 30°, por exemplo, que é a latitude aproximada de Porto Alegre, o fotoperíodo varia de cerca de 10h em 21 de junho a 14h em 21 de dezembro. Nas regiões tropicais esta duração é menor, enquanto que em maior latitude a amplitude da duração dos dias é mais ampla. O efeito da latitude sobre a amplitude de variação do fotoperíodo aumenta ainda mais, em grandes latitudes, em virtude da curvatura da Terra naquelas regiões.

3. Classificação das plantas quanto ao fotoperiodismo

No trabalho original de Garner & Allard (1920) o comprimento relativo do dia foi considerado como um fator de primeira importância no desenvolvimento das plantas, particularmente na reprodução sexuada. As plantas foram agrupadas considerando que a entrada em florescimento e frutificação se dá apenas quando o comprimento do dia está dentro de certos limites, fazendo com que essas fases sejam alcançadas apenas em certas épocas do ano. Por isso, algumas espécies e cultivares respondem a comprimentos

relativos de **dias longos**, enquanto outras respondem a **dias curtos** e, ainda outras são capazes de responder a **todos os comprimentos de dia**.

Na ausência do comprimento de dia favorável para induzir a expressão dos processos reprodutivos, certas espécies podem continuar em crescimento vegetativo, de forma mais ou menos indefinida, levando ao fenômeno do gigantismo. Ao contrário, sob influência do fotoperíodo adequado, o florescimento e a frutificação podem ser induzidos mais precocemente. Assim, certas cultivares ou espécies podem ser de maturação precoce ou tardia, dependendo simplesmente do comprimento do dia em que as plantas são expostas.

Assim, a partir do trabalho de Garner e Allard (1920), surgiu a primeira classificação das plantas, quanto ao fotoperíodo, agrupando-as em três categorias. A denominação e o significado de cada grupo passou a ser os seguintes:

Plantas de dias curtos (PDC). São as espécies que florescem em fotoperíodos menores do que um máximo crítico.

Plantas de dias longos (PDL). São as espécies que florescem em fotoperíodos maiores do que um mínimo crítico.

Plantas de dias neutros ou fotoneutras (PDN). São aquelas que florescem em uma ampla faixa de variação do fotoperíodo.

Allard (1938), citado por Chang (1974) acrescentou um quarto grupo, designado como Plantas intermediárias (IM). Estas florescem a um comprimento de dias de 12 a 14h, mas são inibidas à reprodução tanto por fotoperíodos acima como abaixo desta faixa.

Na caracterização da resposta fotoperiódica das plantas de dias curtos e das plantas de dias longos, feita originalmente por Garner e Allard (1920) fica implícito que o fotoperíodo é uma condição indispensável para que haja indução ao florescimento. Entretanto, estudos posteriores mostraram que é muito variável a intensidade de resposta das espécies à alteração na duração do dia. Assim é que, segundo Vince-Prue (1975), os dois grupos de plantas sensíveis ao fotoperíodo (PDC e PDL) foram subdivididos em espécies de resposta absoluta ou qualitativa e espécies de resposta facultativa ou quantitativa.

O tipo de resposta absoluta ou qualitativa significa que a condição fotoperiódica é essencial à indução floral, sem a qual as plantas não florescem. Ao contrário, a resposta facultativa ou quantitativa subentende que a condição fotoperiódica favorece a indução floral, mas não é essencial.

A Tabela 2 mostra uma série de espécies vegetais e seus respectivos grupos, segundo o tipo de resposta fotoperiódica. Ao lado das letras que caracterizam o tipo de resposta de cada espécie, é apresentado o fotoperíodo crítico necessário para a indução ao florescimento (última coluna). Pode-se observar que o critério de classificação das espécies ou grupos de cultivares, como “de dias longos” ou “de dias curtos”, não está relacionado à magnitude do fotoperíodo crítico exigido. A classificação segue a idéia original, de que uma planta de dias curtos necessita fotoperíodo de “no máximo” tantas

horas. Em outras palavras, as PDC são induzidas a florescer se a duração do dias for igual ou inferior àquele valor crítico que caracteriza a espécie ou cultivar. Para plantas de dias longos deve-se considerar que elas florescerão se o fotoperíodo for igual ou superior ao mínimo crítico de sua espécie ou cultivar.

Pode-se observar que, de um modo geral, plantas de dias longos são aquelas que crescem na estação fria, florescem durante a primavera, que é quando a duração do fotoperíodo se alonga, para encerrar o ciclo no final da primavera ou início de verão. Por sua vez, as espécies de dias curtos são aquelas que iniciam o ciclo na primavera, florescem quando os dias já estão se encurtando, no verão ou início de outono, e terminam o ciclo no outono ou início de inverno. Assim, os cereais de inverno e outras espécies de estação fria são (em geral) plantas de dias longos. As espécies de primavera-verão são de dias curtos ou fotoneutras.

Dentre os cereais de inverno, bem como em outras culturas de clima temperado, há uma subdivisão de cultivares em dois grupos: de primavera e de inverno. Esta subdivisão não segue a exigência fotoperiódica. As cultivares de inverno exigem tratamento de vernalização no início do ciclo, portanto, exigem invernos rigorosos, enquanto que as de primavera não necessitam do tratamento de frio. Este aspecto é melhor estudado no capítulo que trata dos efeitos de baixas temperaturas sobre as culturas.

Algumas espécies, graças à grande diversidade de cultivares, têm mais de um tipo de exigência fotoperiódica. É o caso da soja, do milho e do fumo. Considerando a grande expansão geográfica destas espécies, o trabalho de melhoramento genético conseguiu uma grande variabilidade de respostas, de maneira a adaptar os genótipos às disponibilidades de cada região de cultivo. É o caso da soja, que é originária de latitudes elevadas, no norte da China e que, progressivamente foi se expandindo para regiões mais próxima ao Equador. No Brasil, a soja começou a se expandir pelo Rio Grande do Sul, em latitude mais próximas às originais, mas foi sendo transferida para outros estados da Região Sul, da Região Centro-Oeste e, atualmente, até por regiões próximas ao Equador. Isto foi exigindo cada vez menor resposta a dias curtos, chegando-se a cultivares praticamente fotoneutras (insensíveis ao fotoperíodo).

Usando informações da Tabela 2 é possível formular alguns exemplos de aplicação do fotoperiodismo. Tomando o exemplo da espécie *Andropogon gerardii*, pode-se observar que ela tem um fotoperíodo crítico de 18h, mas é de resposta absoluta a dias curtos. Portanto, em qualquer região do Brasil ela terá condições fotoperiódicas para florescer em qualquer época do ano, pois o fotoperíodo não ultrapassa aquela duração, mesmo nas regiões de maior latitude. Por outro lado, plantas de *Agrostis palustris*, que exigem fotoperíodos de 16h ou mais, jamais terão condições naturais para florescer em qualquer região do Brasil, onde esta duração nunca é alcançada. O seu florescimento poderá ser obtido através de suplementação de luz, alongando o fotoperíodo através de iluminação artificial. Este é o caso de outras espécies ou cultivares que, ao serem introduzidas não cumprem o ciclo, inviabilizando a sua propagação por sementes. Alguns genótipos mais tardios de trevo vermelho (*Trifolium pratensis*) florescem muito tardiamente no Rio Grande do Sul, devido à exigência de fotoperíodo longo, comprometendo a sua ressemeadura e perenização, quando ocorrem altas temperaturas e déficit hídrico no final da primavera ou início do verão no final do ciclo do ciclo, sobretudo nas regiões mais quentes.

Tabela 3. Resposta fotoperiódica de algumas espécies cultivadas (Chang, 1974).

Espécie	Grupo cultivares	Tipo de resposta¹	Fotoperíodo crítico
GRAMÍNEAS			
<i>Hordeum vulgare</i>	primavera	l	
	Inverno	L	>12h
<i>Andropogon gerardii</i>		S	<18h
<i>Agrostis palustris</i>		L	>16h
<i>Poa annua</i>		N	
<i>Poa pratensis</i>		l	
<i>Bromus inermis</i>		L	>12,5h
<i>Andropogus virginicus</i>		s	12 a 14,5h
<i>Phalaris arundinacea</i>		L	>12,5h
<i>Agrostis nebulosa</i>		L	>13h
<i>Zea mays</i>		N, S	
<i>Festuca elatior</i>		L	
<i>Alopecurus pratensis</i>		L	>9h
<i>Avena sativa</i>		L	>9h
<i>Dactylis glomerata</i>		L	>12h
<i>Oryza sativa</i>	Verão	L	>12h
	Inverno	N	
<i>Secale cereale</i>	Primavera	l	
	Inverno	l	
<i>Lolium italicum</i>		L	>11h
<i>Lolium perene</i>		L	>9h
<i>Sorghum vulgare</i>		l	
<i>Holcus sudanensis</i>		s	
<i>Saccharum officinarum</i>		s, IM	12 a 14h
<i>Phleum pratense</i>		L	>12h
<i>Phleum nodosum</i>		L	>14,5h
<i>Triticum aestivum</i>	Primavera	l	
	Inverno	L	>12h
<i>Agropyron smithii</i>		L	>10h
LEGUMINOSAS E OUTRAS CULTURAS			
<i>Medicago sativa</i>		l	
<i>Beta vulgaris</i>		L	
<i>Trifolium spp.</i>		l	
<i>Trifolium pratense</i> (trevo vermelho)		L	>12h
<i>Gossypium hirsutum</i>		N, s	
<i>Lespedeza stipulacea</i>		S	<13,5h
<i>Glycine max</i>		S, s	
<i>Melilotus alba</i>		L	
<i>Vicia sativa</i>		l	
<i>Nicotiana tabacum</i>		N, l (Havana), S (mammoth)	

¹ l – dias longos favorecem (resp. facultativa); L – exigem dias longos (resp. absoluta);
s – dias curtos favorecem (resp. facultativa); S – exigem dias curtos (resp. absoluta);
N – fotoneutras; IM – intermediárias.

De acordo com Vince-Prue (1975), algumas espécies vegetais têm dupla exigência fotoperiódica. Por exemplo, em *Cestrum nocturnum* o florescimento ocorre em dias curtos (DC), mas somente depois que as plantas tenham previamente recebido um número suficiente de dias longos (DL). Esta é uma espécie de plantas de dias longos-curtos (PDLS). Em *Scabiosa succisa* o florescimento ocorre em dias longos (DL), mas somente depois que as plantas tenham recebido antes dias curtos (DC). Este é um exemplo de plantas de dias curtos-longos (PDCL).

O número mínimo de ciclos de fotoperíodo indutivo, necessário para completar o processo de indução floral, é variável entre as espécies. Em outras palavras, algumas plantas são extremamente rápidas em completar a resposta fotoperiódica, bastando um dia apenas, enquanto que outras são mais lentas, exigindo vários dias para completar o processo. A Tabela 4 relaciona uma série de espécies, de acordo com o número mínimo de ciclos indutivos necessários à indução fotoperiódica ao florescimento.

Tabela 4. Numero mínimo de ciclos indutivos necessários para a iniciação floral (Vince-Prue, 1975).

Grupo de plantas	Nome científico	Ciclos indutivos
a. Plantas de dias curtos	<i>Chenopodium polyspermum</i>	1
	<i>Chenopodium rubrum</i>	1
	<i>Lemma Paucicostata</i>	1
	<i>Lemma perpusilla</i> – cv. 6746	1
	<i>Oryza sativa</i> – cv. Zuiho	1
	<i>Pharbis nil</i> – cv. Violet	1
	<i>Wolffia microscopia</i>	1
	<i>Xanthium strumarium</i>	1
	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>	2
	<i>Glycine max</i> – cv. Biloxi	2-3
	<i>Cannabis sativa</i>	4
	<i>Perilla crispa</i> – folhas vermelhas - plantas mais velhas	7-9 3-5
	<i>Perilla ocymoides</i>	7
	<i>Fragaria x ananassa</i> – cv. Blakemore - cv. Talisman	6 8
	<i>Chrysanthemum morifolium</i>	12
b. Plantas de dias longos	<i>Anagallis arvensis</i>	1
	<i>Anthriscus cerefolium</i>	1
	<i>Brassica campestris</i>	1
	<i>Lemma gibba</i>	1
	<i>Lolium temulentum</i>	1
	<i>Sinapis alba</i>	1
	<i>Spinacia oleracea</i>	1
	<i>Hyoscyamus niger</i>	2-3
	<i>Arabidopsis thaliana</i>	4
	<i>Silene armeria</i>	6
c. Plantas dias curtos-longos	<i>Cestrum nocturnum</i>	5DL; 2DC
	<i>Bryophyllum daigremontenum</i>	60DL; 15DC
	<i>B. crenatum</i>	20DL; 9-12DC
d. Plantas dias longos-curto	<i>Echeveria harmsii</i>	20DC; 10DL

Pode-se observar, pela Tabela 4, que a soja (*Glycine max* – cultivar Biloxi) necessita 2 a 3 dias apenas com fotoperíodo favorável, enquanto que o crisântemo (*Chrysanthemum morifolium*) exige cerca de 12 dias com duração crítica.

Quanto ao limite mínimo de luz necessário para iniciar o processo de indução floral, também há diferenças entre espécies, como pode ser visto na Tabela 5. Entretanto, em geral, o fluxo luminoso exigido é muito baixo, comparado à quantidade de energia necessária a outros processos metabólicos, como a fotossíntese, por exemplo. Pode-se ver que o limite luminoso para soja (*Glycine max*) é da ordem de 0,1 lux e para cevada (*Hordeum vulgare*) é de 2,5 a 5 lux. Para ter-se a ordem de grandeza do que isto representa, basta lembrar que ao meio-dia, nos trópicos, a densidade de fluxo luminoso proveniente da radiação solar pode ultrapassar 100.000 lux (Chang, 1974).

Tabela 5. Limite mínimo aproximado de luz necessária para supressão ou indução à iniciação floral, em algumas plantas de dias longos e de dias curtos (Vince-Prue, 1975).

Grupos de plantas	Espécies	Limite de luz (lux) ¹
Plantas de dias curtos	<i>Chrysanthemum morifolium</i>	21,5
	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>	21,5
	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	5
	<i>Pharbitis nil</i>	1-10
	<i>Cannabis sativa</i> – cv. Kentucky	0,3
	<i>Glycine max</i>	0,1
	<i>Xanthium strumarium</i>	0,1
Plantas de dias longos	<i>Brassica campestris</i>	1075
	<i>Lolium temulentum</i> – cv. Ceres	10,5
	<i>Silene armeria</i>	7,5-21,5
	<i>Hordeum vulgare</i>	2,5-5
	<i>Callistephus chinensis</i>	1-3

¹ Limites determinados com lâmpadas de filamento de tungstênio, continuamente, durante a noite ou na maior parte da noite.

Considerando a baixa exigência em termos de fluxo luminoso para início da indução floral, o cálculo da duração do dia natural necessário para plantas sensíveis ao fotoperíodo leva em conta a luz do crepúsculo, tanto matutino como vespertino. Em seu trabalho clássico, Francis (1972) elaborou gráficos e tabelas para determinar a duração do fotoperíodo, ao longo do ano e em diferentes latitudes, para limites mínimos de 11, 22, 54 e 108 lux. Para isto, foi considerado que os ângulos de -6° , -5° , -4° , -3° , -2° e -1° , portanto com o sol abaixo do horizonte, equivalem a um fluxo luminoso de 2, 5, 13, 40, 113 e 250 lux, respectivamente.

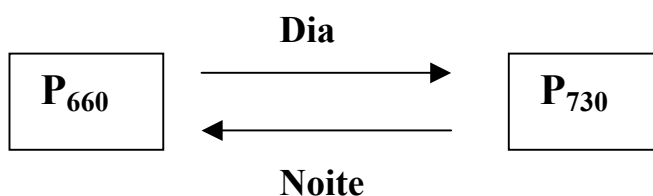
Vince-Prue (1975) considera que a iluminação noturna de ruas pode influenciar o florescimento de muitas espécies de plantas. As lâmpadas de filamento de tungstênio e de vapor de sódio têm maior quantidade de luz fotoperiodicamente efetiva, enquanto que lâmpadas de vapor de mercúrio contêm menos luz vermelha e, por isto, devem influenciar menos as respostas fotoperiódicas. Quanto a possíveis influências da luz da lua, a autora considera que, dada a baixíssima quantidade de luz vermelha (mesmo em noites de lua cheia) e às reduções no fluxo luminoso nas folhas por sombreamento e

inclinação das folhas, os limites mínimos de luz fotoperiodicamente efetiva exigidos não são atingidos. Assim, mesmo em espécies mais sensíveis, a luz proveniente da lua cheia não deve influenciar a indução floral.

4. Indução fotoperiódica ao florescimento

Há muito tempo é sabido que as folhas são os órgãos de recepção do estímulo necessário à indução ao florescimento. Inúmeros trabalhos demonstraram que as folhas são os órgãos que devem ser expostos à condição fotoperiódica necessária. Experimentos isolando folhas do restante da planta, transferindo folhas ou parte de folhas de uma planta a outra, demonstraram que, uma vez colocadas na condição necessária à indução floral, transmitem o estímulo e levam o restante da planta a florescer normalmente.

Sabe-se, também, que o fitocromo é o pigmento responsável por desencadear o processo de indução. Ele absorve radiação dentro das faixas do vermelho (500 a 600nm de comprimento de onda) e vermelho distante (600 a 700nm de comprimento de onda), assumindo alternadamente duas estruturas distintas simbolizadas por P_{660} e P_{730} . Esses símbolos correspondem aos dois picos de absorção de radiação pelo fitocromo, nas faixas do vermelho e do vermelho distante, respectivamente, embora possa haver variações entre espécies ou condições (Kendrick e Frankland, 1981). Durante o dia, na presença da radiação solar, o fitocromo se converte de P_{660} a P_{730} , acumulando nesta forma. À noite, na ausência de luz, ele reverte o processo e se acumula na forma de P_{660} , segundo o esquema:



Assim, na condição de dias longos, a forma P_{730} se acumula por longo tempo, o que induz plantas de dias longos ao florescimento e suprime o florescimento de plantas de dias curtos. Ao contrário, na condição de dias curtos, a forma P_{660} se acumula por um longo tempo, induzindo plantas de dias curtos a florescer e inibindo o florescimento de plantas de dias longos.

5. Importância do período escuro

Até este ponto, foi destacada a importância do fotoperíodo (período claro do dia) sobre o processo de indução floral. Diversos trabalhos de pesquisa demonstraram que, na verdade, a duração do período escuro do dia (nictoperíodo) é a responsável por desencadear o processo de indução ao florescimento em plantas sensíveis.

A Figura 4 demonstra a maior importância da duração da noite (nictoperíodo) em comparação à duração do dia (fotoperíodo). Plantas de dias curtos e plantas de dias

longos foram, inicialmente, submetidas a condições diferentes de fotoperíodo e a indução ao florescimento seguiu a lógica esperada, ou seja PDC floresceram em dia curto e noite longa, enquanto que PDL floresceram em dia longo e noite curta. Posteriormente, uma noite longa foi dividida em duas noites curtas por uma breve interrupção por luz, induzindo as plantas de dias longos a florescerem, enquanto as PDC não floresceram. Quando o dia longo foi interrompido e transformado em dois dias curtos, nada alterou comm relação à indução normal das PDC e PDL. Por fim, a alternância de dia curto com noite curta causou florescimento das plantas de dias longos (noites curtas), enquanto que dia longo seguido por noite longa fez florescer plantas de dias curtos (noites longas).

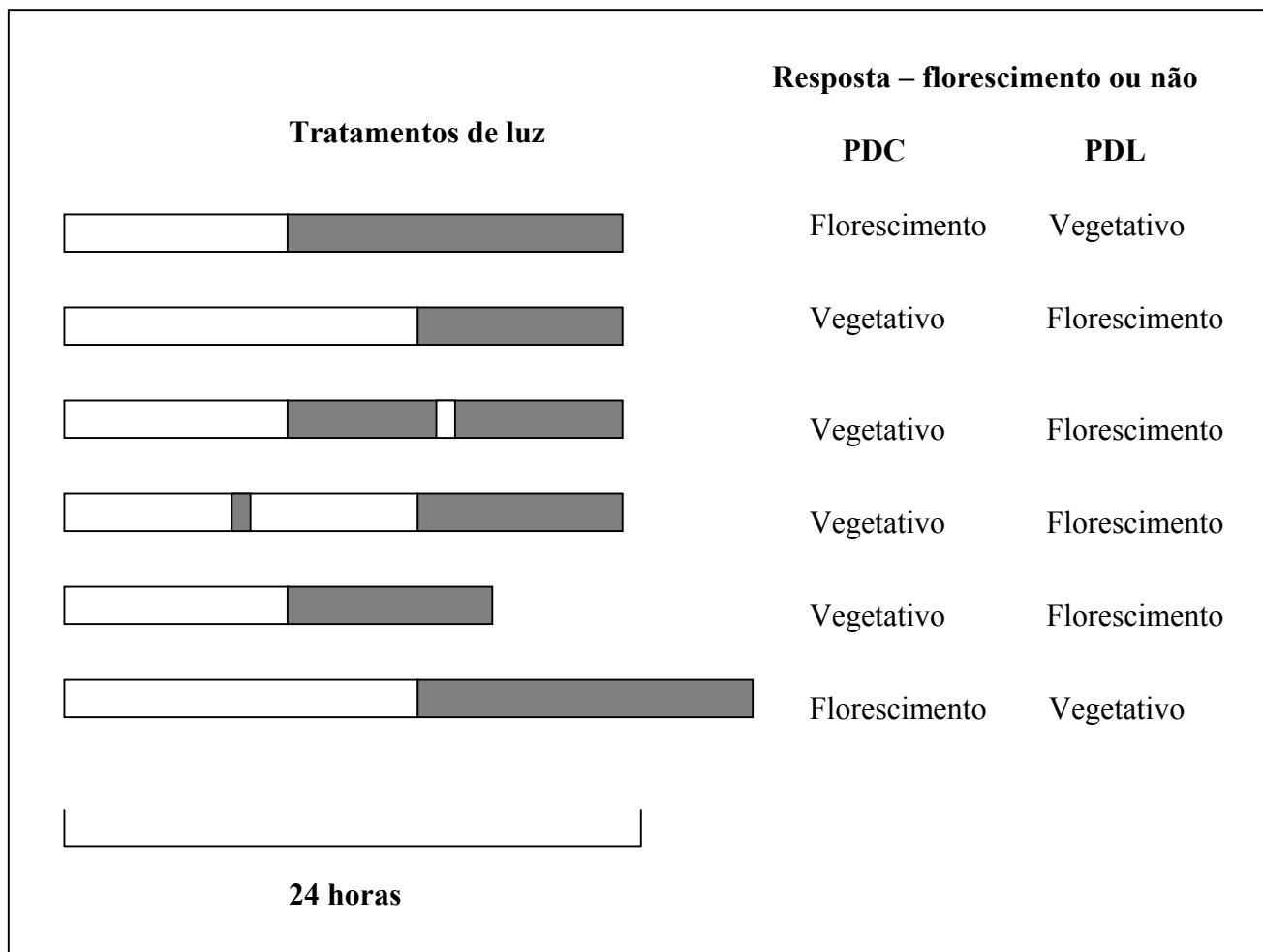


Figura 4. Efeitos da duração do período escuro sobre o florescimento de plantas de dias curtos e plantas de dias longos. PDC florescem com noites longas e PDL florescem com noites curtas (Vince-Prue, 1975).

Portanto, a duração da noite (nictoperíodo) é que controla o processo de indução ao florescimento em plantas sensíveis à variação na duração do dia. Entretanto, permanece a mesma denominação de plantas de dias curtos, plantas de dias longos, etc., na classificação das espécies segundo a sua resposta ao fotoperíodo.

Pesquisas como a que está ilustrada na Figura 4 e outras, também demonstraram que o processo de indução fotoperiódica ao florescimento é reversível. Outros tipos de experimentos também demonstraram a reversibilidade do processo de indução floral,

alternando curtos períodos de luz nas faixas do vermelho e do vermelho distante, no período noturno. Tomando plantas de dias curtos (noites longas), aplicou um fotoperíodo curto e noite longa e elas floresceram. Ao lado dessas, plantas da mesma espécie tiveram noites longas divididas em duas noites curtas por um rápido período de luz vermelha e elas não floresceram. Portanto, a luz vermelha reverteu o processo de indução, transformando rapidamente P_{660} em P_{730} . Outro conjunto de plantas que também receberam tratamento de luz vermelha no meio da noite, mas seguido de luz vermelho distante. Neste caso, a indução ao florescimento ocorreu, revertendo novamente o fitocromo de P_{730} a P_{660} . E assim sucessivamente, alternando intervalos de luz entre as duas faixas de luz (vermelho e vermelho distante), havia predomínio do último tratamento, comprovando a reversibilidade do processo e a inter-conversão do fitocromo, de acordo com o comprimento de onda da luz recebida.

6. Aplicações do fotoperiodismo

São inúmeras as aplicações do fotoperiodismo, sobretudo no campo agrônomo.

6.1. Introdução, seleção e indicação de materiais genéticos.

Toda a vez que uma nova espécie ou uma nova cultivar de plantas fotoperiódicamente sensíveis mudar de latitude ou de época de cultivo, haverá mudança no desenvolvimento fenológico. A razão é muito simples: de acordo com a Figura 3, o fotoperíodo varia com a latitude e com a época do ano, o que provoca influências no desenvolvimento de espécies sensíveis a este fator.

Na Figura 5 pode-se observar que, se uma cultivar de soja for transferida da Argentina ou Chile (a 40° de latitude) para o Rio Grande do Sul (a 30° de latitude) ou, então, do Rio Grande do Sul para o Mato Grosso ou qualquer outra região de menor latitude, este material estará sendo submetido a condições diferentes de fotoperíodo. Como a soja é uma planta de dias curtos, que floresce durante o verão, quando os dias se encurtam, à medida em que diminui a latitude as plantas estarão sendo submetidas a dias mais curtos. Isto quer dizer que aquela cultivar que estiver sendo transferida para menores latitudes se tornará mais precoce. Significa dizer que, mesmo que as plantas sejam semeadas na mesma época, elas alcançarão antes a condição fotoperiódica favorável na regiões de menor latitude, que têm dias mais curtos no verão.

Suponhamos que uma cultivar de soja tenha um fotoperíodo crítico de 13h. Significa que ela será induzida com dias iguais ou menores do que esta duração. Em localidades de menor latitude este fotoperíodo é atingido antes. Em regiões tropicais esta condição poderá ocorrer em qualquer época do ano, razão pela qual a cultivar considerada terá condições fotoperiódicas para florescer assim que cumprir o chamado “período juvenil”. Ela será, então, de ciclo curto nos trópicos, enquanto que nas regiões de latitudes maiores ela será de ciclo médio ou tardio, conforme a magnitude do fotoperíodo.

Ao contrário, se uma espécie ou cultivar de dias longos for transferida de latitudes maiores (Argentina, por exemplo) para regiões mais próximas do equador elas se tornarão mais tardias, ou seja, elas devem alongar o seu ciclo por receberem o estímulo fotoperiódico mais tardiamente, a não ser que ela tenha um fotoperíodo crítico

muito curto. Como, em geral, plantas de dias longos florescem na primavera, portanto a fotoperíodos acima de 12h, elas alongam o ciclo em regiões tropicais.

Por exemplo, se uma PDL tiver um fotoperíodo crítico de 13h ela terá esta condição antes em locais de maior latitude (na primavera), sendo induzida antes ao florescimento. Em regiões de menor latitude o florescimento será retardada, pois fotoperíodos favoráveis (acima de 13h) ocorrerá mais tardiamente. Mais próximo ao Equador, este material poderá até não florescer, se o fotoperíodo crítico não ocorrer, mesmo próximo ao solstício de verão.



Figura 5. Mapa da América do Sul, representando diferentes regiões possíveis de serem cultivadas com soja, em latitudes variadas.

Na Figura 6 estão representadas as épocas em que um genótipo de dias longos (PDL) e outro de dias curtos (PDC), ambos com fotoperíodo crítico de 13h, serão induzidos a florescer, em diferentes latitudes. Nota-se que, com esta exigência fotoperiódica, as PDL florescem mais tardiamente em menores latitudes, já que o fotoperíodo necessário (13h ou mais) ocorre posteriormente aos locais de maior latitude. Para as espécies de PDC é o contrário, ou seja, nos trópicos elas serão mais precoces, já que a condição fotoperiódica necessária (13h ou menos) ocorre antes do que em maiores latitudes.

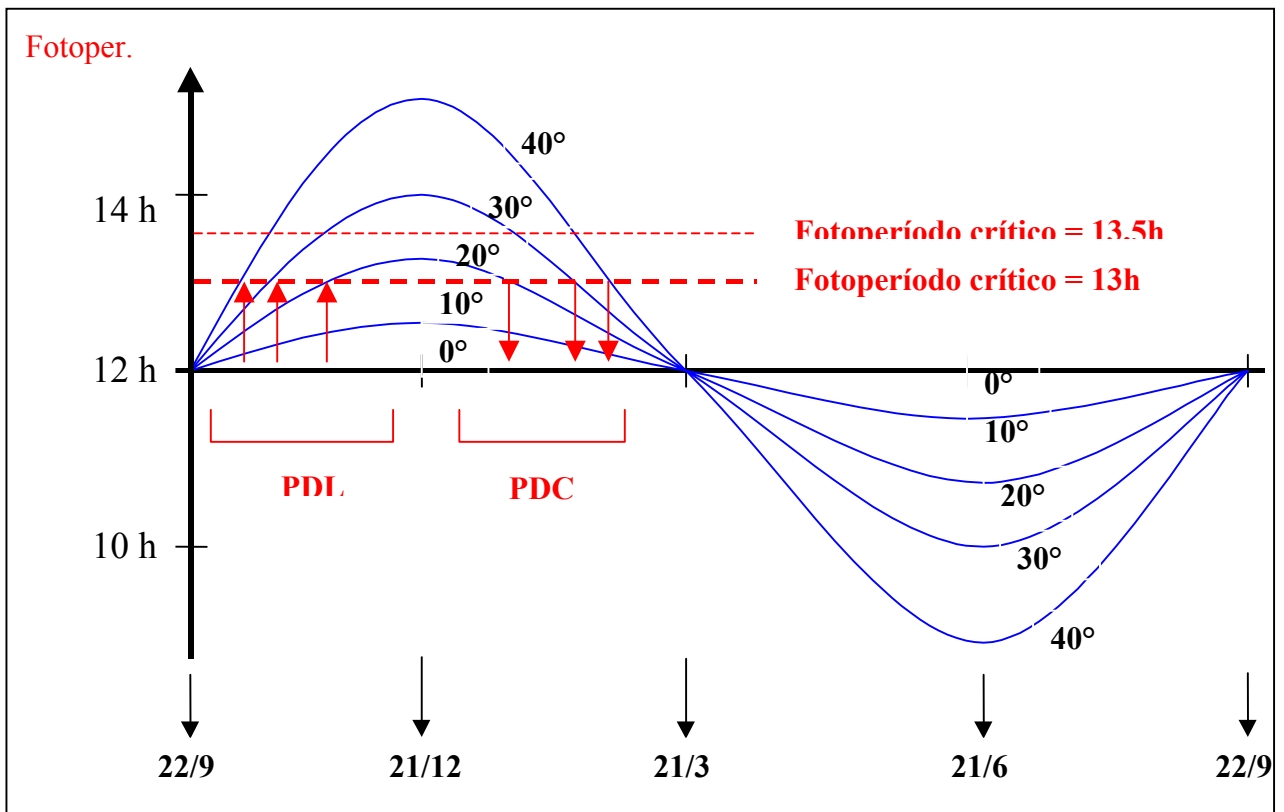


Figura 6. Variação do fotoperíodo em diferentes latitudes e representação da época de indução floral de plantas de dias curtos (PDC) e plantas de dias longos (PDL), ambas com um fotoperíodo crítico de 13h

6.2. Planejamento de semeadura

Na Figura 7 é possível entender a lógica de variação da época de indução floral e, portanto, da duração do ciclo de cultivares de grupos de maturação diferentes (precoce ou tardio) ou pela variação da época de semeadura. É fácil de entender que em plantas de dias longo (PDL) as cultivares precoces têm fotoperíodo crítico mais curtos e vice-versa. Ao contrário, em plantas de dias curtos (PDC) as cultivares precoces têm fotoperíodo crítico mais longo.

Tomando como exemplo, novamente, a soja, vê-se que as cultivares com fotoperíodo crítico de 13,5h são mais precoces do que as que têm fotoperíodo crítico de 13h. Assim, se elas forem semeadas na mesma época (novembro, por exemplo), as precoces irão florescer antes (em torno de meados de janeiro), pois serão induzidas

antes, enquanto que as tardias florescerão mais tarde (meados de fevereiro). Este mecanismo torna muito efetivo o procedimento de utilizar cultivares de diferentes ciclos, no sentido de escalonar ciclo, períodos críticos, colheita, e práticas de manejo em geral. Escalonando a ocorrência de períodos críticos (florescimento, por exemplo), o agricultor reduz sensivelmente os riscos devidos a impactos de fenômenos adversos, sobretudo de natureza climática, como estiagens.

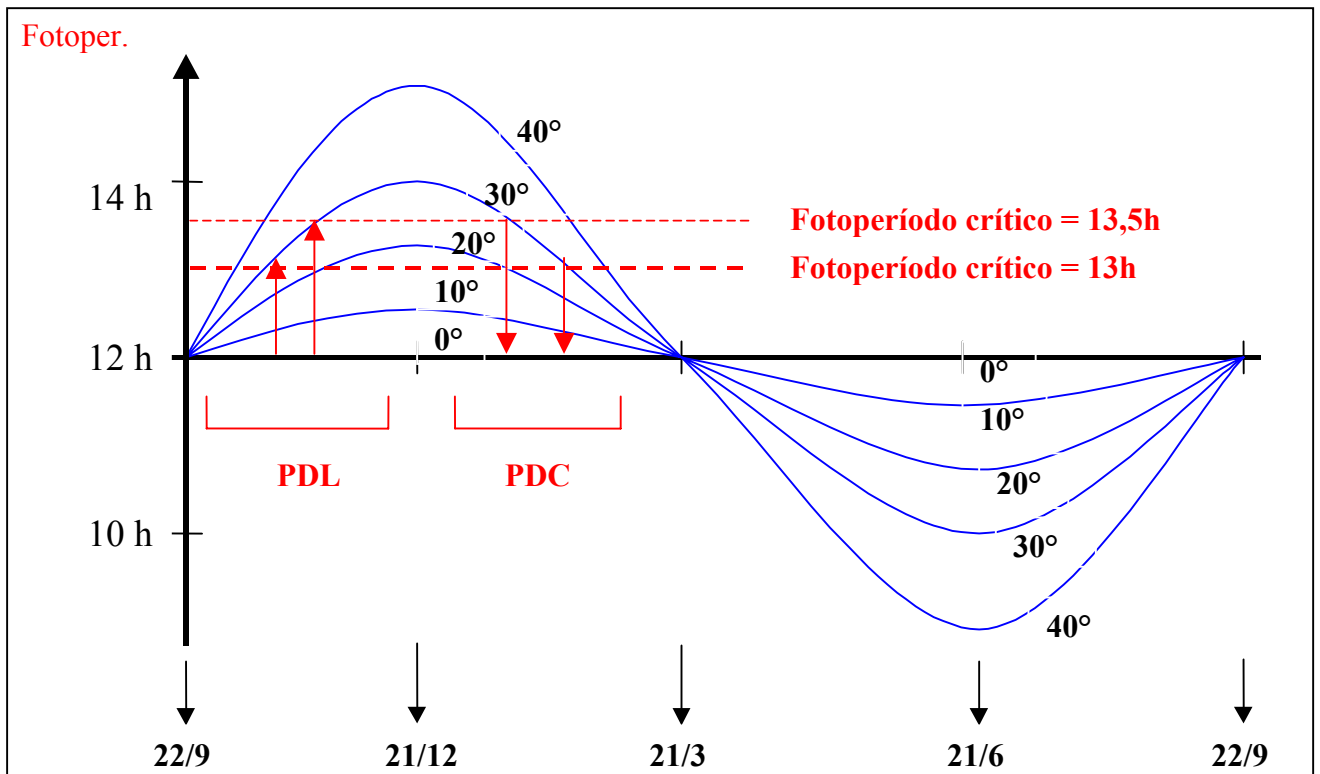


Figura 7. Variação do fotoperíodo em diferentes latitudes e representação da época de indução floral de plantas de dias curtos (PDC) e plantas de dias longos (PDL), na latitude de 30°.

Pela Figura 7 também é possível entender que, para semeaduras tardias, como na primeira quinzena de dezembro, o agricultor deverá utilizar cultivares de soja de ciclo longo (tardias). Caso ele utilizar cultivares precoces nesta época, o florescimento ocorrerá quando as plantas ainda não terão altura suficiente para um rendimento adequado e haverá pouca altura na inserção dos primeiros legumes. Caso ocorra estiagem, durante o crescimento das plantas, este problema se agrava mais ainda.

Pelo que foi deduzido das Figuras 6 e 7, vê-se que o critério de classificação das cultivares de PDC e PDL segundo a sua precocidade é muito impreciso. A mesma cultivar será precoce em uma latitude e tardia em outra. Da mesma forma, variando a época de semeadura, o ciclo será modificado, segundo a época de ocorrência do fotoperíodo crítico. Por isto, as tabelas de classificação das cultivares por grupos de maturação são restritas ao nível regional, no máximo estadual. Uma cultivar de soja tardia no Rio Grande do Sul poderá ser considerada precoce no Mato Grosso, por exemplo. Em nível internacional existe uma classificação por grupos de maturação de

soja que utiliza cultivares como padrões de referência, na tentativa de universalizar critérios e agrupar as cultivares e linhagens.

Em trabalhos de zoneamentos agrícolas, em particular agroclimáticos, assim como no estabelecimento de calendários de semeadura, é fundamental que sejam adequadas as exigências fotoperiódicas (junto a outros fatores) com as disponibilidades fotoperiódicas por épocas e regiões.

Do mesmo modo, no lançamento ou na introdução de novos genótipos é importante que haja uma caracterização das exigências fotoperiódicas do material, pelo menos quanto ao grupo de maturação a que pertence. Estas informações são indispensáveis ao planejamento de cultivo e uso do novo material, bem como qualquer estudo prévio de seu comportamento e planejamento de cultivo.

A Tabela 6 mostra as datas de florescimento de duas cultivares de milho, semeado em três épocas espaçadas de 1 mês. Pode-se observar que a cultivar de milho Comum teve uma redução pequena (apenas 16 dias) entre as épocas extremas. O florescimento deste material não teve uma única época, o que demonstra pouca sensibilidade fotoperiódica. A redução de ciclo pode ser atribuída às temperaturas mais altas que ocorreram ao longo do crescimento das plantas semeadas mais tarde.

Por outro lado, a cultivar Tiflate teve seu florescimento mais tardio e praticamente na mesma época, demonstrando que a indução floral se deu em uma condição fotoperiódica muito próxima. Portanto, trata-se de um material sensível e de resposta a dias curtos, já que as plantas das três épocas “esperaram” para florescer somente em meados de abril. Para as condições do Rio Grande do Sul, esta característica poderá trazer vantagens para a produção de forragem, durante um longo período de crescimento, mas a produção de sementes fica muito difícil por se tratar de uma espécie tropical e que não tolera baixas geadas. A produção de sementes terá que ser feita em uma região tropical, onde a combinação de dias curtos com temperaturas elevadas permitem a finalização do ciclo da cultura.

Tabela 6. Florescimento em função de épocas de semeadura de duas cultivares de milho (*Pennisetum americanum*). EEA/UFRGS, 1971/72 (Westphalen, 1976)

Semeadura	Florescimento pleno	
	Cultivar Tiflate	Cultivar Comum
22/10	15/04	10/01
19/11	15/04	01/02
20/12	20/04	18/02

6.3. Cultivo em ambientes modificados

Em ambientes modificados (estufas, câmaras de crescimento, etc.), é possível manejar o fotoperíodo, de modo a alterar as condições em relação ao ambiente natural da época ou região. São muitas as aplicações de técnicas de controle da duração do dia, que pode ser tanto por alongamento do dia, com iluminação artificial, ou redução da duração do dia, escurecendo o ambiente.

Uma das aplicações se dá no campo da pesquisa em melhoramento genético, para possibilitar o florescimento na época desejada, para fins de cruzamento ou, então, para acelerar a obtenção de novas gerações em testes e finalização de novas linhagens.

A obtenção de sementes de algumas espécies também dependem de condições fotoperiódicas adequadas. Para isto, épocas e regiões para cultivo devem estar de acordo com as exigências de cada genótipo desejado. Não havendo condições naturais, a modificação e manejo do ambiente pode ser uma alternativa viável.

Atualmente, modernas técnicas em floricultura permite o cultivo e colheita programada de inúmeras espécies de flores em épocas desejadas. Muitas espécies são sensíveis ao fotoperíodo e, portanto, modificando artificialmente a duração do dia é possível induzir ou suprimir a indução floral para conseguir colheita em épocas de maior demanda. Muitas datas são particularmente importantes (Festas Natalinas, Dia das Mães, Dia dos Namorados, Finados e outras), nas quais a procura de flores é intensa. Através do manejo do fotoperíodo, o floricultor tem condições de oferecer sua produção no momento mais adequado, com melhor qualidade e vantagens financeiras.