



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS
LEB 306 – Meteorologia Agrícola
1º Semestre de 2017

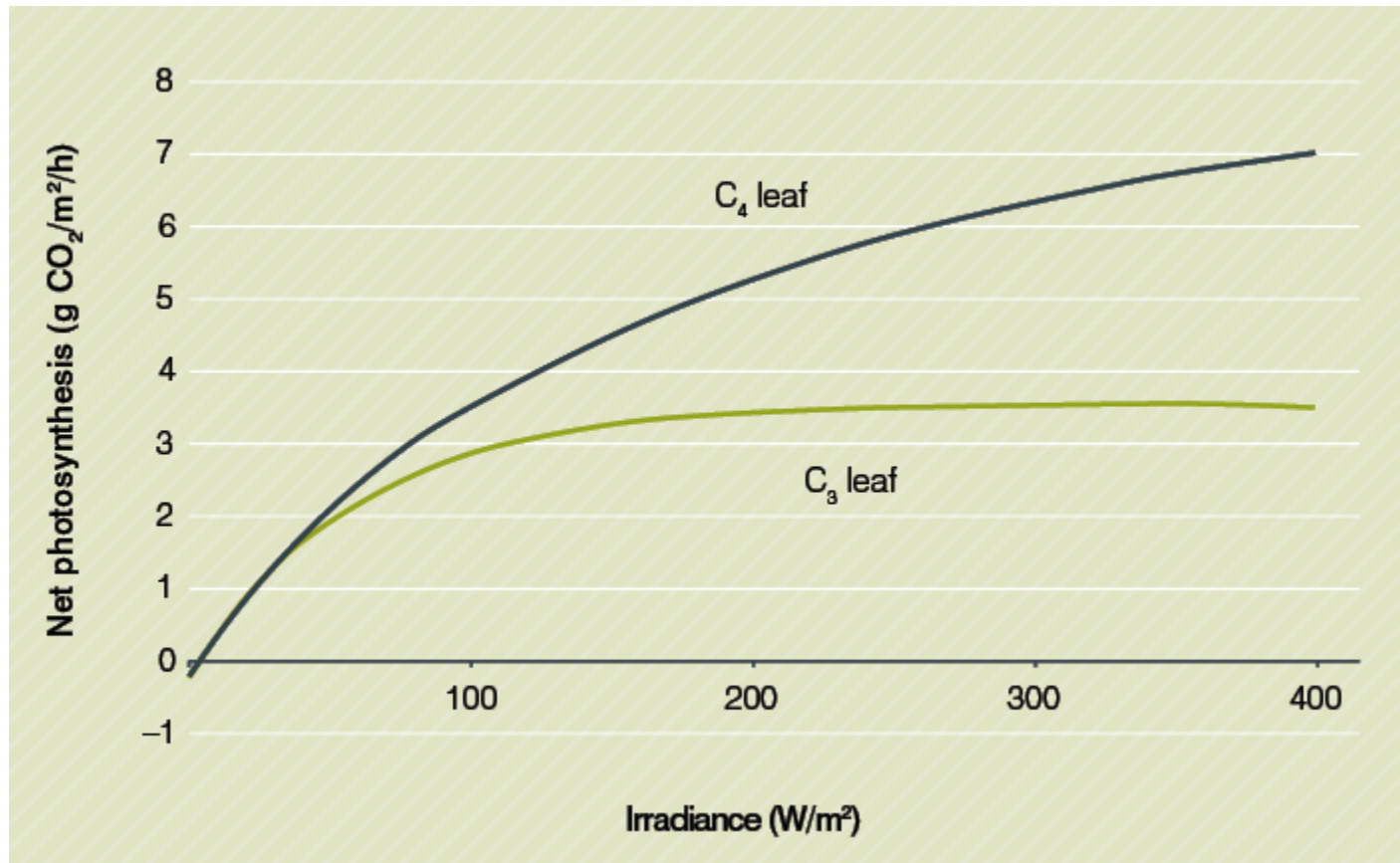


Radiação Solar e a Produção Vegetal – Parte 1

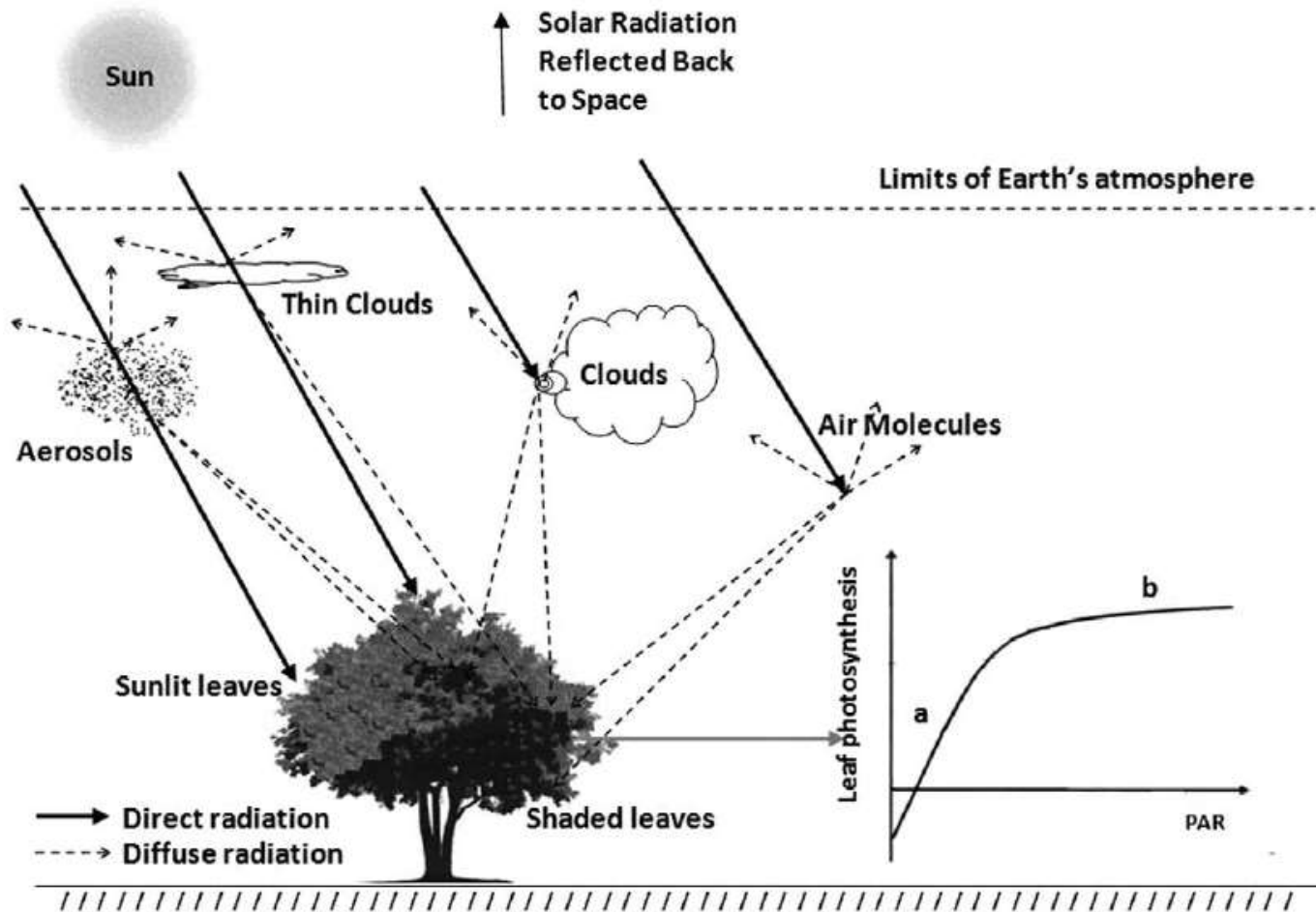
Prof. Fábio Marin



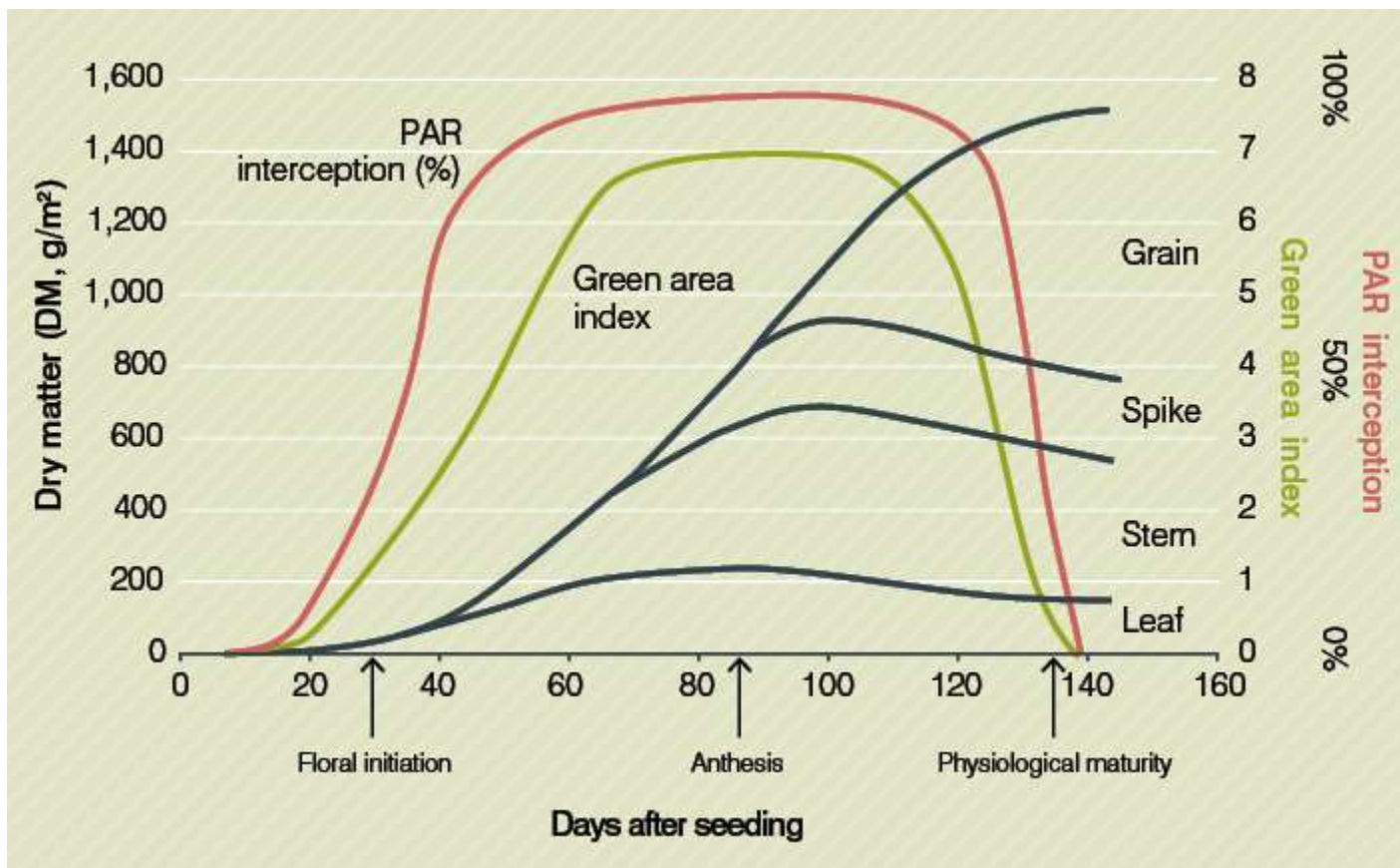
Response of leaf net photosynthetic rate to photosynthetically active radiation (PAR) expressed as irradiance. Source: adapted from Connor et al. (2011)



Schematic diagram illustrating the interaction of solar radiation with atmospheric particles (aerosols, clouds and air molecules) and penetration of direct (darker line) and diffuse (dashed line) radiation in terrestrial vegetation.

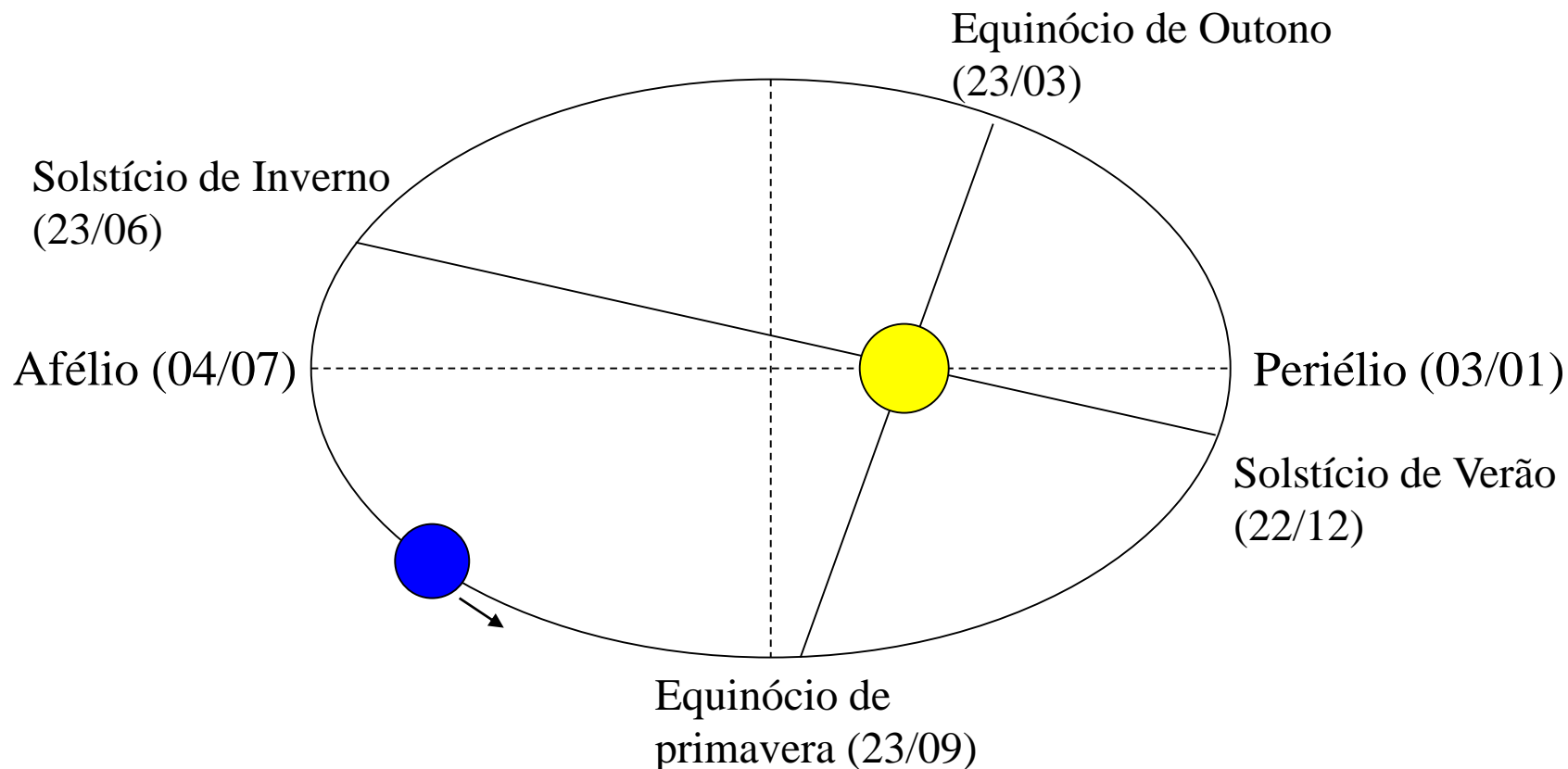


Evolution of green area index, photosynthetically active radiation (PAR) interception (%) and dry matter (DM) accumulation in crop parts as a function of days after seeding in spring wheat.



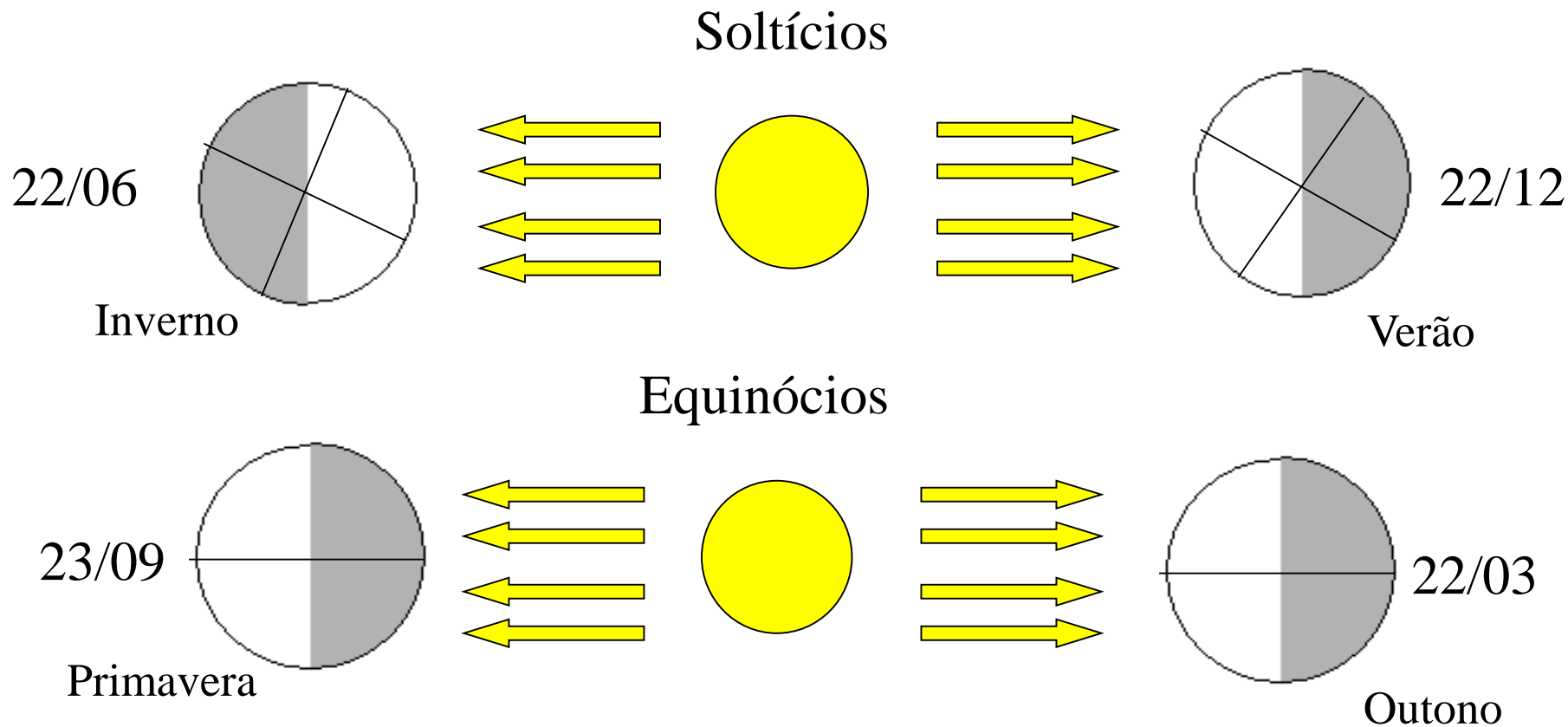
Movimento de translação

- Posição relativa Terra-Sol:



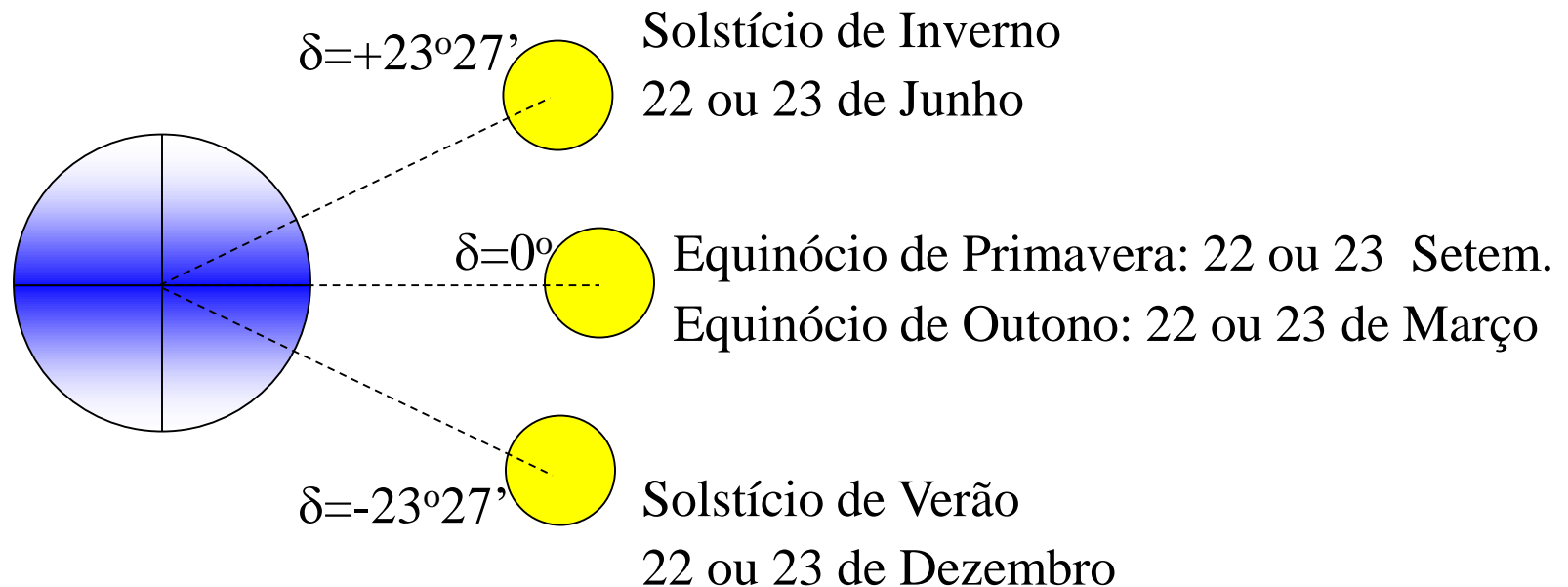
Estações do ano

- Posição relativa Terra-Sol:



Declinação Solar

- ângulo formado entre uma linha imaginária ligando o centro da Terra ao centro do sol, com o plano do Equador. Ao longo do ano, a declinação varia entre $-23^{\circ}27'$ (solstício de verão) e $+23^{\circ}27'$ (solstício de inverno). (*Do latim: solstitiu = Sol Parado*).



Cálculo da Declinação

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360(NDA - 80)}{365} \right]$$

NDA é o número do dia do ano

Tabela de NDA

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

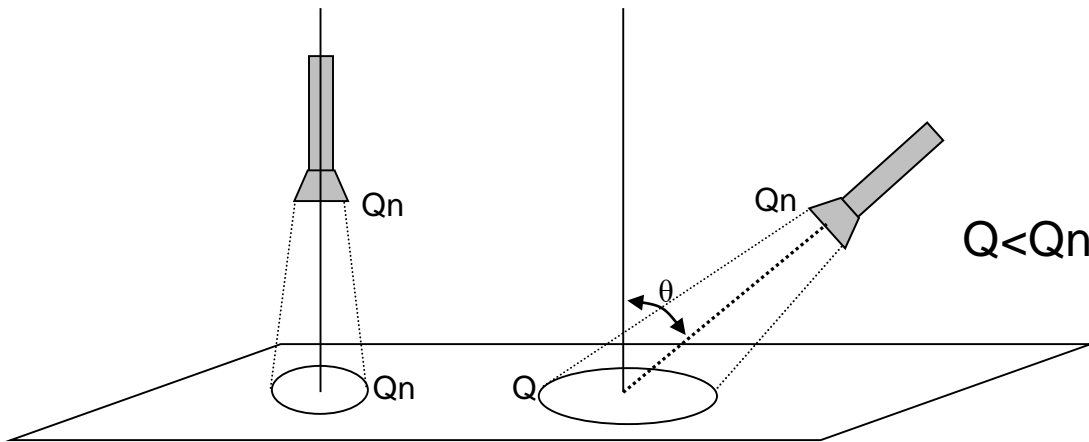
Exercício Rápido

- Calcule a Declinação Solar para Hoje em Piracicaba?

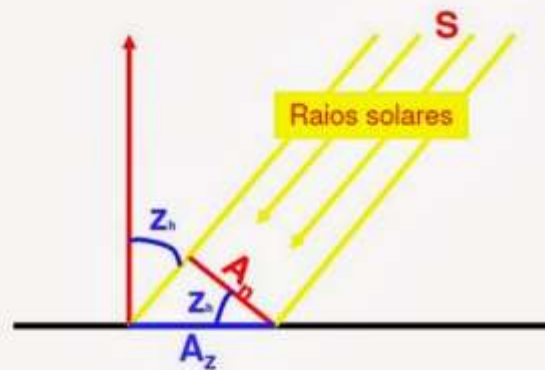
Use a equação abaixo e consulte a tabela de NDA para saber o número do dia de hoje

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[\frac{360(NDA - 80)}{365} \right]$$

Lei do Cosseno de Lambert



Lei do Cosseno de Lambert



$$I_n = S / A_n$$

$$I_z = S / A_z$$

Igualando-se as as duas equações têm-se:

$$I_n A_n = I_z A_z \text{ ou } I_z / I_n = A_n / A_z$$

Do triângulo formado na Figura ao lado têm-se que:

$$\cos Z_h = A_n / A_z$$

Resultando em:

$$I_z = I_n \cos Z_h$$

Desse modo, se:

$$Z_h = 0^\circ \rightarrow I_z = I_n$$

$$Z_h = 90^\circ \rightarrow I_z = 0$$

Intensidade = Energia / (Área * Tempo)

Energia = S

Área real = A_z

Área normal = A_n

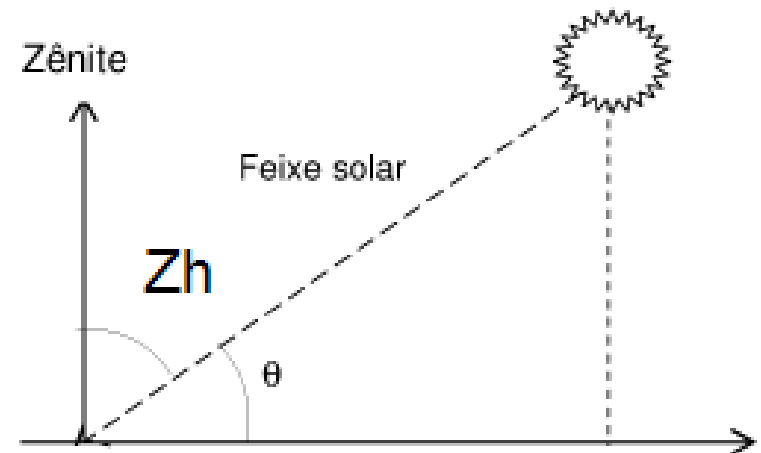
Tempo = unitário

Fonte: <http://professormarciosantos3.blogspot.com.br/2014/02/aula-2-escala-temporal-dos-fenomenos.html>



Cálculo do Ângulo Zenital (Zh)

- Definição: ângulo formado entre o zênite (linha imaginária que liga um observador localizado sobre a superfície terrestre e o centro da terra e prolonga-se até a esfera celeste) e a direção predominante do feixe (raios) solar.
- $Zh = f(\text{latitude, ângulo horário, declinação})$



Equação do Ângulo Zenital

$$\cos Zh = \text{sen } \phi . \text{sen } \delta + \cos \phi . \cos \delta . \cosh$$

ϕ é a latitude do local (graus e décimos)

δ é a declinação do sol (graus e décimos)

Zh é o ângulo zenital a cada hora do dia. No nosso caso, vamos calcular Z para o meio dia e extrapolar para o restante do dia.

Ângulo Zenital ao Meio-Dia

Quando o sol passa pelo meridiano no local (meio-dia):

$h = 0$ e $\cos 0 = 1$

Assim,

$$\cos Z_{12} = \text{sen } \phi . \text{sen } \delta + \cos \phi . \cos \delta . 1$$

$$\cos Z_{12} = \cos(\delta - \phi)$$

$$Z_{12} = \delta - \phi$$

Exercício Rápido

- Calcule a Ângulo Zenital ao meio dia para Hoje em Piracicaba?

Constante Solar

- Constante solar (J_0) é um valor que expressa a densidade de fluxo de radiação (energia/área.tempo) em uma superfície perpendicular aos raios solares, acima da atmosfera:
- Distância Terra-Sol: $1,5 \cdot 10^8$ km
- Potência do Sol: $3,87 \cdot 10^{26}$ W
- Área da esfera: $4 \cdot \pi \cdot r^2 = 2,83 \cdot 10^{23}$ m²
- $J_0 = 3,87 \cdot 10^{26}$ W / $2,83 \cdot 10^{23}$ m² $\cong 1367$ W/ m²

Cálculo da Constante Solar

- $J_0 = I/A = 1367 \text{ W/m}^2$ ou $118,11 \text{ MJ/m}^2.\text{d}$
- Mas é necessário corrigi-la para considerar a variação da distância Terra-Sol ao longo do ano. Assim, tem-se:
 - $J_0' = J_0 (d/D)^2$

$$(d/D)^2 = 1 + 0,033 * \cos(NDA * 360/365)$$

Exercício Rápido

- Calcule o valor de J_0 para hoje?

Cálculo do Fotoperíodo (N)

- N = hora do pôr-do-sol – hora do nascer-do-sol
- Considerando a trajetória simétrica do solo em relação ao meio-dia, podemos admitir que:
- $N = 2 * hn/15$ (sendo hn o ângulo horário no nascer do Sol)
- Ao nascer, o ângulo zenital é 90 e $\cos 90 = 0$. Assim, isolando-se hn da eq. Do ângulo zenital (slide 10), tem-se:

$$0 = \text{sen} \phi . \text{sen} \delta + \cos \phi . \cos \delta . \cos hn$$

$$\cos hn = \frac{(-\text{sen} \phi . \text{sen} \delta)}{(\cos \phi . \cos \delta)} = -\text{tg} \phi . \text{tg} \delta$$



$$hn = \arccos(-\text{tg} \phi . \text{tg} \delta)$$

Horário do nascer e pôr-do-Sol

- Nascer do Sol (NS)
- Pôr do Sol (PS)
- $HNS = 12 - N/2$
- $HPS = 12 + N/2$

Exercício Rápido

- Calcule o fotoperíodo e o horário do nascer e pôr-do-sol para Piracicaba para o dia de hoje.

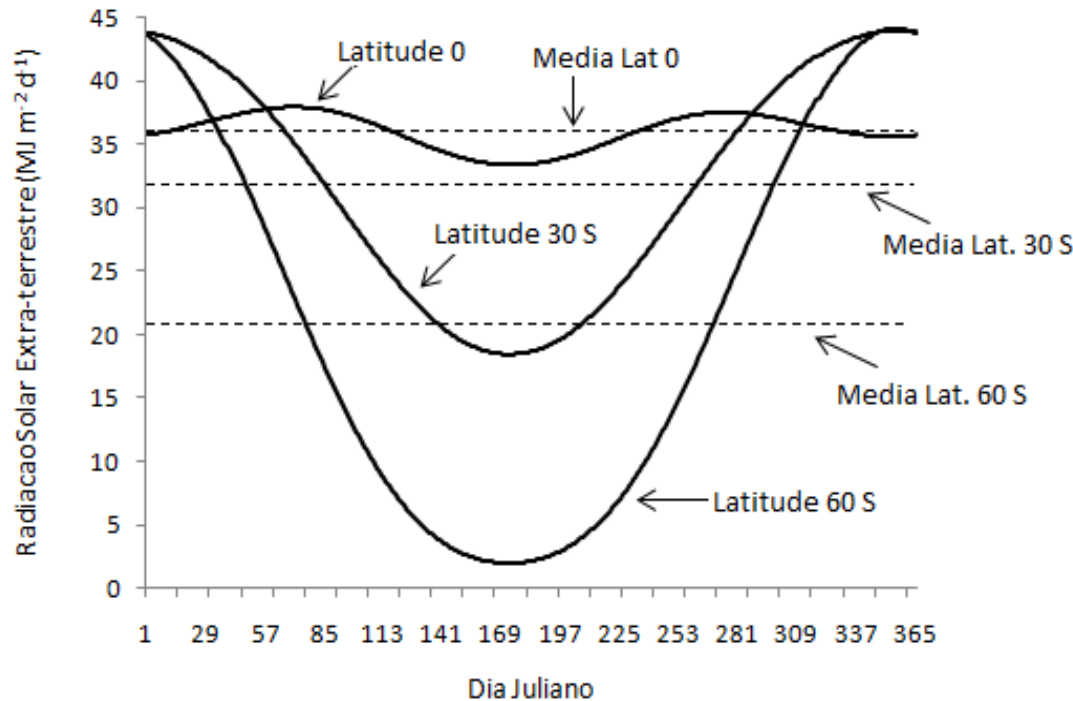
Cálculo da Radiação Extra-Terrestre (Q_o)

$$Q_o = \frac{J_o}{\pi} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) hn \cdot \text{sen } \phi \cdot \text{sen } \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen } hn \right]$$

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{NDA \cdot 360}{365}\right)$$

Exercício: Calcule Q_o para hoje.

Radiação Solar Extra-Terrestre

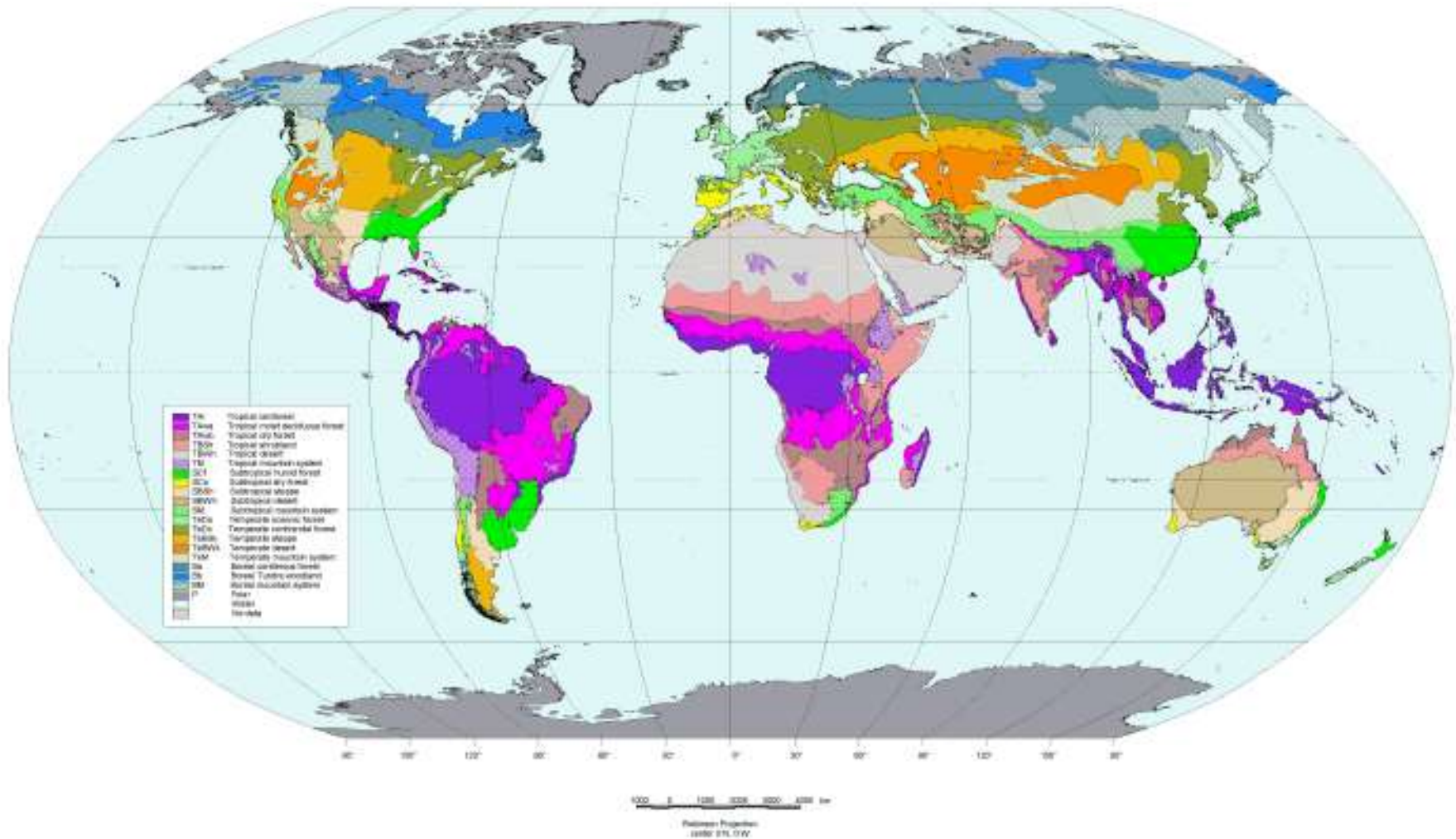


Observe a figura ao lado... pense... e responda:

Em qual dos locais a produção de espécies perenes é mais indicada? E das culturas anuais?



GLOBAL ECOLOGICAL ZONES



Observe as diferentes formações agroecológicas e sua relativa uniformidade e função da latitude terrestre. É a radiação solar que explica essa distribuição!

Table 2.1 Major events and periods in the development of cereal crops

Event or process	Definition	Comment
True vegetative period		
Sowing^a	Beginning of water uptake by seed	Assume soil moist
Germination	Appearance of radicle (first root) from seed	na
Emergence	First appearance of leaf above soil	na
Leaf initiation	Regular appearance of leaf primordia (microscopic bud) on apex of the main stem or shoot	Needs dissection to detect
Leaf appearance	External appearance of leaves on main stem at regular rate between emergence and last leaf appearance	Fixed number of leaves on main shoot, between 6 and ~25
Tillering	Appearance of new stems in axils of leaves on main stem (and on other tillers)	na
Reproductive period		
Floral initiation	First appearance of floret primordia (microscopic buds) on main shoot apex (needs dissection to detect); signals end to leaf initiation on main shoot	In maize the tassel is formed at the shoot apex, the cob in a leaf axil several leaves below the final leaf
Onset stem elongation	Internodes (interval between nodes or joints) on main stem begin to elongate	na
End of floret initiation	Last floret primordia appears at apex of shoot	Many florets are initiated; few grow to complete florets
Onset inflorescence growth	Beginning of rapid accumulation of dry matter in inflorescence (spike, panicle, tassel or cob) structure	na
Meiosis	Production of haploid nuclei for pollen (in anthers) and ovule (in carpel) in developing florets	Pollen are the male equivalents, carpels the female
Final leaf emergence	Appearance of last leaf on main stem	In wheat called the flag leaf
Spike (head) emergence	Appearance of the main shoot inflorescence	Tassel in maize, panicle in rice
Anthesis or flowering	Appearance of first burst anthers, shedding pollen, and occurrence of pollination of the ovules (except maize)	Often known as flowering (or pollen shed in maize)
Silking (maize only)	External appearance of styles (silks) from female flowers on maize cob, receptive for pollen	Under stress in maize, silking may be significantly later than pollen shed on the same plant
Grain-filling period		
End of inflorescence growth	Soon after anthesis and pollination	In maize the cob grows more after pollination than before
Onset grain-filling	Beginning of rapid dry matter accumulation in grain	Always some lag between pollination and onset of rapid grain growth
Grain-filling	Period of rapid grain growth	na
Physiological maturity	End of grain growth, as can be seen by changes within grain	Upper leaves may or may not still remain green
Harvest ripeness	na	Crop dry enough to mechanically harvest

1. Bold text represents major events

2. na = not applicable

