

# TABELA DE POTENCIAL OSMÓTICO EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE POLIETILENO GLICOL 6.000 E DA TEMPERATURA<sup>1</sup>

FRANCISCO AMARAL VILLELA<sup>2</sup>, LUIZ DONI FILHO<sup>3</sup> e ELISEO LECLERC SEQUEIRA<sup>4</sup>

**RESUMO** - Um expressivo número de pesquisas vem sendo desenvolvido na área de pré-condicionamento em sementes. Na busca de contribuir com os técnicos envolvidos em pesquisas nesta área, procurou-se através da inter-relação entre a Termodinâmica e a Tecnologia de Sementes caracterizar potenciais hídrico, osmótico, mátrico e de pressão e, a partir do trabalho de Michel & Kaufmann (1973), construir uma tabela associando potencial osmótico, concentração de polietileno glicol 6000 e temperatura.

**Termos para indexação:** pré-condicionamento, sementes, termodinâmica, potencial hídrico.

## TABLE OF OSMOTIC POTENTIAL AS A FUNCTION OF POLYETHYLENE GLYCOL 6000 CONCENTRATION AND TEMPERATURE

**ABSTRACT** - A wide number of research work has been developed in the seed preconditioning area. In order to contribute with the application of the needed techniques, hydric, osmotic, matric and pressure potentials were pointed out with the interrelation of Thermodynamics and Seed Technology. Then, based on Michel & Kaufmann's (1973) work, a table was made relationing osmotic potential and temperature with polyethylene glycol 6000 concentration.

**Index terms:** preconditioning, seeds, thermodynamics, hydric potential.

## INTRODUÇÃO

A uniformidade, a velocidade e a porcentagem de emergência das plantas em campo apresentam significativos reflexos sobre a produção final. Temperaturas extremas, salinidade, excesso ou deficiência hídrica, crostas do solo e presença de insetos e patógenos podem afetar de forma adversa o estabelecimento das plantas no campo.

Diversos tratamentos de pré-condicionamento para sementes têm sido sugeridos, visando à uniformização e à aceleração da germinação, ao aumento da resistência das sementes às condições de estresse, e à homogeneização do desenvolvimento das plântulas (Heydecker et al. 1975).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 4 de junho de 1991.

<sup>2</sup> Eng.-Agrícola, Prof.-Adjunto, Univ. Fed. de Pelotas, Caixa Postal 354, CEP 96100 Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., Prof.-Adjunto, Univ. Fed. do Paraná, Caixa Postal 672, CEP 80001 Curitiba, PR.

<sup>4</sup> Eng.-Agr., Dirección Nal. de Meteor. del Uruguay, Casilla Postal 64, Montevideo - Uruguay.

O controle da hidratação da semente pelo emprego de soluções diluídas até um limite que permita a realização dos processos metabólicos pré-germinativos, sem a emergência da radícula, é denominado pré-condicionamento osmótico (Bradford 1986).

A presença de solutos altera as propriedades de água, resultando numa pressão osmótica diferente de zero na solução. No condicionamento osmótico, o soluto mais utilizado tem sido o polietileno glicol 6000, cuja fórmula é  $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$ , por ser quimicamente inerte e não apresentar toxicidade sobre as sementes.

A determinação do potencial osmótico de uma solução, conforme a concentração de polietileno glicol 6000 e a temperatura, foi proposta por Michel & Kaufmann (1973).

O presente trabalho objetivou caracterizar potenciais hídrico, osmótico, mátrico e de pressão em sementes e construir uma tabela associando potencial osmótico, concentração de polietileno glicol 6000 e temperatura.

### Princípios termodinâmicos do conceito de potencial hídrico

Para um sistema aberto, a combinação entre o Primeiro e o Segundo Princípios da Termodinâmica pode ser estabelecida através da seguinte equação:

$$dU = T dS - p dV + \sum_{j=1}^n Y_j dx_j + \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i \quad (1)$$

onde:

$dU$  = variação infinitesimal da energia interna

$T dS$  = calor trocado

$P dV$  = trabalho numa variação de volume

$\sum_{j=1}^n Y_j dx_j$  = outras formas de trabalho, tais como trabalho das forças gravitacional, elétrica, capilar e adsorção

$\sum_{i=1}^n \mu_i dn_i$  = trabalho químico em decorrência da variação do número de moles ( $n_i$ ) do componente  $i$

Por definição, a função energia livre de Gibbs ( $G$ ) é a transformada parcial de Legendre da função energia interna, obtida por substituição simultânea das variáveis  $S$  por  $T$ , e  $V$  por  $p$  (Lee & Sears 1969), sendo expressa por

$$G = U + p V - T S \quad (2)$$

Diferenciando-se a equação (2), obtém-se:

$$dG = dU + p dV + V dp - T dS - S dT \quad (3)$$

Substituindo-se a equação (3) em (1), tem-se:

$$dG = V dp - S dT + \sum_{j=1}^n Y_j dx_j + \sum_{j=1}^n \mu_j dn_j \quad (4)$$

Utilizando-se derivadas parciais, pode-se escrever:

$$dG = \left[ \frac{\partial G}{\partial p} \right]_{T, X_j, n_i, n_k} dp + \left[ \frac{\partial G}{\partial T} \right]_{p, X_j, n_i, n_k} dT + \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\partial G}{\partial X_j} \right]_{p, T, n_i, n_k} dX_j + \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial G}{\partial n_i} \right]_{p, T, X_j, n} dn_i \quad (5)$$

onde,  $n_k$  é o número de moles de outros componentes (k) do sistema, salvo o componente i, e

$$\frac{\partial G}{\partial n_i} = \mu_i \quad \begin{array}{l} \text{é denominado potencial químico do componente i} \\ \text{de um sistema aberto e representa a variação da} \\ \text{energia livre de Gibbs do sistema, causada pela en-} \\ \text{trada ou saída de um mol do componente i, quando} \\ \text{T, p, } X_j \text{ e } n_k \text{ permanecem constantes.} \end{array}$$

O potencial químico é uma função da temperatura, pressão, número de moles do componente i, número de moles do componente k e  $X_j$ , desta forma:

$$\mu_i = \mu_i (T, p, n_i, n_k, X_j) \quad (6)$$

O potencial químico da água num determinado estado ( $\psi$ ) em relação a um estado padrão ( $\psi_0$ ) denomina-se potencial total da água ou potencial hídrico, e pode-se escrever:

$$\psi = \psi (T, p, n_i, n_k, X_j) \quad (7)$$

O estado padrão é definido para o sistema água pura, num determinado referencial de posição e nas condições normais de temperatura e pressão, ao qual se atribui o valor arbitrário zero.

A função energia livre de Gibbs, conforme a equação (5), também pode ser escrita:

$$G = G (p, T, n_i, n_k, X_j) \quad (8)$$

Comparando as equações (5), (7) e (8), pode-se escrever:

$$d\psi = \left[ \frac{\partial \psi}{\partial p} \right]_{T, X_j, n_i, n_k} dp + \left[ \frac{\partial \psi}{\partial T} \right]_{p, X_j, n_i, n_k} dT + \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\partial \psi}{\partial X_j} \right]_{p, T, n_i, n_k} dX_j + \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial \psi}{\partial n_i} \right]_{p, T, X_j, n_k} dn_i \quad (9)$$

Desta maneira a equação (9) pode ser escrita como:

$$d\psi = v dp - s dT + \sum_{j=1}^n Y_j dX_j + \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i \quad (10)$$

onde,  $v$  e  $s$  são, respectivamente, volume e entropia específicos e  $Y_j$  uma variável intensiva.

O trabalho resultante das forças capilar, adsorção e elétrica, entre partículas sólidas de um sistema e das forças de coesão e elétrica entre as moléculas de água do mesmo sistema é uma função do teor de água ( $e$ ) do sistema e das características químicas e estruturais das partículas sólidas.

Considerando-se significativo o trabalho da força gravitacional e sendo  $z$  a coordenada de posição em relação ao referencial, pode-se escrever:

$$d\psi = v dp - s dT + g dz + q de + \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i \quad (11)$$

onde  $q$  é uma variável intensiva relativa às interações entre as partículas sólidas e a água.

O potencial total da água num determinado estado, pode ser expresso por:

$$\psi = \int_{P_0}^P v dp - \int_{T_0}^T s dT + \int_{z_0}^z g dz + \int_{e_0}^e q de + \int_0^{n_i} \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i \quad (12)$$

onde:

$$\int_{P_0}^P v dp = \psi_p \quad \text{potencial de pressão}$$

$$- \int_{T_0}^T ds \, dT = \psi_T \quad \text{potencial de temperatura}$$

$$\int_{z_0}^z g dz = \psi_g \quad \text{potencial gravitacional}$$

$$\int_{\Theta_0}^{\Theta} q \, d\Theta = \psi_m \quad \text{potencial mátrico}$$

$$\int_0^{n_i} \sum_{i=1}^n \mu_i dn_i = \psi_s \quad \text{potencial osmótico}$$

desta forma:

$$\psi = \psi_p + \psi_T + \psi_g + \psi_m + \psi_s \quad (13)$$

Os potenciais hídrico, de pressão, de temperatura, gravitacional, osmótico e mátrico são expressos em unidades de energia por unidade de volume, que possuem dimensões físicas de pressão. As unidades comumente usadas para medir potenciais apresentam a seguinte equivalência:

$$1 \text{ MPa} = 9,87 \text{ atm} = 10 \text{ bar}$$

### Relações hídricas em sementes

Os processos que ocorrem simultaneamente nas sementes podem ser considerados isotérmicos e sem variação da coordenada de posição, levando-se a considerar nulos os potenciais de temperatura e gravitacional.

Assim sendo, o potencial hídrico nas células de uma semente pode ser expresso pela soma de três componentes: de pressão, osmótico e mátrico.

$$\psi = \psi_p + \psi_s + \psi_m \quad (14)$$

O potencial de pressão numa célula ocorre porque a entrada da água aumenta o conteúdo celular, manifestando uma pressão na parede celular externa, devido à resistência desta à expansão (Bewley & Black 1985, Reichardt 1985). A componente osmótica é condicionada pelas ligações entre a água e os solutos, pois a concentração de solutos dissolvidos na célula influencia a absorção de água (Bewley & Black 1985). O potencial mátrico resulta das interações interfaciais, tais como forças capilares das células da semente (Labouriau 1983, Bradford 1986).

Os potenciais osmótico e mátrico apresentam valores negativos porque possuem baixo potencial em relação à água pura. Entretanto, a componente de pressão apresenta valores positivos, e a soma das três componentes resulta em potenciais negativos ou eventualmente igual a zero.

Um sistema hídrico em equilíbrio apresenta um potencial total igual a zero, e o movimento da água sempre ocorre, espontaneamente, segundo um gradiente decrescente de potencial hídrico (Labouriau 1983, Bewley & Black 1985).

A disponibilidade e a velocidade de fluxo de água para a semente são determinadas pela diferença de potencial hídrico entre a semente e o solo, causada pelo elevado potencial mátrico das paredes celulares e constituintes moleculares da semente.

Entretanto, com o aumento do teor de água, após a fase inicial de absorção, as matrizes da semente (parede celular, amido e corpos protéicos) tornam-se hidratadas, e os potenciais hídricos da semente e do solo tendem a atingir valores muito próximos. A disponibilidade de água para a semente é influenciada pelo potencial hídrico das zonas do solo imediatamente ao redor da semente, condutividade hidráulica e textura do solo, compactação do solo (pode causar uma restrição mecânica à intumescência da semente), impedância da matriz do solo e área de contato entre a semente e o solo (Bewley & Black 1985).

### **Ajuste do potencial osmótico pelo uso do polietileno glicol 6.000**

A pressão osmótica de uma solução resulta da presença de solutos que afetam as propriedades da água, pelo fato de o soluto causar diminuição na energia livre de Gibbs do solvente. Os estudos da termodinâmica das soluções diluídas estabelecem que o potencial osmótico de uma solução depende essencialmente da temperatura e da concentração.

Michel & Kaufmann (1973), utilizando psicrômetro termopar e osmômetro de pressão de vapor, estudaram os efeitos da concentração de polietileno glicol 6.000 (PEG 6.000) e da temperatura no potencial osmótico de soluções e encontram uma relação entre a concentração (C) de polietileno glicol, a temperatura (T) e o potencial osmótico ( $\psi_s$ ) da solução, expressa pela equação:

$$\psi_s = -(1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4})C^2 + (2,67 \times 10^{-4})CT +$$

$$(8,39 \times 10^{-7})C^2T$$

(15)

sendo, C expresso em g de PEG 6.000/kg de água, T em °C e  $\psi_s$  em bar. A estimativa do erro padrão para o potencial osmótico determinado pela equação é de  $\pm 0,28$  bar.

Considerando a equação (15) e por meio de um programa de computador, construiu-se uma tabela de dupla entrada, relacionando os valores de concentração de polietileno glicol 6.000, temperatura e potencial osmótico da solução.

A Tabela 1 mostra os valores da concentração de polietileno glicol 6.000 para valores de temperatura entre 1 e 40°C e para potenciais osmóticos da solução entre -1 e -40 bar.

Observa-se que uma pequena concentração de polietileno glicol (55,461g/kg) é necessária para a obtenção de um potencial osmótico de -1 bar (-0,987 atm), à temperatura de 1°C. Entretanto, para um potencial osmótico de -40 bar (-39,48 atm), à temperatura de 40°C, é necessária uma concentração de 681,665 g de PEG 6.000 por kg de água.

A equação (15) permite verificar que para uma determinada concentração de PEG 6.000, o potencial osmótico aumenta de forma linear com a temperatura, possivelmente, segundo Michel & Kaufmann (1973), pela redução das pontes de hidrogênio entre o polietileno glicol e a água, com a elevação da temperatura.

Por outro lado, sob temperatura constante, constata-se uma redução de forma curvilínea do potencial osmótico da solução com a elevação da concentração de PEG 6.000 que, de acordo com Michel & Kaufmann (1973), provavelmente pode ser explicada pelo aumento da viscosidade da solução, de maneira exponencial, com a concentração, devido a mudanças estruturais no polietileno glicol 6.000.

**TABELA 1.** Concentrações de polietileno Glicol-6000 para valores de potencial osmótico e temperatura.

TEMP \ PO	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
1	55.461	90.399	118.198	141.997	163.146	182.372	200.119	216.685	232.277	247.050
2	56.178	91.355	119.311	143.231	164.481	183.794	201.620	218.257	233.915	248.750
3	56.911	92.330	120.443	144.485	165.836	185.238	203.143	219.852	235.577	250.473

TABELA 1. (Continuação).

TEMP \ PO	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
4	57.662	93.323	121.595	145.760	167.213	186.704	204.688	221.470	237.262	252.222
5	58.430	94.336	122.767	147.055	168.612	188.193	206.258	223.113	238.972	253.995
6	59.216	95.368	123.960	148.373	170.033	189.704	207.851	224.779	240.708	255.794
7	60.021	96.421	125.175	149.713	171.478	191.240	209.468	226.471	242.468	257.619
8	60.845	97.495	126.411	151.075	172.946	192.800	211.110	228.189	244.255	259.471
9	61.689	98.590	127.670	152.461	174.438	194.385	212.778	229.933	246.069	261.350
10	62.553	99.707	128.952	153.871	175.955	195.995	214.472	231.703	247.910	263.257
11	63.439	100.846	130.258	155.305	177.497	197.631	216.193	233.501	249.780	265.193
12	64.346	102.009	131.588	156.765	179.065	199.294	217.941	235.327	251.677	267.159
13	65.276	103.196	132.942	158.250	180.660	200.985	219.717	237.181	253.605	269.154
14	66.229	104.407	134.323	159.762	182.281	202.703	221.522	239.065	255.562	271.180
15	67.206	105.644	135.729	161.300	183.931	204.450	223.356	240.979	257.550	273.237
16	68.208	106.907	137.162	162.867	185.609	206.226	225.220	242.924	259.570	275.326
17	69.236	108.196	138.623	164.462	187.317	208.032	227.116	244.901	261.622	277.449
18	70.290	109.513	140.113	166.086	189.055	209.870	229.042	246.910	263.706	279.605
19	71.372	110.858	141.631	167.740	190.823	211.739	231.002	248.952	265.825	281.795
20	72.482	112.232	143.180	169.425	192.624	213.640	232.994	251.028	267.979	284.021
21	73.621	113.637	144.759	171.142	194.456	215.575	235.021	253.130	270.167	286.283
22	74.790	115.072	146.370	172.891	196.322	217.543	237.082	255.285	272.393	288.583
23	75.991	116.539	148.014	174.674	198.223	219.547	239.179	257.468	274.656	290.920
24	77.224	118.038	149.691	176.491	200.158	221.587	241.314	259.688	276.957	293.297
25	78.490	119.571	151.402	178.343	202.130	223.664	243.485	261.948	279.297	295.713
26	79.791	121.139	153.149	180.231	204.138	225.778	245.696	264.246	281.678	298.171
27	81.128	122.743	154.932	182.157	206.185	227.932	247.946	266.586	284.100	300.670
28	82.501	124.384	156.753	184.121	208.271	230.126	250.237	268.966	286.564	303.213
29	83.913	126.062	158.612	186.124	210.397	232.360	252.571	271.390	289.072	305.801
30	85.365	127.780	160.511	188.168	212.564	234.637	254.947	273.858	291.625	308.434
31	86.858	129.539	162.451	190.253	214.774	236.958	257.367	276.371	294.224	311.113
32	88.393	131.339	164.434	192.382	217.028	239.323	259.833	278.930	296.870	313.841
33	89.972	133.182	166.459	194.554	219.327	241.734	262.346	281.537	299.565	316.618
34	91.596	135.069	168.530	196.772	221.672	244.192	264.907	284.193	302.309	319.446
35	93.268	137.003	170.646	199.038	224.065	246.699	267.518	286.899	305.105	322.327
36	94.988	138.984	172.810	201.351	226.507	249.256	270.180	289.658	307.954	325.261
37	96.759	141.013	175.024	203.714	228.995	251.864	272.894	292.470	310.857	328.250
38	98.583	143.093	177.288	206.128	231.544	254.526	275.662	295.336	313.816	331.296
39	100.460	145.226	179.604	208.598	234.143	257.242	278.485	298.260	316.833	334.400
40	102.394	147.412	181.974	211.118	236.797	260.015	281.366	301.241	319.908	337.565



TABELA 1. (Continuação).

TEMP \ PD	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
1	261.121	274.580	287.502	299.946	311.962	323.591	334.867	345.822	356.481	366.868
2	262.878	276.392	289.367	301.861	313.924	325.599	336.920	347.917	358.618	369.045
3	264.660	278.230	291.257	303.801	315.912	327.633	338.999	350.040	360.783	371.250
4	266.467	280.093	293.173	305.768	317.928	329.696	341.106	352.191	362.976	373.484
5	268.300	281.982	295.115	307.761	319.971	331.786	343.242	354.371	365.199	375.749
6	270.159	283.898	297.085	309.783	322.042	333.905	345.407	356.581	367.451	378.043
7	272.045	285.841	299.083	311.833	324.142	336.053	347.602	358.820	369.735	380.369
8	273.958	287.811	301.109	313.911	326.271	338.231	349.827	361.090	372.049	382.726
9	275.899	289.811	303.164	316.020	328.430	340.439	352.082	363.392	374.395	385.115
10	277.868	291.839	305.248	318.158	330.620	342.679	354.370	365.726	376.774	387.537
11	279.867	293.898	307.363	320.327	332.841	344.950	356.690	368.092	379.186	389.993
12	281.896	295.986	309.509	322.528	335.095	347.254	359.042	370.492	381.631	392.484
13	283.955	298.106	311.687	324.761	337.381	349.591	361.429	372.927	384.112	395.009
14	286.045	300.258	313.897	327.027	339.701	351.962	363.850	375.396	386.628	397.571
15	288.168	302.442	316.141	329.327	342.054	354.368	366.307	377.901	389.181	400.169
16	290.323	304.660	318.418	331.661	344.443	356.810	368.799	380.443	391.770	402.805
17	292.512	306.912	320.730	334.031	346.868	359.288	371.329	383.023	394.398	405.480
18	294.735	309.199	323.077	336.436	349.330	361.804	373.896	385.640	397.065	408.194
19	296.993	311.522	325.462	338.879	351.829	364.357	376.502	388.297	399.771	410.948
20	299.288	313.881	327.883	341.360	354.367	366.950	379.148	390.994	402.518	413.744
21	301.619	316.278	330.342	343.879	356.944	369.583	381.834	393.733	405.307	416.581
22	303.988	318.713	332.841	346.439	359.562	372.256	384.562	396.513	408.138	419.462
23	306.396	321.188	335.380	349.039	362.220	374.972	387.333	399.337	411.013	422.387
24	308.844	323.704	337.960	351.681	364.922	377.731	390.147	402.205	413.933	425.358
25	311.332	326.261	340.582	354.365	367.667	380.533	393.006	405.118	416.899	428.375
26	313.863	328.860	343.247	357.094	370.456	383.381	395.910	408.077	419.912	431.440
27	316.436	331.503	345.957	359.867	373.291	386.276	398.862	411.084	422.973	434.553
28	319.053	334.190	348.712	362.687	376.173	389.217	401.862	414.140	426.083	437.716
29	321.715	336.924	351.514	365.554	379.102	392.208	404.911	417.246	429.244	440.931
30	324.424	339.705	354.363	368.469	382.082	395.248	408.010	420.403	432.457	444.198
31	327.180	342.534	357.262	371.435	385.111	398.340	411.162	423.613	435.723	447.520
32	329.985	345.413	360.211	374.452	388.193	401.484	414.367	426.877	439.045	450.896
33	332.841	348.342	363.212	377.521	391.328	404.683	417.627	430.197	442.422	454.330
34	335.748	351.325	366.266	380.644	394.518	407.937	420.943	433.573	445.857	457.822
35	338.708	354.361	369.375	383.823	397.764	411.248	424.317	437.008	449.351	461.373
36	341.722	357.452	372.540	387.059	401.068	414.618	427.751	440.503	452.906	464.987
37	344.793	360.601	375.763	390.353	404.431	418.048	431.245	444.060	456.523	468.663
38	347.922	363.808	379.046	393.708	407.856	421.539	434.802	447.680	460.205	472.405
39	351.109	367.075	382.380	397.125	411.343	425.095	438.423	451.365	463.953	476.213
40	354.358	370.405	385.796	400.605	414.895	428.716	442.111	455.118	467.769	480.090

TABELA 1. (Continuação).

TEMP \ PO	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30
1	377.001	386.899	396.577	406.049	415.329	424.426	433.352	442.116	450.727	459.191
2	379.217	389.153	398.868	408.377	417.692	426.824	435.784	444.581	453.224	461.721
3	381.462	391.436	401.189	410.735	420.085	429.253	438.247	447.078	455.754	464.283
4	383.736	393.750	403.541	413.123	422.510	431.713	440.742	449.606	458.316	466.877
5	386.041	396.094	405.923	415.543	424.966	434.204	443.268	452.168	460.911	469.505
6	388.376	398.468	408.336	417.994	427.454	436.729	445.828	454.762	463.539	472.167
7	390.743	400.875	410.782	420.478	429.975	439.287	448.422	457.391	466.202	474.864
8	393.141	403.314	413.261	422.995	432.530	441.878	451.049	460.054	468.900	477.596
9	395.573	405.786	415.773	425.546	435.119	444.505	453.712	462.752	471.633	480.364
10	398.037	408.292	418.319	428.132	437.744	447.166	456.411	465.487	474.404	483.169
11	400.536	410.833	420.900	430.753	440.403	449.864	459.146	468.259	477.211	486.011
12	403.070	413.409	423.517	433.410	443.100	452.599	461.919	471.068	480.057	488.893
13	405.639	416.021	426.171	436.104	445.834	455.372	464.730	473.916	482.942	491.813
14	408.245	418.670	428.862	438.836	448.606	458.183	467.579	476.804	485.866	494.774
15	410.888	421.357	431.591	441.607	451.417	461.034	470.469	479.732	488.831	497.776
16	413.569	424.082	434.359	444.417	454.268	463.926	473.400	482.701	491.838	500.820
17	416.290	426.847	437.167	447.267	457.160	466.858	476.372	485.712	494.888	503.907
18	419.050	429.652	440.016	450.159	460.094	469.833	479.387	488.766	497.981	507.038
19	421.851	432.498	442.907	453.093	463.070	472.851	482.445	491.865	501.118	510.214
20	424.693	435.386	445.840	456.070	466.090	475.913	485.548	495.008	504.301	513.435
21	427.579	438.318	448.818	459.092	469.155	479.020	488.697	498.198	507.531	516.704
22	430.508	441.294	451.840	462.159	472.266	482.173	491.893	501.435	510.808	520.021
23	433.482	444.316	454.907	465.272	475.423	485.374	495.136	504.720	514.134	523.387
24	436.502	447.384	458.022	468.433	478.629	488.624	498.429	508.054	517.510	526.804
25	439.568	450.499	461.185	471.642	481.884	491.923	501.771	511.440	520.937	530.272
26	442.683	453.664	464.397	474.901	485.189	495.273	505.165	514.877	524.417	533.794
27	445.848	456.878	467.660	478.211	488.545	498.675	508.612	518.367	527.950	537.369
28	449.063	460.143	470.975	481.574	491.955	502.131	512.113	521.912	531.538	541.000
29	452.330	463.461	474.342	484.990	495.419	505.641	515.669	525.513	535.183	544.688
30	455.650	466.833	477.764	488.461	498.938	509.208	519.282	529.171	538.886	548.434
31	459.025	470.260	481.242	491.989	502.514	512.832	522.953	532.888	542.648	552.241
32	462.456	473.743	484.778	495.575	506.149	516.515	526.683	536.665	546.470	556.108
33	465.944	477.285	488.372	499.220	509.844	520.259	530.475	540.504	550.355	560.038
34	469.491	480.887	492.026	502.926	513.601	524.065	534.330	544.406	554.304	564.033
35	473.099	484.549	495.742	506.694	517.421	527.935	538.249	548.374	558.319	568.095
36	476.769	488.275	499.522	510.527	521.305	531.870	542.234	552.408	562.401	572.224
37	480.504	492.065	503.367	514.426	525.257	535.873	546.288	556.511	566.553	576.424
38	484.303	495.922	507.280	518.393	529.277	539.945	550.411	560.684	570.776	580.695
39	488.171	499.847	511.261	522.429	533.367	544.089	554.606	564.930	575.071	585.040
40	492.108	503.842	515.313	526.537	537.530	548.305	558.875	569.250	579.442	589.460

TABELA 1. (Continuação).

TEMP \ PO	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
1	467.517	475.711	483.779	491.726	499.559	507.281	514.898	522.413	529.830	537.154
2	470.078	478.303	486.401	494.379	502.241	509.992	517.637	525.181	532.626	539.977
3	472.672	480.928	489.057	497.065	504.957	512.737	520.411	527.983	535.456	542.835
4	475.299	483.586	491.746	499.785	507.706	515.517	523.220	530.820	538.322	545.729
5	477.959	486.278	494.470	502.539	510.491	518.331	526.064	533.693	541.224	548.659
6	480.654	489.005	497.228	505.329	513.311	521.182	528.944	536.603	544.162	551.626
7	483.383	491.767	500.023	508.154	516.168	524.069	531.861	539.550	547.138	554.631
8	486.149	494.566	502.853	511.017	519.062	526.993	534.816	542.535	550.153	557.674
9	488.951	497.401	505.721	513.917	521.993	529.956	537.810	545.559	553.206	560.757
10	491.790	500.274	508.627	516.855	524.964	532.958	540.843	548.622	556.300	563.881
11	494.667	503.185	511.571	519.832	527.974	536.000	543.916	551.726	559.435	567.045
12	497.583	506.135	514.556	522.850	531.024	539.082	547.030	554.871	562.611	570.252
13	500.539	509.126	517.580	525.908	534.115	542.206	550.186	558.059	565.829	573.501
14	503.536	512.157	520.646	529.008	537.248	545.372	553.384	561.289	569.092	576.795
15	506.574	515.231	523.755	532.151	540.425	548.582	556.627	564.564	572.398	580.133
16	509.654	518.347	526.906	535.337	543.645	551.836	559.914	567.884	575.750	583.517
17	512.778	521.507	530.102	538.568	546.910	555.135	563.247	571.250	579.149	586.948
18	515.946	524.712	533.343	541.844	550.222	558.481	566.627	574.663	582.595	590.426
19	519.160	527.963	536.630	545.167	553.580	561.874	570.054	578.124	586.090	593.954
20	522.419	531.260	539.964	548.538	556.986	565.316	573.530	581.635	589.634	597.531
21	525.727	534.605	543.347	551.957	560.442	568.807	577.056	585.196	593.229	601.160
22	529.083	538.000	546.779	555.426	563.948	572.349	580.634	588.808	596.876	604.841
23	532.489	541.444	550.262	558.947	567.505	575.942	584.264	592.473	600.576	608.576
24	535.945	544.940	553.796	562.519	571.115	579.589	587.947	596.193	604.331	612.365
25	539.454	548.489	557.384	566.145	574.779	583.291	591.685	599.967	608.141	616.211
26	543.016	552.091	561.026	569.826	578.498	587.048	595.480	603.798	612.008	620.114
27	546.633	555.749	564.723	573.563	582.274	590.862	599.331	607.687	615.934	624.076
28	550.306	559.463	568.478	577.358	586.108	594.735	603.242	611.636	619.920	628.098
29	554.036	563.235	572.291	581.211	590.002	598.667	607.214	615.645	623.967	632.182
30	557.825	567.066	576.164	585.125	593.956	602.661	611.247	619.717	628.077	636.330
31	561.675	570.959	580.099	589.101	597.973	606.718	615.343	623.853	632.251	640.542
32	565.587	574.914	584.096	593.141	602.053	610.840	619.505	628.054	636.491	644.821
33	569.562	578.933	588.158	597.245	606.200	615.027	623.733	632.322	640.799	649.168
34	573.602	583.017	592.287	601.417	610.414	619.283	628.030	636.660	645.177	653.585
35	577.709	587.169	596.483	605.657	614.697	623.608	632.397	641.068	649.626	658.074
36	581.885	591.391	600.749	609.967	619.051	628.005	636.836	645.549	654.148	662.637
37	586.131	595.683	605.087	614.350	623.478	632.476	641.350	650.105	658.745	667.275
38	590.450	600.049	609.499	618.807	627.979	637.021	645.939	654.737	663.419	671.991
39	594.843	604.489	613.986	623.340	632.558	641.645	650.606	659.447	668.173	676.787
40	599.312	609.007	618.551	627.952	637.215	646.348	655.354	664.239	673.008	681.665

TEMP: Temperatura em graus Celsius

Concentração em gramas de PEG-6000 por quilograma de água

PO : Potencial osmótico em bar

## REFERÊNCIAS

- BEWLEY, D.; BLACK, M. **Seeds; physiology of development and germination.** New York: Plenum, 1985. 367p.
- BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HortScience**, Alexandria, v.21, n.5, p.1105-1112, 1986.
- HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; TURNER, Y.J. Invigoration of seeds? **Seed Science and Technology**, Zurich, v.3, p.881-888, 1975. **Technology**, Zurich, v.3, p.881-888, 1975.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes.** Washington: OEA, 1983. 174p.
- LEE, J.F.; SEARS, F.W. **Termodinâmica.** Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1969. 667p.
- MICHEL, B.E.; KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant physiology**, Rockville, v.51, p.914-916, 1973.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.