

EFEITO DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO SOBRE A RESPIRAÇÃO DOS TUBÉRCULOS DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.)^{1/}

Márcio Henrique Furtado^{2/}
Nei Fernandes Lopes^{3/}
Marco Antonio Oliva^{3/}
Aquia Mizubuti^{4/}

1. INTRODUÇÃO

Durante o período de armazenamento, diversas alterações físicas e químicas podem processar-se no tubérculo, diminuindo ou aumentando seu poder de brotação. Os fatores que concorrem para essas alterações são a idade do tubérculo, a circulação de ar, a umidade relativa, a luz e a temperatura nos depósitos de armazenamento.

Baixa temperatura ($5^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e alta umidade relativa ($90 \pm 5\%$) são consideradas ideais para o armazenamento prolongado da batata. Ao contrário, altas temperaturas de armazenamento (15 a 30°C) aumentam a taxa respiratória (4, 7, 9, 11, 12), reduzindo, conseqüentemente, a matéria seca dos tubérculos.

^{1/} Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como um dos requisitos para a obtenção de grau de «Magister Scientiae» em Fisiologia Vegetal. Os autores agradecem ao CNPq o suporte financeiro.

Recebido para publicação em 24-4-1984.

^{2/} Bolsista do CNPq.

^{3/} Departamento de Biologia Vegetal da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{4/} Departamento de Fitotecnia da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

De acordo com as revisões de SCHIPPERS (11), a taxa respiratória apresentou variações de 1,4 a 1,6, de 1,7 a 10,0 e de 3,0 a 24,0 mgCO₂. KgMF⁻¹. h⁻¹, quando os tubérculos foram armazenados a 5°, 10° e 20°C, respectivamente. Essas variações, para determinada temperatura, são consequência de diversos fatores, como cultivar, época do ano, grau de brotação, etc. (11).

Sendo o cultivar 'Mantiqueira' de desenvolvimento recente no Brasil e o cultivar 'Bintje' utilizado comercialmente no país há muito tempo, considerou-se importante comparar os efeitos da temperatura sobre a taxa respiratória e perda de matéria seca durante o período de armazenamento. Este trabalho é uma continuação de artigo anterior (5), que tratou da influência da temperatura de armazenamento sobre a morfologia, período de dormência e perda de peso de tubérculos de batata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Tubérculos-semente de *Solanum tuberosum* L., cultivares 'Mantiqueira' e 'Bintje', pré-condicionados e embalados do modo descrito anteriormente (5), foram armazenados em câmaras escuras, nas temperaturas de 5°, 10° e 20° ± 1°C, com umidade relativa de 70 ± 2%, e a temperatura e umidade relativa ambientes, que variaram de 18° a 27°C e de 65 a 76%, durante 154 dias de armazenamento.

Para cada tratamento, a intervalos regulares de 14 dias, após o início do armazenamento, em tubérculos selecionados por amostragem, foram determinados o peso da matéria seca e a respiração. O peso da matéria seca foi determinado gravimetricamente, conforme descrito (5).

Um sistema aberto para troca gasosa foi utilizado para medir o CO₂ liberado pela respiração. A aparelhagem foi agrupada conforme está ilustrado esquematicamente na Figura 1. O ar proveniente da bomba compressor era regulado, por uma válvula de agulha, para um fluxo de 3 l.min⁻¹. O CO₂ e a H₂O foram eliminados, fazendo-se passar o ar por ascarita e dois frascos lavadores que continham 200 ml de NaOH 1N. Em seguida, uma câmara de respiração (Figura 2) foi conectada a esses frascos. O CO₂ produzido foi recolhido, por tempo definido, em 200 ml de solução de Ba(OH)₂ 0,2 N.

Uma câmara de respiração, de PVC, foi utilizada em sistema aberto com fluxo contínuo (Figura 2). O corpo da câmara de respiração era constituído de duas partes: uma, externa, com parede de 1 cm de espessura e capacidade de aproximadamente dois litros e meio por onde a água circulava, para controlar a temperatura, e outra, interna, com parede de 0,2 cm de espessura e capacidade para seis litros, na qual eram mantidos os tubérculos. A temperatura da água em circulação era regulada por um sistema circular-controlador de temperatura (LAUDA Circulator K-2/R-LAUDA Thermostat K-12 V-115 W-800), mantendo-se, desse modo, suprimento de água com fluxo de 9,5 l. min⁻¹. O aparelho mantinha uma estabilidade térmica de ± 0,01°C. Um ventilador de baixa voltagem foi instalado no fundo da câmara, para assegurar uma concentração uniforme de CO₂. Externamente à câmara foi colocado um transformador de voltagem (Figura 1), para impedir seu aquecimento. Os tubérculos eram colocados em placa perfurada, para que o ar circulasse livremente. A câmara de respiração era fechada hermeticamente com tampa de PVC e fixada por meio de porcas tipo «borboleta». Sobre as extremidades da câmara e da tampa colocou-se uma borracha adesiva (0,2 cm de espessura x 5,0 cm de largura), para evitar que o ar escapasse.

Visando estimar a taxa respiratória, com base no CO₂ proveniente dos tubérculos, foram colocados aproximadamente 500 g de tubérculos na câmara de respiração. Depois de fechada, a bomba compressor era ligada, fazendo com que o ar percorresse todo o sistema durante 10 minutos. Assim, assegurava-se a remoção

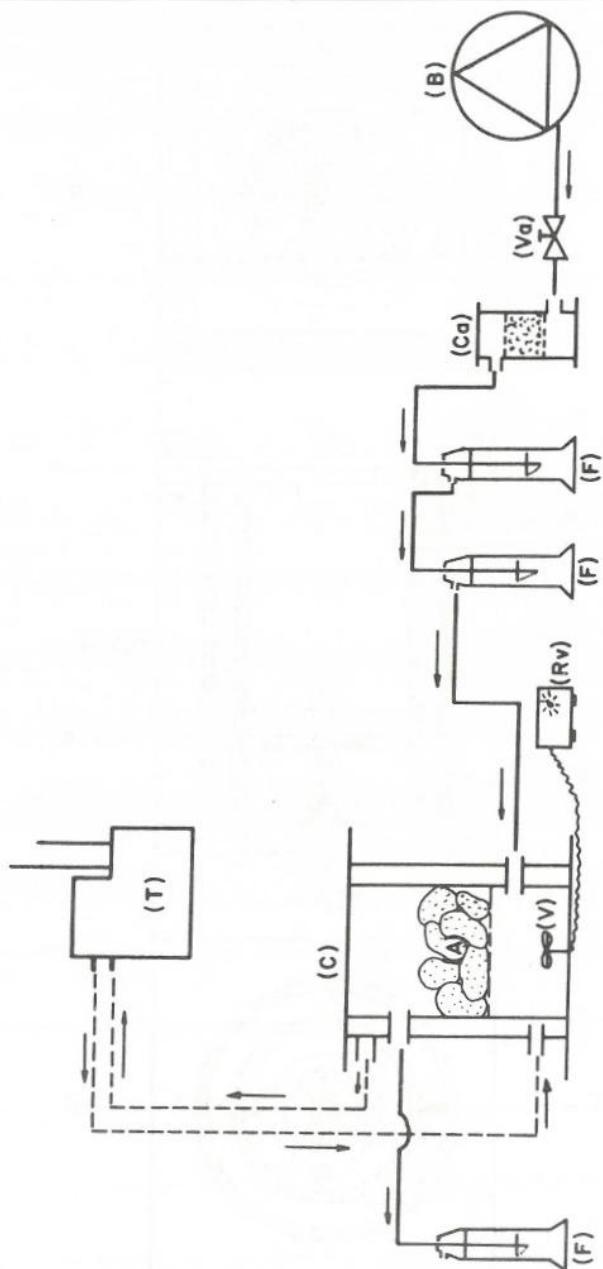


FIGURA 1 - Esquema da aparelhagem empregada para determinar troca gasosa, sendo B= bomba compressor; Va= válvula de agulha; Ca= câmara com ascarita; F= frasco lavador; Rv= regulador de voltagem; V= ventilador; A= amostra; C= câmara de respiração; T= sistema circulador de água com controle de temperatura.

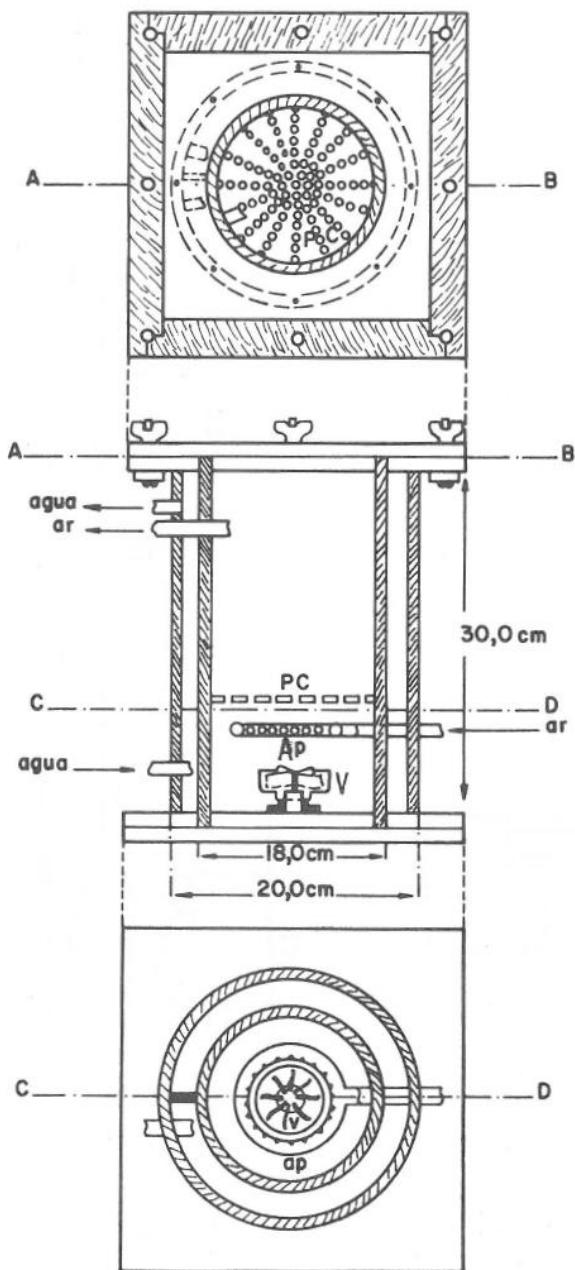


FIGURA 4 - Perda de matéria seca de tubérculos armazenados a diferentes temperaturas, sendo B = Bintje; M = Maniqueira; V = temperatura ambiente; 5, 10 e 20 = temperaturas de armazenamento.

do ar da câmara, para que fosse possível conectar o frasco-receptor. Passados 30 minutos, o sistema era desligado e o frasco-receptor desconectado. Determinou-se o CO₂ recolhido na solução de Ba(OH)₂ 0,2N, medindo-se a condutibilidade da solução receptora com uma ponte de medição de condutibilidade tipo LMB-5. Preparou-se uma curva-padrão de hidróxido de bário, com normalidade de 0,0125, 0,025, 0,05, 0,1, 0,25 e 0,5, e obteve-se uma equação linear: C = - 0,02596 + 0,02713 S ($r^2=99\%$), sendo C a concentração de Ba(OH)₂, em normal (N), e S a condutibilidade da solução de Ba(OH)₂, em mS.cm⁻¹. Substituída a condutibilidade encontrada na equação da curva-padrão, obteve-se o CO₂ desprendido, em mg.kg^{-1.h-1}, com o emprego da fórmula $R_D = (\Delta C \cdot 22 \cdot V \cdot 60 \cdot F) / (P_A \cdot t)$, sendo R_D a taxa de respiração dos tubérculos, ΔC a diferença de concentração de hidróxido de bário entre o branco e a solução receptora, 22 o peso, em gramas, do CO₂ fixado por 1N de Ba(OH)₂, V o volume de captação de CO₂(0,2 1), F o fator de correção do peso, P_A o peso de amostra, em gramas, e t o tempo, em minutos.

O efeito da temperatura sobre a taxa de respiração de tubérculos durante o período de armazenamento pode ser mais bem interpretado com o emprego da equação de Arrhenius, que é aplicada para reações termoquímicas: $\ln(K_2/K_1) = (E_A/R)(1/T_2 - 1/T_1)$, sendo K₂ e K₁ taxas da respiração nas temperaturas T₂ e T₁, respectivamente; E_A, energia de ativação da reação; R, constante dos gases (1,987 kcal. mol^{-1.k-1}; e T₂ e T₁, temperaturas absolutas (K).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições.

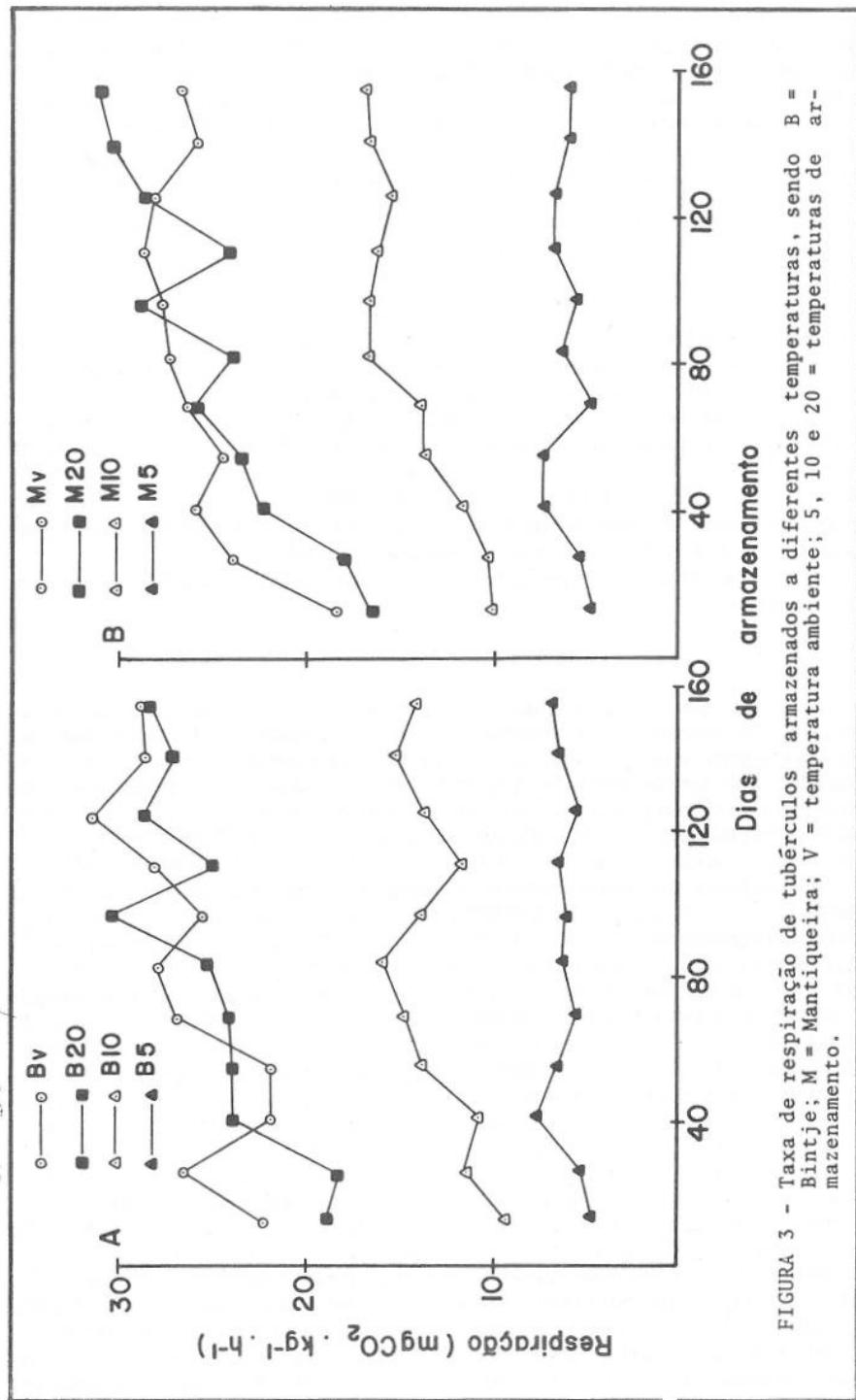
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve um incremento na taxa de respiração dos tubérculos à medida que aumentou a temperatura de armazenamento, nos dois cultivares (Figura 3). Esse aumento é normal e conhecido (3, 4, 7, 10, 11, 13). Entretanto, é válido para determinada faixa de temperatura, por quanto já foram obtidos valores de respiração de tubérculos armazenados a 0°C bem acima dos armazenados a 4,4°C (7) e a 15°C (2). Para vários cultivares, tubérculos armazenados a 1,1° e 10,5°C não mostraram diferenças nas taxas respiratórias (EFFMERT *et alii*, 1961, citados por SMITH (14)).

A respiração aumentou conforme a temperatura, aproximadamente de acordo com a fórmula empírica de VAN'T HOFF. Entretanto, praticamente dobrou quando se acrescentaram 5°C (aumento de 5°C para 10°C) (Figura 3). Isso sugere que a taxa respiratória, em uma das duas temperaturas de armazenamento, ou mesmo nas duas, apresentou tendência diferente da esperada. Comparando a taxa respiratória (Figura 3) e a perda de matéria seca (Figura 4) a 5°C, observa-se que a respiração foi mais ou menos constante ao longo do período de armazenamento e, provavelmente, apresentou tendência abaixo da teoricamente esperada. A perda de matéria seca a 5°C, em diversas fases do período experimental, foi semelhante e até mesmo superior à perda de matéria seca a 10°C, nos dois cultivares. Resultados semelhantes foram encontrados por BUTCKBAKER *et alii* (4), que, trabalhando com tubérculos das variedades 'Kennebec', 'Pontiac' e 'Norgold', observaram que os da variedade 'Kennebec', armazenados a 4,4°C, apresentaram perda de matéria seca pela respiração igual e até superior à dos tubérculos armazenados a 10°C, quando o armazenamento foi feito com 65%, 93% e 100% de umidade relativa.

Sendo assim, a baixa temperatura reduziu a perda de matéria seca dos tubérculos, efeito que parece ter sido mais acentuado no cultivar 'Mantiqueira' (Figura 4), embora isso não tenha sido detectado quando se mediu a respiração (Figura 3).

As taxas respiratórias medidas na câmara de respiração provavelmente foram superestimadas, em relação à respiração real ocorrida na câmara de armazenamento, em razão de o fluxo de ar na câmara respiratória ter sido maior que a cir-



culação de ar nas câmaras de armazenamento. Possivelmente, o fluxo de ar produziu uma redução na camada de ar limítrofe aos tubérculos, diminuindo, portanto, a resistência à difusão de CO₂ liberado. Não se deve descartar a possibilidade de o fluxo de ar ter provocado aumento do gradiente de concentração de CO₂ entre os tubérculos e o ambiente.

A taxa respiratória, nos tubérculos armazenados a 10°C e 20°C e à temperatura ambiente, aumentou à medida que se prolongou o tempo de armazenamento. Esse aumento pode estar ligado à ocorrência da brotação, já que a perda de matéria fresca (5) e matéria seca (Figura 4) foi mais acelerada pouco depois de iniciada a brotação (5). Essa hipótese é confirmada por vários autores, que determinaram aumento apreciável da taxa respiratória dos tubérculos com a brotação (1, 4, 15). Entretanto, o resultado deste trabalho não mostrou relação entre a taxa respiratória e o comprimento dos brotos, visto que os tubérculos do cultivar 'Bintje' apresentaram brotos bem maiores que os do cultivar 'Mantiqueira', a 20°C (5), e taxas respiratórias, bem como perda de matéria seca, praticamente iguais.

Esse aumento da taxa respiratória, conforme o tempo de armazenamento, com temperaturas superiores a 5°C pode estar relacionado com a produção de material mitocondrial, resultado da fissão de mitocôndrios já existentes, que aumenta conforme a idade do tubérculo (8).

Embora a taxa respiratória seja uma característica do cultivar (11), isso não fica evidente quando se observam os dados de respiração (Figura 3). Entretanto, parece destacar-se muito quando se observa a perda de matéria seca (Figura 4).

Os gráficos (Arrhenius) de respiração de tubérculos inteiros de ambos os cultívares, com 14, 98 e 154 dias de armazenamento, revelam a energia de ativação (E_A) para o sistema, equivalente a 12,2, 14,3 e 15,4 Kcal.mol.⁻¹, para o cultivar 'Bintje', e 13,1, 13,8 e 15,9 Kcal.mol.⁻¹, para o cultivar 'Mantiqueira', respectivamente (Figura 5). Sabe-se que a E_A exigida para as reações não-enzimáticas é maior que a exigida para as reações enzimáticas e que a concentração de determinada enzima faz variar a E_A. «In vivo», as reações enzimáticas são dependentes da temperatura, dependência que é determinada por numerosos fatores, dentre os quais a ativação de entalpia em reações mais limitantes (6). Então, se a E_A aumenta, para determinado sistema de reações, isso pode significar que a concentração de enzimas desse sistema, por alguma razão, está diminuindo ou, então, que elas estão perdendo suas atividades catalíticas. Sendo assim, uma vez que as E_A, para ambos os cultívares, apresentaram crescentes, conforme o tempo de armazenamento, isso implica que o mecanismo respiratório, nesses períodos (14, 98 e 154 dias), era diferente, sugerindo que a maquinária respiratória foi-se tornando deficiente (provavelmente a nível enzimático) com o crescimento da idade do tubérculo. Possivelmente, o aumento da taxa respiratória de acordo com a idade está ligado a um incremento nos processos de entropia, e, portanto, para que se mantenham a integridade e a organização dos tecidos, a demanda de energia deverá ser aumentada.

4. RESUMO

Tubérculos-semente de *Solanum tuberosum* L., cultívar 'Mantiqueira' e 'Bintje', foram armazenados em câmaras escuras, a 5°, 10°, 20° ± 1°C à temperatura ambiente, que variou de 18° a 27°C, durante 154 dias. A taxa respiratória e a perda de matéria seca foram determinadas a intervalos regulares de catorze dias, durante o período de armazenamento.

A taxa respiratória aumentou com o incremento da temperatura de armazenamento e da idade do tubérculo nas temperaturas acima de 5°C, em ambos os cultívares. Essa taxa manteve-se mais ou menos constante durante o período experimental, quando armazenados a 5°C, em ambos os cultívares. Embora as taxas

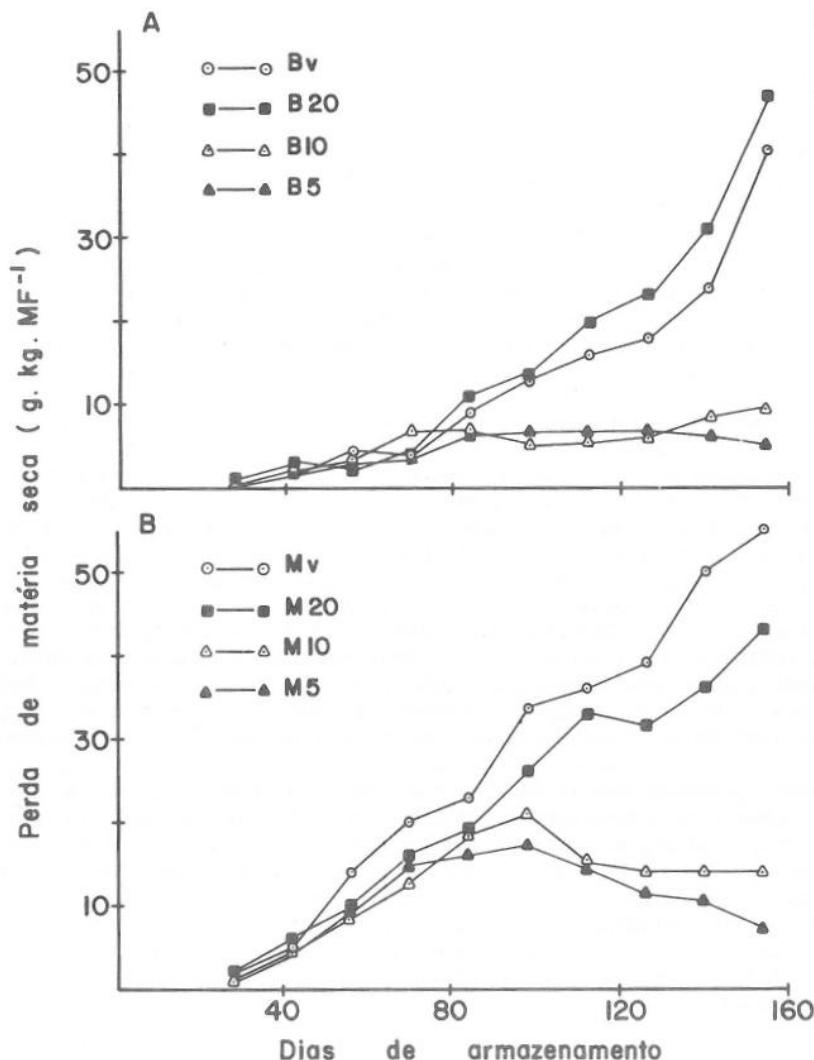


FIGURA 2 - Diagrama esquemático da câmara de respiração, sendo centro = corte longitudinal; AB e CD = cortes transversais; PC = placa crivada; Ap = argola perfurada; V = ventilador.

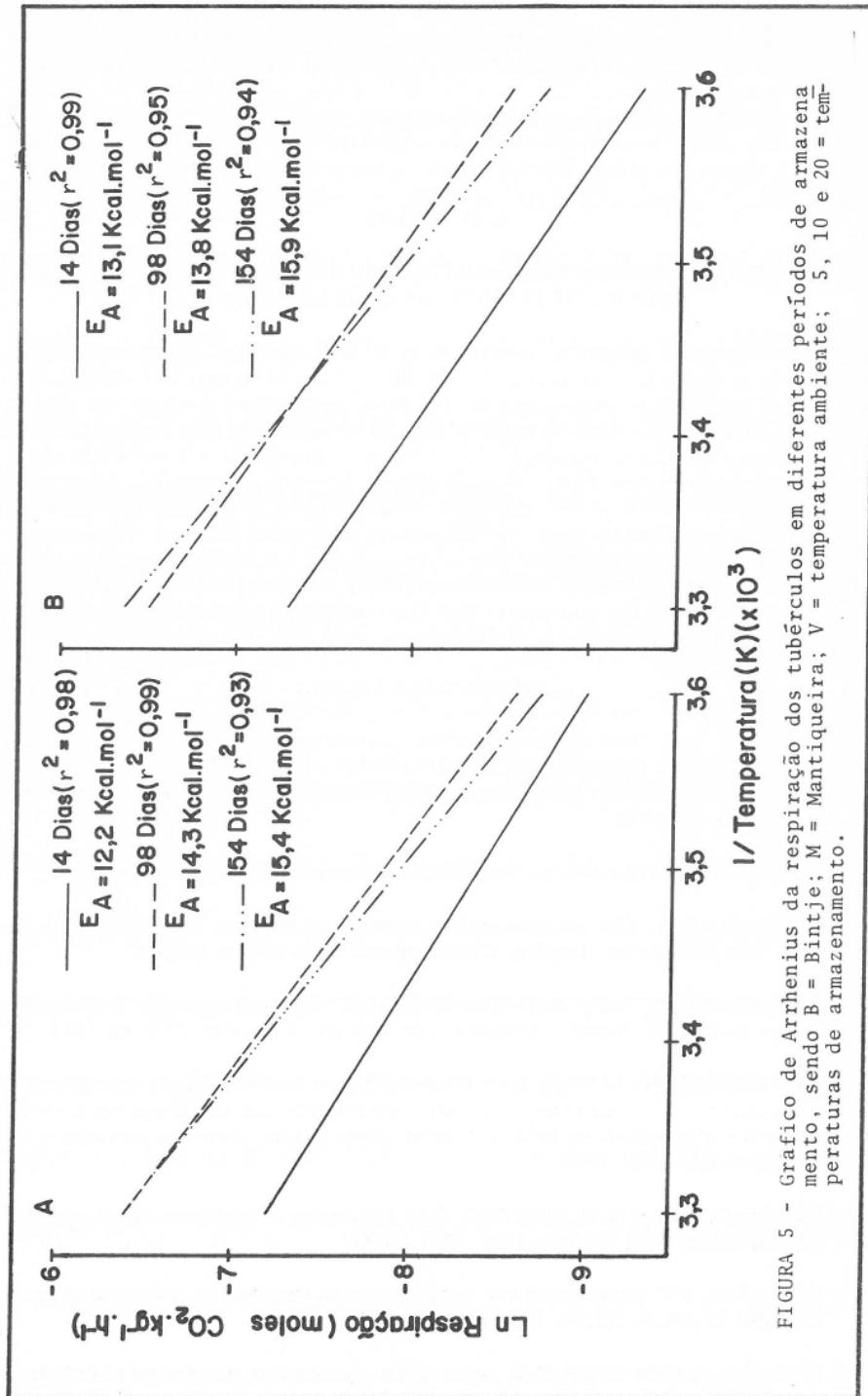


FIGURA 5 - Gráfico de Arrhenius da respiração dos tubérculos em diferentes períodos de armazenamento, sendo B = Binje; M = Mantiqueira; V = temperatura ambiente; S, 10 e 20 = temperaturas de armazenamento.

respiratórias tenham apresentado comportamento mais ou menos semelhante durante todo o período de armazenamento, as perdas de matéria seca dos dois cultivares foram diferentes.

Houve um aumento da energia de ativação (E_A), em ambos os cultivares, à medida que aumentou a idade dos tubérculos, o que sugere que a maquinária respiratória tornou-se menos eficiente com o aumento do tempo de armazenamento.

5. SUMMARY

(EFFECT OF STORAGE TEMPERATURE ON THE RESPIRATION OF THE TUBERS OF POTATO (*Solanum tuberosum L.*))

Seed-tubers of *Solanum tuberosum L.* of the cultivars 'Mantiqueira' and 'Bintje' were stored in chambers at 5° , 10° , $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ and an ambient temperature (18° to 27°C) and kept in the dark for 154 days. Respiration rate and dry weight loss of the tubers were determined at 14-day intervals during this storage period.

Respiration rates increased at higher storage temperatures with tubers aging at temperatures above 5°C in both cultivars. However, respiration rates were approximately constant at 5°C , during the experimental period, in both cultivars. Although, the respiration rates showed similar tendencies between cultivars, the dry weight losses were different.

There was an increment in activation energy as tubers became older in both cultivars, leading to the conclusion that the respiration machinery becomes less efficient with storage time.

6. LITERATURA CITADA

1. BURTON, W.G. The physiology of the potato: problems and present status. In: TRIENNIAL CONFERENCE EUROPEAN ASSOCIATION OF POTATO RESEARCHERS, 1.^a, Wageningen, 1960. Proceedings, Wageningen, W.H. de Jong, 1961. p 79-117.
2. BURTON, W.G. *The potato*. Wageningen, Veenman e Zonen, 1966. p 382.
3. BURTON, W.G. The physics and physiology of storage. In: HARRIS, P.M. (ed.). *The potato crop*. London, Chapman and Hall, 1978. p. 545-606.
4. BUTCHBAKER, A.F.; PROMERSBERGER, W.J. & NELSON, D.C. Respiration and weight losses of potato during storage. *Farm Res.* 39:33-40. 1973.
5. FURTADO, M.H.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. & MIZUBUTI, A. Influência da temperatura de armazenamento sobre alguns aspectos morfológicos, período de dormência e perda de peso de tubérculos de batata (*Solanum tuberosum L.*) *Rev. Ceres* 31:39-51. 1984.
6. HOCHACHKA, P.W. & SOMERO, G.N. *Strategies of biochemical adaptation*. Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1973. 358 p.
7. HOPKINS, E.F. Relation of low temperature to respiration and carbohydrate changes in potato tubers. *Bot. Gaz.* 78: 311-325. 1924.
8. LEE, G.S. & CHASSON, R.M. Agin and mitochondrial development in potato tubers tissue. *Physiol. Plant.* 19: 199-206. 1966.

9. PAEZ, L.E. & HILTIN, H.O. Respiration of mitochondria and whole tubers and relation to sugar accumulation. *J. Food Sci.* 35:46-51. 1970.
10. SCHIPPERS, P.A. The relation between storage conditions and changes in weight and specific gravity of potatoes. *Am. Potato J.* 48: 313-319. 1971.
11. SCHIPPERS, P.A. The rate of respiration of potato tubers during storage. I. Review of literature. *Potato Res.* 20: 173-188. 1977.
12. SCHIPPERS, P.A. The rate of respiration of potato tubers during storage. II. Results of experiments in 1972 and 1973. *Potato Res.* 20: 189-206. 1977.
13. SMITH, O. Dormancy. In: SMITH, O. (ed.) *Potato production, storing and processing*. New York, The Avi Publish Co., 1968. p. 22-57.
14. SMITH, O. Effect of transit and storage conditions on potatoes. In: TALBURST, W.F. & SMITH, O. (eds.) *Potato processing*. Westport, The Avi Publish Co., 1975. p. 171-233.
15. QWHITEHEAD, T. The physiology of potato leaf roll. I. On the respiration of healthy and leaf-roll infected tubers. *Ann Appl. Biol.* 21: 48-77. 1934.