

ANDRÉ BIANCONI

**DESCRIÇÃO DA RESPOSTA GERMINATIVA DE CULTIVARES DE
Phaseolus vulgaris L. (FABACEAE) À TEMPERATURA E AO POTENCIAL
OSMÓTICO**

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências Biológicas (Biologia
Vegetal)**

Orientador: Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso

**Rio Claro
2009**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO defendida em 03.03.2009

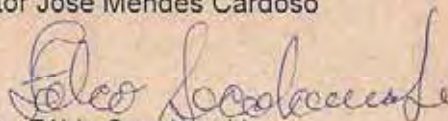
"Descrição da Resposta Germinativa de Cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) à Temperatura e ao Potencial de Água"

ANDRÉ BIANCONI

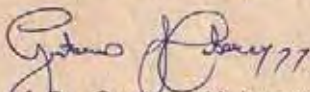
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso



Prof. Dr. Fábio Socolowski



Prof. Dr. Gustavo Habermann

AGRADECIMENTOS

Este projeto contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes durante a fase inicial de sua condução. Sou grato à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela bolsa de mestrado (processo 2007/02036-1). O Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, Londrina) e o Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) gentilmente providenciaram as sementes utilizadas no presente estudo.

RESUMO

A germinação de sementes representa uma etapa crítica para a sobrevivência da maioria das fanerógamas. Composição de gases, temperatura e água são os principais fatores ambientais limitantes do processo de germinação. Entre esses, a temperatura e a água exibem maior grau de flutuação, tanto em escala temporal como espacial, no ambiente terrestre, funcionando como importantes sinalizadores ambientais para a semente. Os objetivos deste trabalho foram fornecer a caracterização básica dos padrões germinativos de quatro cultivares (Carioca comum, Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru) de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae); determinar as faixas ótimas de germinação para cada cultivar (experimentos em gradiente térmico com água destilada); realizar experimentos com interação dos fatores temperatura e potencial osmótico com soluções de polietilenoglicol 6000, visando à aplicação de modelos matemáticos baseados nos conceitos de graus-dia, psi-dia e na combinação destes dois conceitos (modelo psi-graus-dia), para se efetuar a comparação da resposta germinativa de tais cultivares. A cultivar IPR Graúna apresentou a faixa ótima com maior variação de distintas temperaturas (nove temperaturas), baseando-se na velocidade média de germinação; contrastando com a Iapar 81, que não apresentou uma faixa ótima, mas sim um único ponto ótimo (32,6°C). Nenhuma das quatro cultivares apresentou germinação acima de 38,2°C nem abaixo de 10,3°C nos experimentos em gradiente térmico (água destilada). As temperaturas base obtidas pelo modelo de graus-dia variaram de 8,4 a 9,2°C. Os ajustes (todos os $R^2s \geq 0,70$) ao modelo psi-graus-dia foram adequados para todas as cultivares, tanto na faixa supraótima quanto na infraótima. Assim sendo, ainda que mais estudos sejam necessários para melhorar a qualidade dos ajustes obtidos em relação às cultivares de feijoeiro, estas puderam ser comparadas e, de maneira geral, exibiram comportamento germinativo relativamente homogêneo em função da temperatura e do potencial osmótico.

Palavras-chave: Germinação. Feijoeiro. Graus-dia. Gradiente térmico. Modelagem matemática.

ABSTRACT

Seed germination constitutes a crucial phase in relation to the life cycle of plant species. The composition of gases, temperature and water availability are the main environmental factors that may hinder several germination processes. Temperature and water availability, for example, are able to fluctuate considerably and may act as environmental “status” indicators to the seeds. The present work was aimed at furnishing a basic characterisation of the germination patterns of four *Phaseolus vulgaris* cultivars, viz. “Carioca comum”, “Iapar 81”, “IPR Graúna” and IPR Uirapuru; assessing the optimum range of germination for each cultivar; conducting experiments in which the effects of temperature and osmotic potential were simultaneously analysed in order to deploy mathematical models concerning the concept of degree-days (thermal time) with the aim of comparing the germination response of such cultivars. “IPR Graúna” exhibited a wider optimum range of temperature (nine distinct values) and “Iapar 81” presented only one temperature value as the optimum temperature (32.6°C). The four cultivars did not germinate at temperatures higher than 38.2°C and lower than 10.3°C. The base temperatures derived from the application of the thermal time models varied from 8.4 to 9.2°C. Regarding the hydrothermal-time model, the quality of the data fitting were deemed to be adequate (R^2 s ≥ 0.70) both in the suboptimum range and in the supra-optimum range. Other researches should be conducted in order to corroborate the present findings; nonetheless, the common bean cultivars were able to be compared and contrasted and exhibited, on the whole, a relatively homogenous behaviour in relation to temperature and osmotic potential (hydrothermal-time model).

Key-words: Germination. Common bean. Degree-days. Thermal gradient. Mathematical modelling.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Página

- Figura 1** - Vista geral do bloco de gradiente térmico. Termômetros de mercúrio foram utilizados para verificar a precisão (ou funcionamento) da temperatura exibida pelo termômetro digital. Durante a execução dos experimentos, o bloco de gradiente térmico permaneceu lacrado por uma tampa de metal..... 29
- Figura 2** - Peso médio em gramas de 100 sementes para as quatro cultivares de *P. vulgaris*. Linhas verticais no topo das barras indicam o erro padrão da média. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas detectadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 33
- Figura 3** - Teor de água das sementes de *P. vulgaris*. Linhas verticais no topo das barras indicam o erro padrão da média. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas detectadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 34
- Figura 4** - Porcentagem acumulada de embebição em quatro cultivares de *P. vulgaris*. Peso adquirido em relação ao peso fresco inicial em função do tempo em horas (à 25°C). As barras verticais representam os erros padrões das médias. As linhas pontilhadas delimitam o intervalo de tempo necessário para haver 50% de incremento, em relação ao peso inicial, no peso das sementes. 35
- Figura 5** - Germinabilidade: porcentagem final de germinação (A); velocidade média de germinação (B); índice de sincronização (C); em quatro cultivares de *P. vulgaris*. À temperatura de 25°C, sob luz branca constante e em água destilada. Linhas verticais: erros padrões das médias. Letras distintas indicam médias estatisticamente diferentes detectadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 37
- Figura 6** - Germinabilidade (porcentagem final de germinação) (A), velocidade média de germinação (B), índice de sincronização (C) em quatro cultivares de *P. vulgaris*. À temperatura de 25°C, em água destilada, e nas condições de luz branca constante (luz) e ausência de luz (escuro). Linhas verticais: erros padrões das médias. Letras iguais indicam que as médias para cada cultivar, nas duas condições, não diferiram pelo teste t de Student ($\alpha=0,05$)..... 38
- Figura 7** - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar Carioca. Linhas tracejadas verticais (B) indicam a faixa ótima de temperatura, baseada na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias..... 40
- Figura 8** - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar

lapar 81. Linha tracejada vertical (B) indica o ponto ótimo de temperatura, baseado na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias..... 41

Figura 9 - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna. Linhas tracejadas verticais (B) indicam a faixa ótima de temperatura, baseada na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias..... 42

Figura 10 - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru. Linhas tracejadas verticais (B) indicam a faixa ótima de temperatura, baseada na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias..... 43

Figura 11 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos (tratamentos) que são estatisticamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 46

Figura 12 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 47

Figura 13 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 48

Figura 14 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 49

Figura 15 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 50

- Figura 16** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 51
- Figura 17** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 54
- Figura 18** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 55
- Figura 19** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 56
- Figura 20** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 57
- Figura 21** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 58
- Figura 22** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$)..... 59
- Figura 23** - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os

potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 62

Figura 24 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 63

Figura 25 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 64

Figura 26 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (em C nenhum potencial diferiu do controle). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 65

Figura 27 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 66

Figura 28 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 67

Figura 29 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 70

Figura 30 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 71

Figura 31 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 72

Figura 32 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 73

Figura 33 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 74

Figura 34 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$). 75

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Relação entre porcentagem acumulada de germinação e os graus-hora para a faixa infraótima em quatro cultivares de *P. vulgaris*. As retas foram baseadas no modelo de graus-dia e, por meio deste, foi determinada a temperatura base (T_b) para cada cultivar, que fornecia o maior R^2 (coeficiente de determinação) e a menor dispersão de pontos em torno das retas. *probit G*: representa a transformação da proporção acumulada de germinação pelo modelo probístico. *log graus-hora*: representa o logaritmo dos graus-horas obtidos pela equação 2. As quatro retas são estatisticamente homogêneas, representando a mesma taxa de variação. Foi utilizado o teste F para comparações de várias retas. A T_b para cada cultivar é: Carioca (8,9°C); Iapar 81 (8,4°C); IPR Graúna (8,9°C); IPR Uirapuru (9,2°C). 99

Figura 2 - Velocidades ($1/t$) para cada fração percentual (5% a 90%) de germinação na faixa infraótima de temperatura de quatro cultivares de *P. vulgaris*, estimadas a partir do modelo de Weibull. A reta de cada fração de germinação foi extrapolada no intuito de verificar se estas convergiam para uma mesma temperatura base (T_b). Para as frações mais altas (90% por exemplo) não foi possível estimar adequadamente os parâmetros da equação de Weibull. A: cultivar Carioca comum. B: cultivar Iapar 81. C: cultivar IPR Graúna. D: cultivar IPR Uirapuru. 100

Figura 3 - A: porcentagem acumulada de germinação esperada em função da variação nos graus-horas, obtida a partir do modelo de graus-dia para a faixa infraótima. B: porcentagem acumulada de germinação esperada em função da variação nos valores de T_{max} (temperatura máxima ou limite), obtidas a partir do modelo de graus-dias para a faixa supraótima. 101

Figura 4 - Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar Carioca comum em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios). 103

Figura 5 - Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar Iapar 81 em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios). 104

Figura 6 - Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar IPR Graúna em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios). 105

Figura 7 - Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar IPR Uirapuru em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios). 106

Figura 8 - Variação dos potenciais base (Ψ_{ib} ou $\Psi_{b(g)}$) em função de diferentes temperaturas da faixa supraótima para quatro cultivares de *P. vulgaris*. Os potenciais base foram calculados a partir do modelo psi-dia (equações). Os valores de 10 a 50 correspondem a diferentes frações de germinação estimadas. Os tempos de germinação, correspondentes às frações empregadas (t_g), foram estimados com o auxílio da equação de Weibull. As inclinações destas retas devem, em cada cultivar, ser aproximadamente iguais e próximas do valor do parâmetro Kt utilizado no modelo psi-graus-dia na faixa supraótima. 107

Figura 9 - Comparação de quatro cultivares de *P. vulgaris* nas faixas supraótima e infraótima mediante a utilização do modelo psi-graus-dia. **A:** variação, na faixa supraótima, da porcentagem acumulada de germinação (dados reais) em função do tempo (*tg curva*: tempo corrigido, expresso em horas), que se refere ao tempo de germinação normalizado após ser estimado a partir de modelo linearizado. **B:** porcentagem de germinação acumulada, na faixa infraótima, em função do tempo de germinação normalizado (*curva*: em escala de *thermaltime* ou graus-hora corrigido), que corresponde ao tempo de germinação estimado pelo modelo psi-graus-dia multiplicado pela diferença entre a temperatura real e a temperatura base da cultivar.... 110

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Página

Tabela 1 - Parâmetros do modelo psi-graus-dia (<i>hydrothermal time</i>) ajustados a temperaturas das faixas subótima (A) e supraótima (B), utilizando-se dados obtidos de experimentos conduzidos em diferentes potenciais osmóticos. <i>cv1</i> : cultivar Carioca comum; <i>cv2</i> : cultivar Iapar 81; <i>cv3</i> : cultivar IPR Graúna; <i>cv4</i> : cultivar IPR Uirapuru. R^2 : coeficiente de determinação. Kt inclinação das retas $Psib_{(g)} \times T$ (Figura 8).....	109
---	-----

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO GERAL	15
Referências Bibliográficas.....	18
CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO BÁSICA E RESPOSTAS GERMINATIVAS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TEMPERATURAS E POTENCIAIS OSMÓTICOS PARA QUATRO CULTIVARES DE <i>Phaseolus vulgaris</i> L. (FABACEAE)	20
Resumo	21
Abstract.....	22
Introdução.....	23
Material e Métodos.....	26
Resultados.....	33
Discussão.....	76
Referências Bibliográficas.....	82
CAPÍTULO 2 - MODELAGEM DA GERMINAÇÃO DE <i>Phaseolus vulgaris</i> L. (FABACEAE) BASEANDO-SE NO CONCEITO DE GRAUS-DIA	88
Resumo	89
Abstract.....	90
Introdução.....	91
Material e Métodos.....	95
Resultados.....	98
Discussão.....	111
Referências Bibliográficas.....	114
CONSIDERAÇÕES FINAIS EM RELAÇÃO AO PROJETO	117
Referências Bibliográficas.....	119

INTRODUÇÃO GERAL

Para cada cultivar ou espécie vegetal existe um conjunto de fatores ambientais que favorece o seu ótimo desenvolvimento (LABOURIAU, 1983; RAVA & SARTORATO, 1994; BASKIN & BASKIN, 1998). O aprimoramento do conhecimento sobre como as plantas respondem e são afetadas por tais fatores ambientais é bastante útil para o manejo de espécies cultivadas e pode embasar os métodos adotados em programas de melhoramento vegetal em regiões com características ambientais específicas (BASKIN & BASKIN, 1998; RIBEIRO et al., 2004).

Na germinação de sementes, as altas temperaturas, de maneira geral, causam a desnaturação de proteínas e a alteração na permeabilidade das membranas, ocasionando perda de material celular; enquanto que as baixas temperaturas retardam as taxas metabólicas até o ponto em que as vias essenciais ao início da germinação já não podem operar (LABOURIAU, 1983; MORAES et al., 2002).

O estresse hídrico afeta praticamente todos os aspectos do crescimento da parte aérea e da raiz, geralmente causando redução na expansão celular, na condutância estomática, na fotossíntese e, conseqüentemente, no acúmulo de matéria seca (HSIAO, 1990; MOHR & SCHOPFER, 1995; PIMENTEL & PEREZ, 2000; SANTOS et al., 2004). Na América Latina, estima-se que em 93% da área de cultivo do feijoeiro a necessidade hídrica da planta, durante todo o seu ciclo de desenvolvimento, não seja satisfeita (SINGH, 1995; ROSALES-SERRA et al., 2004).

Um dos principais problemas nos estudos de germinação é a interação e contínua flutuação desses fatores no ambiente natural (BEWLEY & BLACK, 1994; BENECH-ARNOLD et al., 2000; LARCHER, 2000). Na busca de modelos generalistas que possam explicar a resposta da semente a múltiplas interações, os pesquisadores recorrem a ensaios em condições controladas, mais facilmente interpretáveis (LABOURIAU, 1983).

Considerando o efeito da temperatura sobre a taxa de desenvolvimento de muitos organismos, e tendo-se em vista os limites impostos pelas chamadas temperaturas cardiais, formulou-se o conceito de graus-dia, que representa a quantidade de calor necessária – entre as temperaturas mínima ou base (T_b) e máxima (T_m) – para que um organismo se desenvolva de um ponto pré-determinado a outro em seu ciclo de vida. Cada estágio de desenvolvimento de um

organismo requer uma determinada quantidade de calor, e assim o tempo necessário para que tal fase seja completada pode ser estimado a partir da quantidade de graus-dia acumulada ao longo de uma estação de crescimento. Essa quantidade é o produto acumulado do tempo pela temperatura T , sendo $T_b < T < T_m$.

GUMMERSON (1986) estendeu o conceito de graus-dia para descrever a resposta da semente ao potencial osmótico da solução (ψ). O processo de absorção de água é normalmente apontado como a primeira etapa da germinação, sendo influenciado primariamente por fatores intrínsecos à semente, ou seja, sua composição química e a permeabilidade de seus envoltórios à água, e por fatores externos que determinam o ψ do meio. De modo análogo ao conceito de graus-dia, o modelo psi-dia pode ser definido pela equação: $\theta_H = [\psi - \psi_b(g)]tg$, onde: θ_H é a quantidade acumulada de psi-dias para a germinação de todas as sementes; ψ é o potencial osmótico real; $\psi_b(g)$ é o potencial limítrofe capaz de inibir totalmente a germinação de uma fração g de sementes.

A abordagem da dependência do potencial osmótico da germinação baseada no modelo de psi-dia apresenta, segundo BRADFORD (2004), diversas vantagens, como: a) baseia-se mais na sincronização das germinações do que na porcentagem final de germinação, determinada em ensaios de germinação relativamente curtos, em diferentes potenciais osmóticos; e b) requer apenas três parâmetros (mediana e desvio padrão de $\psi_b(g)$, e θ_H), os quais definem a variação na sensibilidade da semente a alterações no ψ e na quantidade de psi-dia necessária para a germinação.

GUMMERSON (1986) ainda propôs a combinação dos fatores T e ψ numa única equação: $\theta_{HT} = (T-T_b)[\psi - \psi_b(g)]tg$, onde θ_{HT} representa a constante psi-graus-dia, considerando-se T_b constante. As variações nos tempos de germinação de diferentes frações são atribuídas à distribuição do parâmetro $\psi_b(g)$. Esse modelo assume que T_b é independente de ψ , e que $\psi_b(g)$ é independente de T , o que nem sempre ocorre (BRADFORD, 1995). De fato, experimentos realizados com algumas espécies parecem indicar que T_b e ψ_b podem não ser independentes (WELBAUM & BRADFORD, 1991). Por outro lado, essa equação é, em muitos casos, adequada para descrever curvas de germinação em qualquer combinação de temperaturas subótimas e potenciais osmóticos (DAHAL & BRADFORD, 1994; BRADFORD, 2004).

Phaseolus vulgaris L. (Fabaceae), popularmente conhecida como feijoeiro ou feijoeiro comum, ocorre, atualmente, desde o norte do México até o norte da Argentina, em altitudes entre 500 e 2.000m, não sendo encontrada naturalmente (na forma selvagem) no Brasil. O feijão é cultivado há vários séculos, mas suas origens ainda não estão plenamente esclarecidas (FREITAS, 2006).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum, sendo também o maior consumidor desta leguminosa (BORÉM & CARNEIRO, 2006; PAULA Jr. & ZAMBOLIM, 2006). Pesquisas visando à obtenção de melhores níveis de produtividade desta cultura são de grande valor devido à importância do feijão como alimento (SANTOS et al., 2003; WARWICK et al., 2004).

Modelos que descrevem as respostas germinativas em função da temperatura e do potencial osmótico vêm sendo elaborados e testados, na maior parte dos casos, com espécies de regiões de clima temperado, havendo relativa carência de trabalhos sobre modelagem da germinação em espécies que ocorrem no Brasil.

Neste projeto, realizou-se a caracterização básica de sementes e a descrição do comportamento germinativo de quatro cultivares de *P. vulgaris*, cujas sementes foram mantidas em diferentes meios com variação do potencial osmótico e/ou temperatura. Determinaram-se, primeiramente, por meio de experimentos em gradiente térmico, as faixas de temperatura ótima, subótima e supraótima de germinação; para, em seguida, serem avaliadas as respostas das cultivares ao tratamento simultâneo com diferentes temperaturas e potenciais osmóticos. Além disso, foram utilizados modelos baseados no conceito de graus-dia e psi-dia, verificando-se sua adequação em descrever o comportamento germinativo das sementes desta espécie em condições variáveis de temperatura (das faixas subótima e supraótima) e potencial osmótico; visando-se, principalmente, à comparação das respostas germinativas das diferentes cultivares mediante o uso do modelo psi-graus-dia, em que os conceitos de graus-dia e psi-dia são combinados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. **Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination**. London: Academic Press, 1998, 666p.
- BENECH-ARNOLD, R.L.; SÁNCHEZ, R.A.; FORCELLA, F.; KRUK, B.C.; GHERSA, C.M. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field Crops Research**, v.67, p.105-122, 2000.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination - 2nd ed.** New York: Plenum Press, 1994, 445p.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA Jr., T.J.; BORÉM, A. (Eds) **Feijão**. Viçosa: Editora UFV, 2006. Cap.1, p.13-18. 2.ed.
- BRADFORD, K.J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, G. (Eds.) **Seed Development and Germination**. New York: Marcel Dekker, 1995.
- BRADFORD, K.J. **Seed Production and Quality**. UC Davis: Seed Biotechnology Center, Cap. 14, p. 95-106, 2004.
- DAHAL, P.; BRADFORD, K.J. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. **Seed Science Research**, v.4, p.71-80, 1994.
- FREITAS, F.O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.7, p.1.199-1.203, 2006.
- GUMMERSON, R.J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany**, v. 37, p.729-741, 1986.
- HSIAO, T.C. Measurements of plant water status. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Eds) **Irrigation of agricultural crops**. New York: American Society of Agronomy, 1990, cap.9, p.244-280.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da OEA, 1983, 175p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos-SP: RIMA, 2000, 531p.
- MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1995, 629p.
- MORAES, C.R.A.; MODOLO, V.A.; CASTRO, P.R.C. Fisiologia da germinação e dominância apical. In: CASTRO, P.R.C.; SENA, J.O.A.; KLUGE, R.A. (Eds) **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. Maringá: Eduem, 2002, Cap. X, p.159-178.

PAULA Jr., T.J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA Jr., T.J.; BORÉM, A. (Eds) **Feijão**. Viçosa: Editora UFV, 2006. Cap.13, p. 359-414. 2.ed.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A.J.C. Estabelecimento de parâmetros para a avaliação de tolerância à seca em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.31-39, 2000.

RAVA, C.A.; SARTORATO, A. Conceitos básicos sobre doenças de plantas. In: SARTORATO, A.; RAVA, C.A. (Eds) **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. Cap. 1, p.7-16.

RIBEIRO, R.V.; SANTOS, M.G.; SOUZA, G.M.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; ANGELOCCI, L.R.; PIMENTEL, C. Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.615-623, 2004.

ROSALES-SERRA, R.; SHIBATA, J.K.; GALLEGOS, J.A.A.; LÓPEZ, C.T.; CERECERES, J.O.; KELLY, J.D. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. **Field Crops Research**, v.85, p.203-211, 2004.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Teste de deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.25, n.2, p.28-35, 2003.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.110-119, 2004

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial population of common bean. **Crop Science**, v.35, p.118-124, 1995.

WARWICK, D.R.; CARVALHO, H.W.L.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C. Comportamento de linhagens avançadas/ variedades de feijoeiro-comum em monocultivos e em consorciação com o milho. **Agrotrópica**, v.16, n.2, p.39-46, 2004.

WELBAUM, G.E.; BRADFORD, K.J. Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L). VI. Influence of priming on germination responses to temperature and water potential during seed development. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.393-399, 1991.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO BÁSICA E RESPOSTAS GERMINATIVAS EM
FUNÇÃO DE DIFERENTES TEMPERATURAS E POTENCIAIS OSMÓTICOS
PARA QUATRO CULTIVARES DE *Phaseolus vulgaris* L. (FABACEAE)

RESUMO

A composição de gases, a temperatura e a água são os principais fatores ambientais limitantes do processo de germinação. Entre esses, a temperatura e a água exibem maior grau de flutuação tanto em escala temporal como espacial no ambiente terrestre, funcionando como importantes sinalizadores ambientais para a semente. O objetivo deste trabalho foi verificar as respostas germinativas das sementes de quatro cultivares de *Phaseolus vulgaris* (Carioca comum, Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru) em função da temperatura e do potencial osmótico. Determinaram-se, primeiramente, por meio de experimentos em gradiente térmico (27 temperaturas distintas, variando de 7,0 a 39,0°C), as faixas de temperatura ótima, subótima e supraótima de germinação; para, em seguida, serem avaliadas as respostas das cultivares ao tratamento simultâneo com diferentes temperaturas (15, 20, 25, 32, 35 e 37,5°C), englobando as três faixas, e potenciais osmóticos (de 0 a -1,1MPa). De forma geral, constatou-se uma diminuição da germinabilidade das sementes, acompanhando uma diminuição do potencial osmótico (valores mais negativos), não havendo germinação além do potencial -1,0MPa em nenhuma cultivar. Além disso, as quatro cultivares apresentaram reduções na germinabilidade em potenciais osmóticos mais distantes do controle (água destilada), contrastando com a velocidade média de germinação, que, de forma geral, já em potenciais próximos do controle, reduziu-se significativamente em todas as temperaturas consideradas para as quatro cultivares.

Palavras-chave: Taxa de germinação. Sincronização. Feijoeiro. Potencial osmótico. Gradiente térmico.

ABSTRACT

The composition of gases, temperature and water availability are the main limiting environmental factors that usually influence the germination process. Temperature and water, for example, may exhibit higher levels of fluctuation both in the temporal scale and in spatial scales, acting as environmental signals for the seeds. The present study was aimed at verifying seed responses of four *Phaseolus vulgaris* cultivars (“Carioca comum”, “Iapar 81”, “IPR Graúna” and “IPR Uirapuru”) in relation to temperature and osmotic potential. The optimum, suboptimum and supra-optimum germination ranges were established by means of thermal gradient experiments. Additionally, it was conducted an experiment in which osmotic potentials and different temperatures were simultaneously deployed. On the whole, it was detected that the germinability presented a reduction in its values as the osmotic potentials were being reduced, and no germination was recorded at osmotic potentials more negative than -1.0MPa, considering each cultivar. Moreover, the four cultivars exhibited reductions on germinability values at more negative osmotic potentials, contrasting with the rate of germination, which, even at osmotic potentials close to 0MPa, presented a significant decrease.

Key-words: Germination rate. Synchronisation. Common bean. Osmotic potential. Thermal gradient.

INTRODUÇÃO

A germinação de sementes é um processo fisiológico complexo que constitui uma etapa crítica de fundamental importância para a sobrevivência da maioria das fanerógamas. Fatores ambientais tais como a composição de gases, a temperatura e a água exercem enorme influência no processo de germinação, com a temperatura e a água exibindo maior grau de flutuação tanto em escala temporal como espacial no ambiente terrestre, funcionando assim como importantes sinalizadores ambientais para a semente (LABOURIAU, 1983).

Para cada cultivar ou espécie vegetal existe um conjunto de fatores ambientais que favorece o seu ótimo desenvolvimento (LABOURIAU, 1983; RAVA & SARTORATO, 1994; BASKIN & BASKIN, 1998). O aprimoramento do conhecimento sobre como as plantas respondem e são afetadas por variáveis ambientais é bastante útil para o manejo de espécies cultivadas e pode embasar os métodos adotados em programas de melhoramento vegetal em regiões com características ambientais específicas (BASKIN & BASKIN, 1998; RIBEIRO et al., 2004).

Quando fatores ambientais tornam-se estressantes ou limitantes ao desenvolvimento da planta, este usualmente se altera, manifestando características que podem ser desfavoráveis ao pleno desenvolvimento do indivíduo em comparação com plantas cultivadas em ambientes que habitualmente propiciam a ótima produtividade de determinada cultura (RAVA & SARTORATO, 1994; SILVA et al., 2007).

A temperatura e a taxa inicial de embebição podem alterar acentuadamente a germinação e o vigor das sementes, principalmente em relação a sementes grandes, como as do feijoeiro, que podem sofrer danos devido à rápida embebição em baixas temperaturas (POLLOCK & TOOLE, 1966). Se essas sementes estiverem demasiadamente secas; quando colocadas em água, podem sofrer danos irreparáveis no nível do sistema de membranas (CASTRO et al., 2004).

Diversas espécies possuem sementes que não apresentam dormência, quando liberadas da planta-mãe, e podem germinar numa extensa amplitude de temperaturas. Há indicações de que, nesses casos, o principal – e talvez único – fator determinante da germinação seja a disponibilidade de água (BEWLEY & BLACK, 1994).

O estresse hídrico afeta praticamente todos os aspectos do crescimento da parte aérea e da raiz, geralmente causando redução na expansão celular, na condutância estomática, na fotossíntese e, conseqüentemente, no acúmulo de matéria seca (HSIAO, 1990; MOHR &

SCHOPFER, 1995; PIMENTEL & PEREZ, 2000; SANTOS et al., 2004b). Na América Latina, estima-se que em 93% da área de cultivo do feijoeiro a necessidade hídrica da planta, durante todo o seu ciclo de desenvolvimento, não seja satisfeita (SINGH, 1995; ROSALES-SERRA et al., 2004).

As condições que as sementes encontram no solo para a germinação podem, em muitos casos, ser adversas, tais como as que ocorrem em solos salinos e sódicos. O potencial osmótico de soluções salinas pode exibir valores mais negativos do que aquele apresentado pelas células do embrião; dificultando, portanto, a absorção de água necessária para a germinação (SANTOS et al., 1992; MACHADO NETO et al., 2006). Além disso, efeitos do potencial osmótico podem ser notados no comportamento germinativo; como, por exemplo, diminuindo ou alterando a velocidade de germinação. Usualmente, também podem ser verificados efeitos diversos sobre o crescimento das plântulas, em que se observa, por exemplo, o aumento de efeito alelopático do extrato de folhas em condições de campo, assim como o crescimento relativo diferencial entre raiz e parte aérea das plantas (FERREIRA, 2004).

Desse modo, a compreensão dos efeitos da temperatura e da água (caracterizada por seu potencial osmótico) sobre o processo de germinação é de suma importância para o manejo de espécies e populações vegetais, além de ser útil ao aprimoramento do conhecimento sobre processos fisiológicos (ADAMS, 1999; KEBREAB & MURDOCH, 1999; ALVARADO & BRADFORD, 2002; HARDEGREE et al., 2003).

Outro importante fator ambiental é a luz, que tem enorme relevância em estudos sobre a germinação de sementes (LABOURIAU, 1983; LARCHER, 2000). Isso se deve ao fato de que um grande número de espécies apresenta comportamento fotoblástico, de modo que a germinação pode ser promovida ou inibida por exposição à luz branca (LABOURIAU, 1983; LARCHER, 2000; MORAES et al., 2002). Basicamente, as sementes podem ser classificadas em três categorias: fotoblásticas positivas, que apresentam maior capacidade de germinação sob luz; fotoblásticas negativas, que exibem maior germinação no escuro; e as fotoblásticas neutras, que não apresentam tendência de aumento ou diminuição da germinação, ou seja, germinam adequadamente dentro de seus padrões germinativos, quer na ausência ou presença de luz. Tais categorias, contudo, não são absolutas, pois as sementes podem vir a ser ou deixar de ser fotoblásticas com o tempo, ou quando entram em dormência secundária (MORAES et al., 2002).

Um dos principais problemas nos estudos de germinação é a interação e contínua flutuação desses fatores no ambiente natural (BEWLEY & BLACK, 1994; BENECH-ARNOLD et al., 2000; LARCHER, 2000). Na busca de modelos generalistas que possam explicar a resposta da semente a múltiplas interações, os pesquisadores recorrem a ensaios em condições controladas, mais facilmente interpretáveis (LABOURIAU, 1983).

O processo germinativo tende a ser mais acelerado com o aumento da temperatura para a maioria das plantas cultivadas de interesse agrícola. Contudo, algumas espécies cultivadas possuem maiores porcentagens de germinação em temperaturas mais baixas, já que, em regime de temperaturas baixas, a dormência das sementes pode ser quebrada pela temperatura, como no caso do milho, por exemplo (NYACHIRO et al., 2002).

É muito comum, na maioria das plantas cultivadas, verificar-se aumento linear das taxas de germinação com o aumento das temperaturas na faixa subótima. Contudo, é sempre importante verificar se tal tendência ocorre, pois pode haver, como no caso de cultivares de canola (*Brassica napus* L. spp. *oleifera*) incrementos nas taxas de germinação em função do aumento da temperatura que seguem uma tendência não-linear (MARSHALL & SQUIRE, 1996).

Dessa forma, estudos detalhados (inclusive com análises bioquímicas e moleculares) sobre a tolerância e resposta fisiológica de espécies cultivadas a baixas temperaturas são tão importantes quanto os trabalhos em que são enfatizadas as altas temperaturas (GUMMERSON, 1986; ZAITER et al., 1994; OTUBO et al., 1996; NYACHIRO et al., 2002; PEÑA-VALDIVIA et al., 2002).

Em estudos sobre a dependência da germinabilidade em relação à temperatura (dependência-T) de uma semente, há necessidade de se determinarem alguns dados que caracterizam sua germinação: as temperaturas cardeais extremas (T_b : temperatura mínima ou base e T_m : temperatura máxima) e o intervalo de temperatura de máxima germinabilidade (faixa ótima). Os pontos cardeais extremos são as temperaturas abaixo e acima das quais as sementes não germinam (LABOURIAU, 1983). Estes são dados importantes, não só para a agricultura, mas também para ajudar a entender a distribuição geográfica de uma determinada espécie (LABOURIAU, 1983; ADAM et al., 2007). Na maioria dos casos, a velocidade de germinação cresce com a temperatura em certo intervalo, passando a decrescer em outro. Entre esses dois intervalos ocorre a faixa ótima (ou a temperatura ótima, quando o intervalo se reduz a um ponto) do processo de germinação. Os dois intervalos entre os pontos cardeais extremos e a faixa ótima

são denominados faixa infraótima (ou subótima) e faixa supraótima, respectivamente (LABOURIAU, 1983).

Existem inúmeros estudos de campo sobre a produtividade ou rendimento do feijoeiro (LEMOS et al., 2004). Frequentemente, analisa-se a resposta desta cultura a múltiplos fatores ambientais. Também são freqüentes trabalhos desenvolvidos em laboratório sobre a germinação e o vigor das sementes desta espécie após estas passarem por processos que potencialmente alteram suas características fisiológicas ou bioquímicas, tal como o processo ou teste de envelhecimento artificial, entre outros (SILVA & SILVA, 2000; SCAPPA NETO et al., 2001; SANTOS et al., 2004).

Assim sendo, os estudos que caracterizam a influência da temperatura e do potencial osmótico na germinação e, sobretudo, as pesquisas que tentam descrever em detalhes a complexa interação destes dois fatores são de extrema importância para o aprimoramento do conhecimento sobre germinação de sementes (BRADFORD & SOMASCO, 1994; BRADFORD & HAIGH, 1994; DAHAL & BRADFORD, 1994; CHENG & BRADFORD, 1999). Neste trabalho, realizou-se a caracterização básica de sementes e a descrição da resposta germinativa de quatro cultivares de *Phaseolus vulgaris*, cujas sementes foram mantidas em diferentes meios com variação do potencial osmótico e/ou temperatura. Determinaram-se, primeiramente, por meio de experimentos em gradiente térmico, as faixas de temperatura ótima, subótima e supraótima de germinação, para, em seguida, serem avaliadas as respostas das cultivares ao tratamento simultâneo com diferentes temperaturas e potenciais osmóticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Foram utilizadas sementes de *P. vulgaris* das cultivares IPR Uirapuru, IPR Graúna, Iapar 81 e Carioca comum. A cultivar Carioca comum foi fornecida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, Campinas-SP), as outras três foram obtidas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, Londrina-PR). Todas as quatro cultivares foram colhidas no mês de novembro de 2006.

Caracterização básica das cultivares

Para a obtenção das curvas de embebição, utilizaram-se dez repetições por cultivar. Cada repetição constitui-se de um copo plástico perfurado, contendo dez sementes em seu interior.

Cada copo plástico foi mergulhado em água destilada até que cerca de 20ml entrassem pelos furos e deixassem as sementes submersas.

Em intervalos de 15 minutos, durante a primeira hora de experimento, e a cada 60 minutos, depois da primeira hora de embebição, as dez sementes foram retiradas do copo, o excesso de água destilada foi cuidadosamente removido com papel de filtro, e estas foram pesadas conjuntamente em balança analítica, anotando-se o incremento de peso em relação ao peso inicial das dez sementes até que tal incremento não se alterasse. Este experimento foi conduzido em temperatura ambiente (em torno de 25°C). O cálculo da porcentagem de embebição foi realizado da seguinte forma: $\{[(\text{peso final}) - (\text{peso inicial antes da embebição})]/(\text{peso inicial antes da embebição})\} \times 100$.

O teor de água das sementes foi avaliado, tomando-se como base o peso fresco de vinte sementes (repetição). Foram utilizadas dez repetições para cada cultivar. As repetições foram colocadas em estufa a 105°C por 24h. A porcentagem de água foi calculada da seguinte forma: $[(PF-PS)/(PF) \times (100)]$, em que *PF* é o peso fresco; *PS*, o peso seco, após o material ficar em estufa.

O peso das sementes foi estimado, usando-se como repetição o peso de 100 sementes. Para cada cultivar foram utilizadas 40 repetições. As 100 sementes eram retiradas aleatoriamente do local de acondicionamento e pesadas em balança analítica, não sendo colocadas novamente com as sementes não pesadas (amostragem sem reposição).

As sementes utilizadas nos experimentos, depois de adquiridas, permaneceram armazenadas em geladeira à temperatura de aproximadamente 7°C. A cada 30 dias a viabilidade das sementes foi verificada pelo teste de tetrazólio (concentração de 0,3%), com o intuito de se tentar assegurar que as sementes utilizadas durante todo o experimento estivessem viáveis. Para cada cultivar foram usadas dez repetições. Estas eram compostas de um frasco de vidro escuro com tampa dentro do qual dez sementes foram colocadas juntamente com uma quantidade de solução de tetrazólio suficiente para que estas permanecessem submersas. Cada repetição foi mantida à temperatura de 30°C no escuro e em estufa durante doze horas.

Métodos gerais de germinação

Os experimentos foram realizados em bloco de gradiente térmico, adaptado por Cardoso (2008)¹, baseando-se em modelo descrito por LABOURIAU & AGUDO (1987). Em linhas gerais, este bloco é constituído de tubos perfilados quadrados de alumínio, dispostos em colunas, sendo as colunas separadas entre si por placas de alumínio de meia polegada (Figura 1).

Os fluidos de aquecimento e refrigeração, que circulam em cada uma das laterais do bloco, são bombeados por dois banhos ultratermostáticos Forma Scientific mod. 2095. Enquanto uma das faces do bloco é aquecida, a outra é refrigerada, estabelecendo-se assim um gradiente térmico nas colunas intermediárias. Cada uma das colunas constitui uma “estação térmica”, correspondendo à determinada isoterma, cuja temperatura é constantemente monitorada até que esta se estabilize na temperatura ajustada desejada. As sementes foram colocadas para germinar sobre camada tripla de papel de filtro qualitativo, saturada com água destilada, em tubos de ensaio de 250 x 25mm. Cada tratamento térmico constou de cinco repetições, com 20 sementes cada, que permaneceram no escuro, sendo as contagens efetuadas de 12 em 12h.

¹ Cardoso, V.J.M. (2008) – dados não publicados

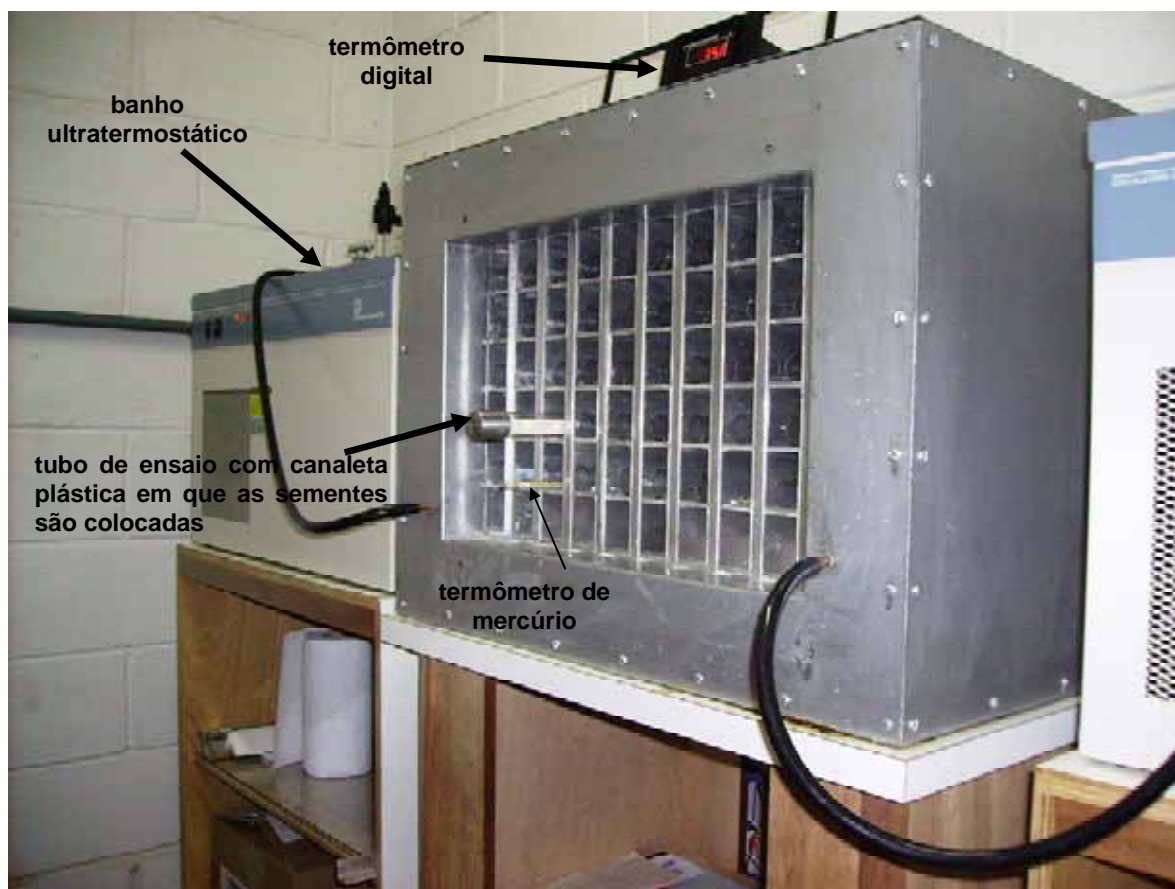


Figura 1 – Vista geral do bloco de gradiente térmico. Termômetros de mercúrio foram utilizados para verificar a precisão (ou funcionamento) da temperatura exibida pelo termômetro digital. Durante a execução dos experimentos, o bloco de gradiente térmico permaneceu lacrado por uma tampa de metal.

As temperaturas (em °C) utilizadas foram as seguintes: 7,0; 8,5; 10,3; 11,3; 15,2; 17,1; 18,8; 20,2; 21,4; 22,3; 24,9; 26,7; 28,9; 30,5; 31,2; 31,7; 32,6; 33,5; 34,0; 34,5; 35,0; 35,7; 36,5; 37,0; 37,6; 38,2; 39,0. Conseguiu-se uma precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ como máxima amplitude de variação para todas estas temperaturas. Sendo que o monitoramento de tal variação foi realizado em intervalos de 8h. Previamente e durante a execução dos experimentos, fez-se a verificação, usando-se termômetros digitais e de mercúrio, de que os cinco tubos quadrados de alumínio, onde os tubos de ensaio com as sementes permaneceram, não apresentavam variação de temperatura detectável entre si, ou seja, não exigiriam a condução de um experimento com delineamento experimental em blocos. Além disso, após a contagem das sementes, os tubos de ensaio eram aleatoriamente recolocados na estação térmica.

À $25^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ em B.O.D. (câmara de germinação) e sob luz branca constante, as sementes das quatro cultivares foram comparadas em relação à velocidade média de germinação, à sincronização da germinação e à germinabilidade (índices descritos adiante). Para tanto foram utilizadas dez repetições. Cada uma representada por uma placa de Petri, com 20 sementes aleatoriamente dispostas sobre três camadas de papel de filtro qualitativo, umedecidas com água destilada, sendo cada placa colocada dentro de uma caixa gerbox transparente. As contagens, neste experimento e no descrito a seguir (luz e escuro) foram diárias (a cada 24h).

Foram realizados testes de germinação em luz branca e no escuro, em câmara de germinação (B.O.D) à $25^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, para se verificar possível comportamento fotoblástico. Utilizaram-se três repetições para cada tratamento (luz e escuro), contendo 30 sementes cada, em placas de Petri, com três camadas de papel de filtro qualitativo, umedecidas com água destilada. As placas de Petri referentes aos tratamentos sob luz branca foram colocadas em caixas gerbox transparentes, e aquelas referentes ao tratamento em ausência de luz foram colocadas em caixas gerbox pretas.

Alguns autores atestam que é relativamente difícil se estabelecer com exatidão o início e o fim do processo de germinação, já que eventos presentes nos níveis molecular e celular estão envolvidos em tal processo. Assim, a precisão em se determinar o exato momento do início da germinação por meio de critérios moleculares ou celulares pode ser normalmente substituído por algum critério macroscópico, como a protrusão da radícula, seguida de sua curvatura geotrópica (LABOURIAU, 1983; RANAL & SANTANA, 2006), sendo que tal critério foi o adotado em

todos os experimentos conduzidos neste trabalho. Após germinadas, as sementes eram removidas do recipiente em que estavam.

Índices de germinação

A velocidade média de germinação, a germinabilidade e o índice de sincronização da germinação foram utilizados conforme descrições presentes em LABOURIAU (1983) e em RANAL & SANTANA (2006). As fórmulas de cálculo de tais índices são apresentadas a seguir.

a) velocidade média (\bar{v}) de germinação (medida em horas⁻¹ ou dias⁻¹):

$\bar{v} = \sum n_i / \sum n_i t_i$, onde: n_i é o número de sementes germinadas no intervalo de tempo t_i (dias ou horas).

b) sincronização (\bar{E})

$$\bar{E} = -\sum_{i=1}^n f_i \log_2(f_i)$$

\bar{E} = índice que mede a sincronização da germinação, expressa em *bits*; quanto menor o valor deste índice, mais uniforme, sincronizado ou menos “espalhado” no tempo é o processo de germinação.

f_i = freqüência relativa de germinação: número de sementes germinadas no intervalo de tempo i , dividido pelo total de sementes.

c) germinabilidade (%): [(total de sementes germinadas)/(total de sementes colocadas para germinar)] x 100.

Dependência do potencial osmótico

As sementes foram colocadas para germinar em placas de Petri, contendo cada uma três discos de papel de filtro qualitativo saturados com água destilada ou solução. Os experimentos foram conduzidos no escuro. Para o controle do potencial osmótico do meio foram usadas soluções de polietilenoglicol (PEG 6000). As diferentes concentrações de PEG foram expressas

como os respectivos potenciais osmóticos (ψ_s , em MPa), baseando-se nos procedimentos descritos em VILLELA et al. (1991). Foram usadas soluções de PEG com os seguintes potenciais: 0 (zero: controle com água destilada); -0,1MPa; -0,2MPa; -0,3MPa; -0,4MPa; -0,6MPa; -0,8MPa; -1,0MPa; e -1,1MPa. A partir dos resultados dos ensaios em gradiente térmico, foram escolhidas temperaturas nas faixas subótima, ótima e supraótima comuns às quatro cultivares, a saber: 15°C, 20°C, 25°C (subótimas); 32°C (ótima); 35°C e 37,5°C (supraótimas). A escolha de tais temperaturas também se baseou no fato de estas terem sido as que puderam ser mais bem controladas (oferecendo maior precisão), determinadas a partir de ensaios prévios.

Cinco repetições com 20 sementes cada foram empregadas nos experimentos de interação da temperatura com o potencial osmótico [(em câmaras de germinação Fanem, modelo 347 CDG e Nova Técnica, mod. NT 708 ($T \pm 0,4^\circ\text{C}$)]. As contagens de germinação foram feitas em intervalos de 12h, usando-se o mesmo critério de germinação mencionado anteriormente (LABOURIAU, 1983; RANAL & SANTANA, 2006). Mediante testes preliminares, verificou-se que as soluções deveriam ser trocadas a cada 24h para todas as temperaturas, para se evitar que as sementes apresentassem qualquer sinal de ressecamento, bem como para a melhor precisão e padronização dos experimentos. A troca das soluções era feita mediante a colocação das sementes em novas placas de Petri com papéis de filtro e soluções recém-colocados, de maneira semelhante à utilizada por GUMMERSON (1986).

O tempo máximo estabelecido de observação, para todos os tratamentos neste estudo, foi de 35 dias. Em relação a todos os experimentos conduzidos, as sementes passaram por uma inspeção sob lupa acoplada à câmara clara antes de serem utilizadas, para ser verificado se as sementes não apresentavam rupturas no tegumento.

Análises estatísticas

As Análises de Variância de um e de dois critérios, sendo esta última utilizada no caso dos experimentos de interação da temperatura e do potencial osmótico; o teste de Tukey, aplicado após a detecção de diferenças significativas pelas Análises de Variância; o teste t de *Student*; e a análise de regressão linear simples foram utilizados conforme os procedimentos descritos em CARVALHO (1981) e em ZAR (1999). O teste de Mann-Whitney foi executado segundo SIEGEL & CASTELLAN (1988).

A determinação da faixa ótima, através de comparações exaustivas, usando-se o teste de Mann-Whitney, foi adotada segundo recomendações presentes em LABOURIAU & AGUDO (1987) e em SANTANA & RANAL (2004). Em relação a todos os testes estatísticos empregados, foi adotado o nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Caracterização básica das cultivares

Peso médio de 100 sementes

Os pesos médios por cem sementes diferiram significativamente entre as quatro cultivares estudadas (Figura 2). A cultivar Carioca apresentou o maior peso médio (26,60g) e a cultivar IPR Uirapuru o menor (23,90g).

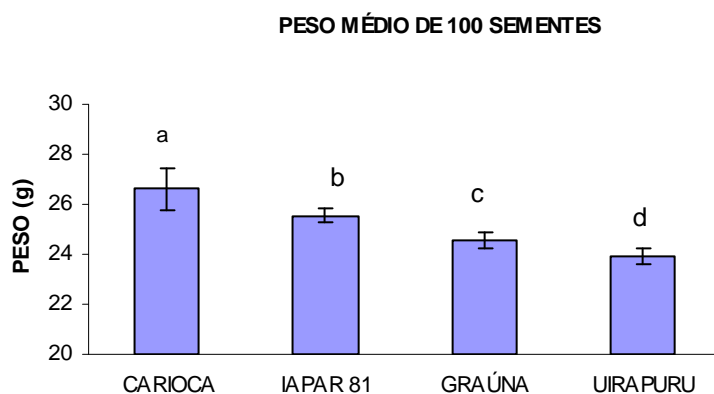


Figura 2- Peso médio em gramas de 100 sementes para as quatro cultivares de *P. vulgaris*. Linhas verticais no topo das barras indicam o erro padrão da média. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas detectadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Teor de água (porcentagem de água)

A cultivar Carioca apresentou teor de água estatisticamente igual ao da Iapar 81 (Figura 3), mas superior à porcentagem de água encontrada nas cultivares IPR Graúna e IPR Uirapuru (estas duas últimas não sendo significativamente distintas entre si em relação ao teor de água).

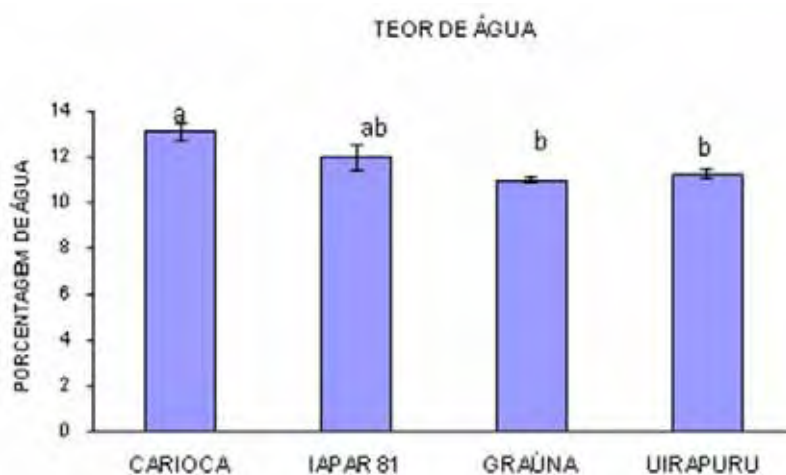


Figura 3 – Teor de água das sementes de *P. vulgaris*. Linhas verticais no topo das barras indicam o erro padrão da média. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas detectadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Curvas de embebição

Nota-se pela curva de embebição da cultivar Carioca (Figura 4), que esta apresentou o menor tempo para atingir 50% de incremento em seu peso (em relação ao peso inicial), sendo a única que o fez dentro do intervalo de uma hora.

A partir da décima hora, as quatro cultivares não apresentaram incremento detectável em suas taxas de embebição.

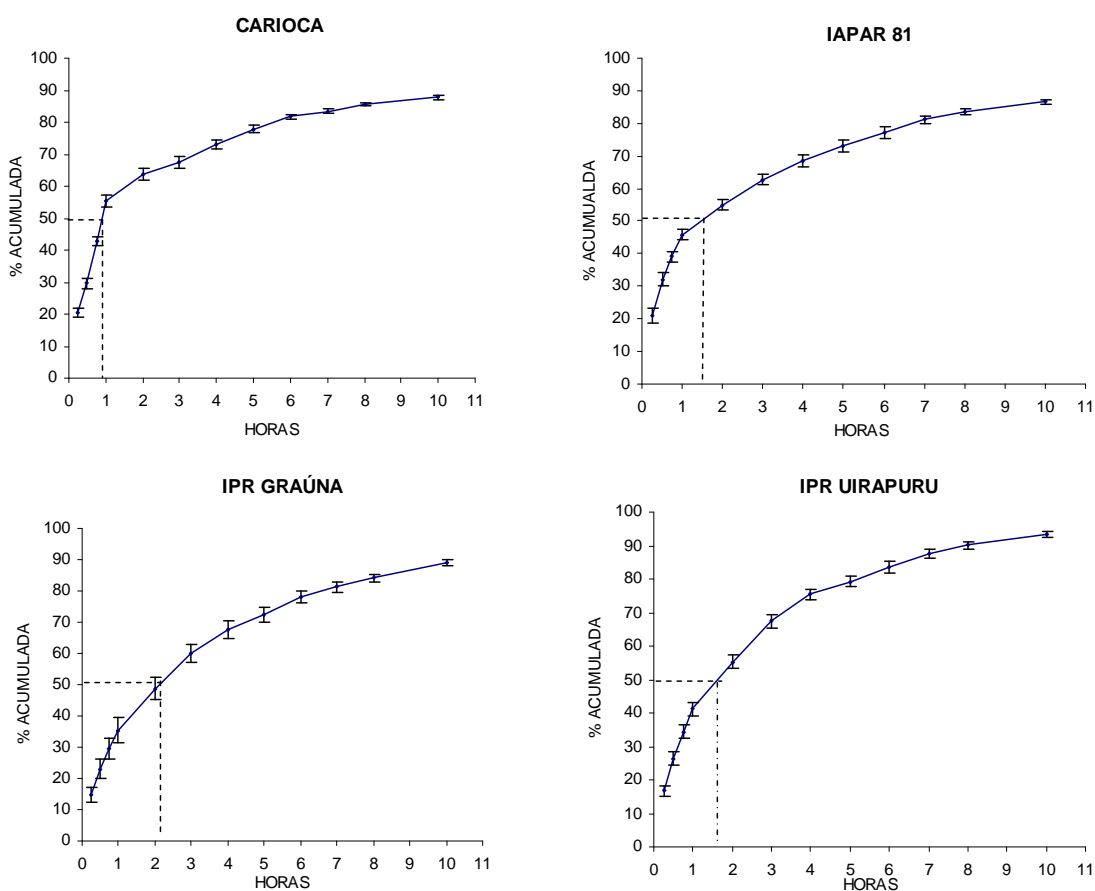


Figura 4 - Porcentagem acumulada de embebição em quatro cultivares de *P. vulgaris*. Peso adquirido em relação ao peso fresco inicial em função do tempo em horas (à 25°C). As barras verticais representam os erros padrões das médias. As linhas pontilhadas delimitam o intervalo de tempo necessário para haver 50% de incremento, em relação ao peso inicial, no peso das sementes.

Germinabilidade

Todas as cultivares apresentaram, em média, porcentagem final de germinação superior a 90%. Exceto a Carioca, que apresentou exatamente 90% de germinação final à temperatura de 25°C, sob luz branca constante e em água destilada (Figura 5-A). Não houve diferenças entre as médias de germinabilidade entre as quatro cultivares, apenas a cultivar Iapar 81 exibiu uma porcentagem final de germinação (98%) superior à da Carioca.

Velocidade média de germinação

A cultivar Carioca apresentou velocidade média de germinação inferior às médias das cultivares Iapar 81 e IPR Uirapuru (Figura 5-B). As cultivares Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru não apresentaram diferenças significativas para a velocidade média de germinação à 25°C, em água destilada e sob luz branca constante.

Índice de sincronização

À 25°C e em água destilada, observou-se que a germinação foi menos sincronizada na cultivar Carioca do que nas outras três cultivares (Figura 5-C), que não diferiram entre si em relação a esta variável. É importante ressaltar que, quanto maior o valor do índice de sincronização, mais espalhada (menos sincronizada) ao longo do tempo é a germinação.

Fotoblastismo

Não houve diferença entre as médias nas situações com luz e na ausência de luz para cada uma das quatro cultivares e em relação às variáveis germinabilidade, velocidade média de germinação e sincronização à temperatura de 25°C e em água destilada (Figura 6 A-C)

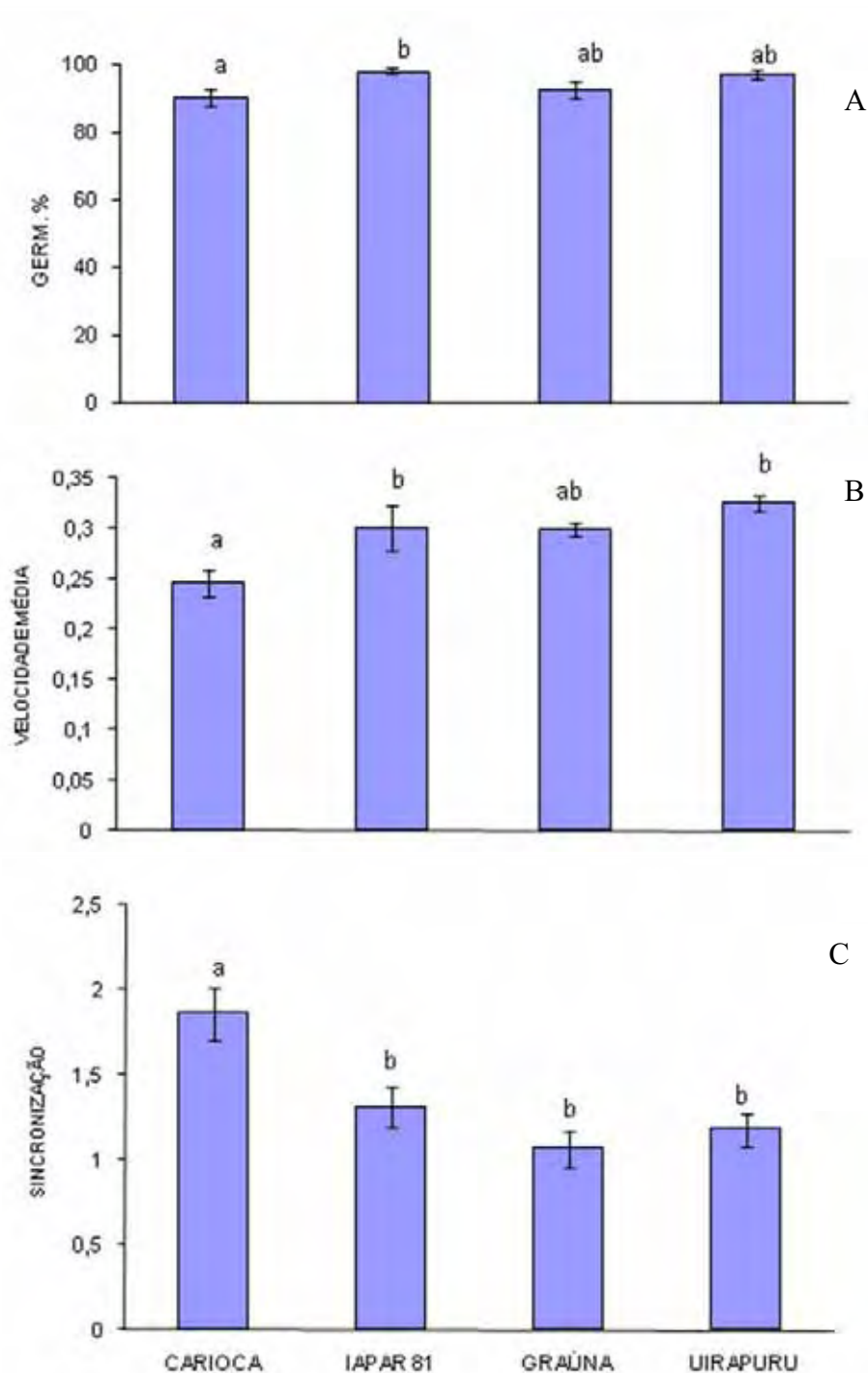


Figura 5 – Germinabilidade: porcentagem final de germinação (A); velocidade média de germinação (B); índice de sincronização (C); em quatro cultivares de *P. vulgaris*. À temperatura de 25°C, sob luz branca constante e em água destilada. Linhas verticais: erros padrões das médias. Letras distintas indicam médias estatisticamente diferentes detectadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

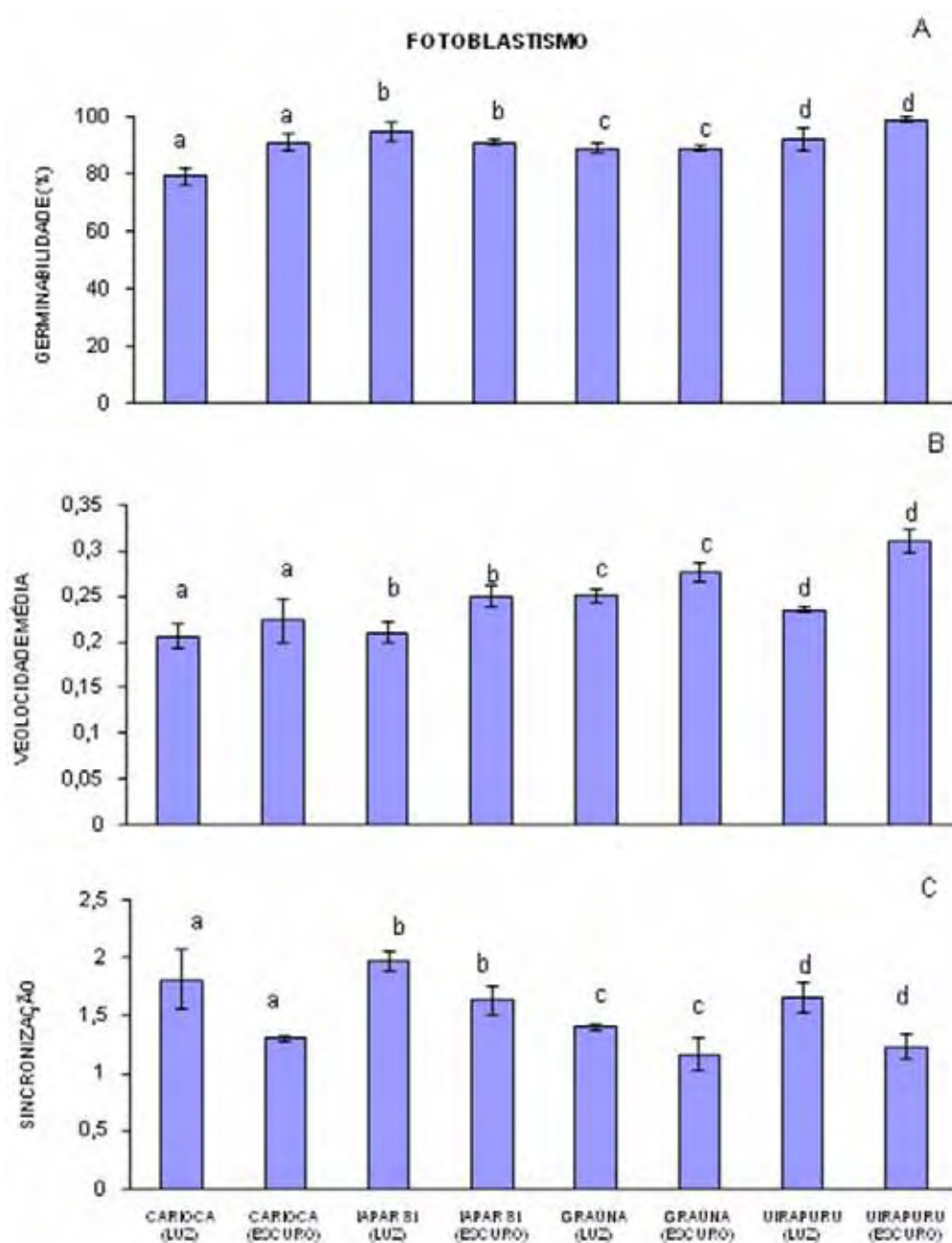


Figura 6 - Germinabilidade (porcentagem final de germinação) (A), velocidade média de germinação (B), índice de sincronização (C) em quatro cultivares de *P. vulgaris*. À temperatura de 25°C, em água destilada, e nas condições de luz branca constante (luz) e ausência de luz (escuro). Linhas verticais: erros padrões das médias. Letras iguais indicam que as médias para cada cultivar, nas duas condições, não diferiram pelo teste t de Student ($\alpha=0,05$).

Dependência de temperatura e determinação da faixa ótima

Através do teste de Mann-Whitney - comparações exaustivas entre cada par de temperaturas para a variável velocidade média de germinação (LABOURIAU & AGUDO, 1987; SANTANA & RANAL, 2004) - foram determinadas as faixas ótimas das quatro cultivares.

A cultivar Carioca apresentou sua faixa ótima entre as temperaturas de 30,5 e 34,5°C (Figura 7-B).

Na cultivar Iapar 81 (Figura 8-B), não houve uma faixa ótima, mas sim uma temperatura ótima. Já que a velocidade média à temperatura de 32,6°C foi estatisticamente distinta de todas as outras 24 temperaturas em que houve germinação.

Na cultivar IPR Graúna (Figura 9-B), a faixa ótima correspondeu ao intervalo entre as temperaturas 28,9 e 35,0°C.

A cultivar IPR Uirapuru (Figura 10-B) apresentou sua faixa ótima entre as temperaturas 31,2 e 34,5°C.

Nenhuma das quatro cultivares apresentou germinação acima de 38,2°C nem abaixo de 10,3°C (Figuras 7-10). Faz-se exceção à cultivar Iapar 81 (Figura 8-A), que exibiu germinação média de 3% à 8,5°C, porém este valor não é estatisticamente diferente de zero (intervalo de confiança $3\% \pm 3,03\%$).

Das temperaturas utilizadas no gradiente térmico, apenas até a temperatura 11,3°C houve sementes íntegras e não germinadas após 35 dias (tempo máximo estipulado para todos os ensaios deste projeto). Estas foram submetidas ao teste de tetrazólio que indicou 100% de viabilidade para todas as cultivares, ou seja, a temperatura provavelmente foi o único fator limitante à germinação (até a temperatura de 11,3°C) nas condições deste estudo, devido ao fato de as sementes estarem viáveis. Em todas as outras temperaturas, as sementes não germinadas deterioraram-se antes do término dos ensaios.

Em todas as cultivares, a faixa ou temperatura ótima, baseada na velocidade média de germinação, correspondeu a faixas de germinabilidade e sincronização que não apresentaram inclinação significativa (Figuras 7-10), sem aumento ou diminuição da inclinação em função da temperatura (todos os p -valores superiores a 0,29). Ou seja, de forma geral, as faixas ou ponto ótimos das cultivares, baseados na velocidade média de germinação (LABOURIAU & AGUDO, 1987; SANTANA & RANAL, 2004), estão inseridos nas faixas ou intervalos de maior germinabilidade e de maior sincronização (valores do índice de sincronização mais baixos).

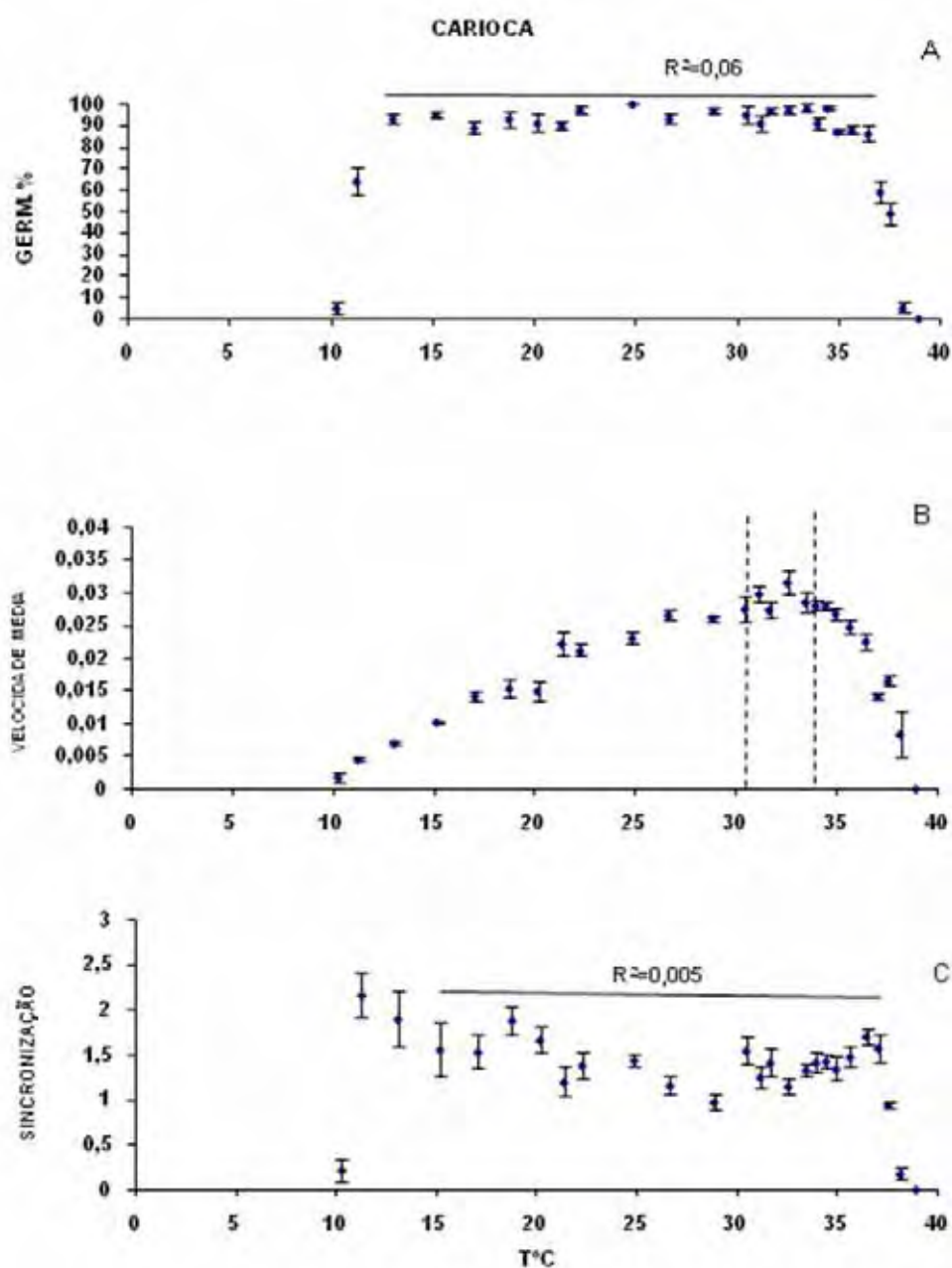


Figura 7 - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar Carioca. Linhas tracejadas verticais (B) indicam a faixa ótima de temperatura, baseada na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias.

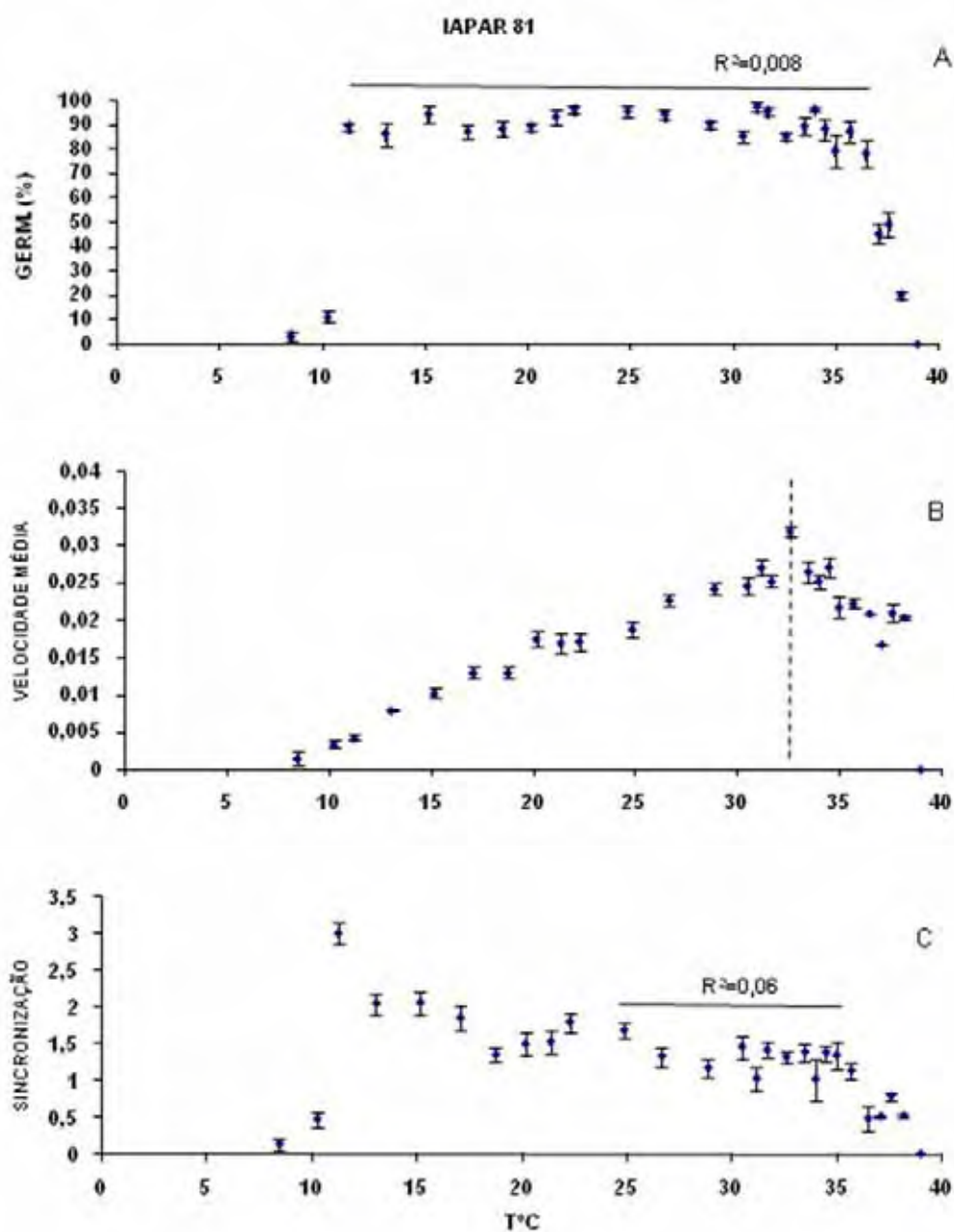


Figura 8 - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81. Linha tracejada vertical (B) indica o ponto ótimo de temperatura, baseado na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias.

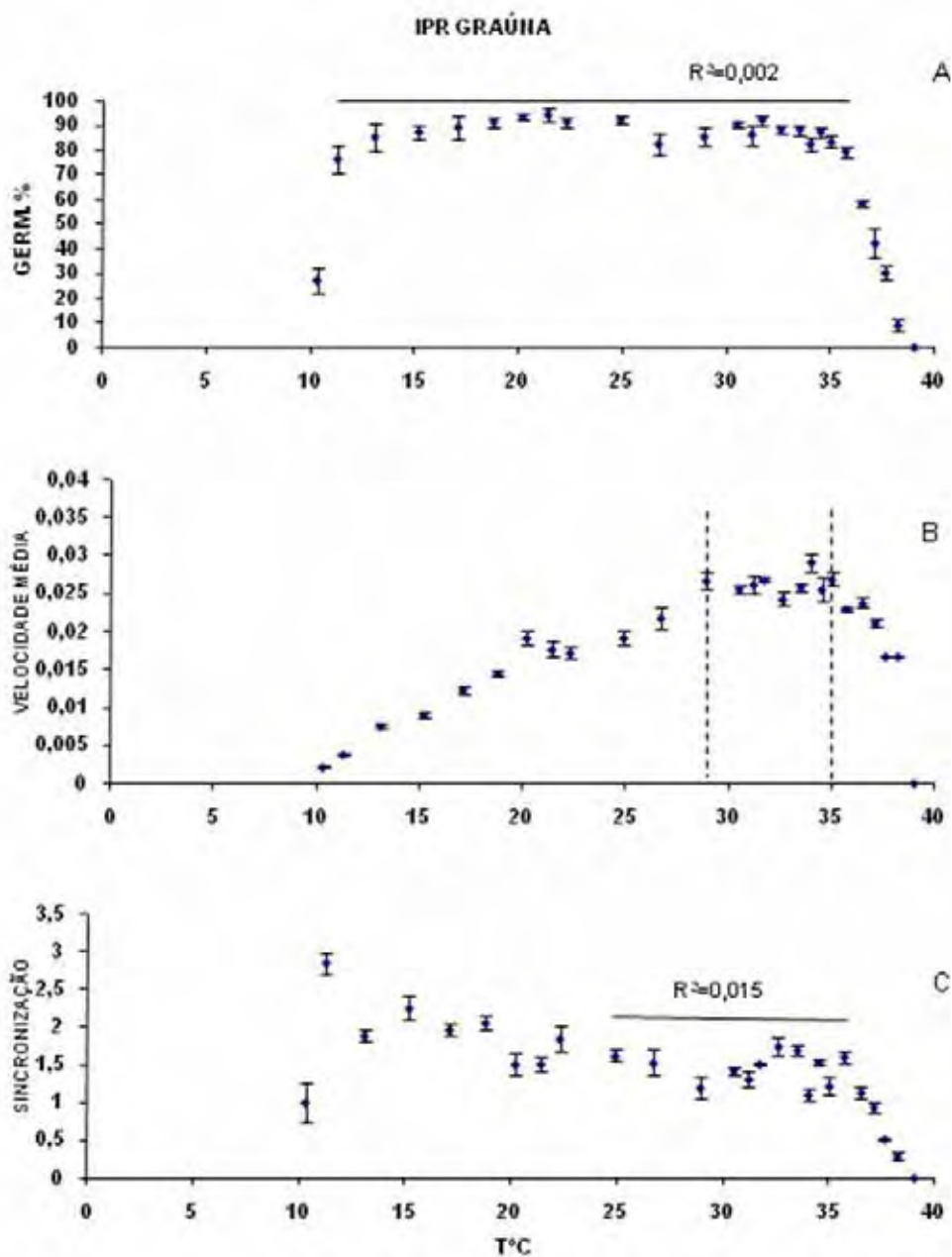


Figura 9 - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna. Linhas tracejadas verticais (B) indicam a faixa ótima de temperatura, baseada na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias.

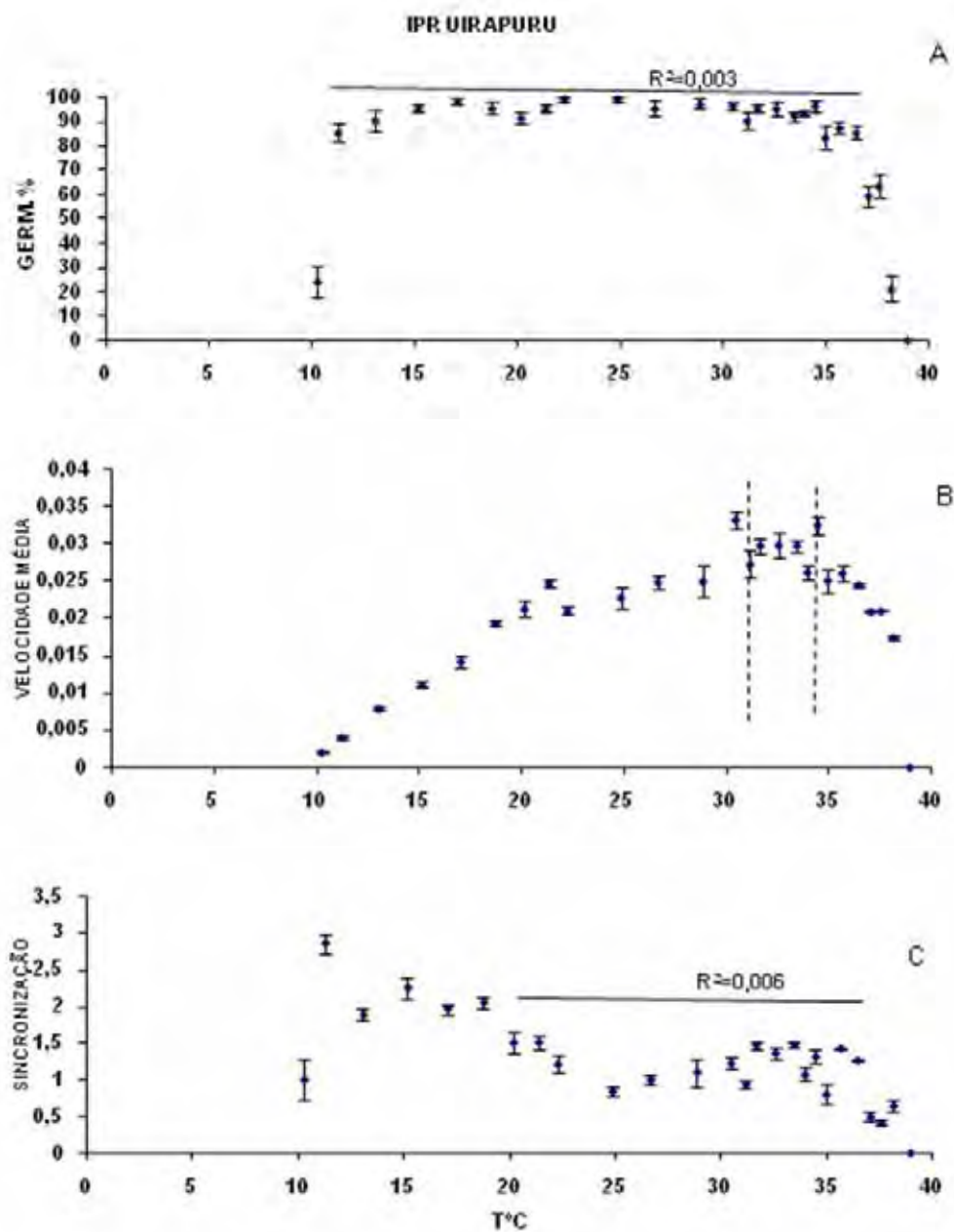


Figura 10 - Dependência de temperatura (em água destilada) para a germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C) em sementes de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru. Linhas tracejadas verticais (B) indicam a faixa ótima de temperatura, baseada na velocidade média de germinação. Linhas horizontais cheias (A e C) indicam faixas de valores sem inclinação linear significativa. Linhas verticais cheias: erros padrões das médias.

Interação de temperatura e potencial osmótico

Por meio da Análise de Variância de dois critérios (*Two-Way ANOVA*) verificou-se a existência de interação significativa entre os fatores temperatura e potencial osmótico ($F= 16,07$; $p<0,001$). Dessa forma, os diferentes potenciais osmóticos foram comparados em relação a cada temperatura separadamente, para cada uma das quatro cultivares.

Cultivar Carioca

15°C:

A germinabilidade começou a ser significativamente reduzida, em relação ao controle com água destilada, apenas a partir do potencial osmótico $-0,8\text{MPa}$ (Figura 11-A); já a velocidade média de germinação, a partir do potencial $-0,1\text{MPa}$ (Figura 11-B), apresentou valores significativamente menores do que o do controle. O potencial $-0,3\text{MPa}$ apresentou germinação menos sincronizada (mais espalhada no tempo) do que a do controle, e o potencial $-1,0\text{MPa}$ exibiu germinação mais sincronizada (valores menores do índice de sincronização) do que o controle (Figura 11-C).

20°C:

A partir da concentração $-0,8\text{MPa}$, a germinabilidade começou a ser reduzida em relação ao controle (Figura 12-A) e, com a velocidade média de germinação, tal redução passou a ocorrer a partir do potencial $-0,1\text{MPa}$ (Figura 12-B). O único valor de índice de sincronização diferente do exibido pelo controle ocorreu no potencial $-1,0\text{MPa}$, em que se observou germinação mais sincronizada do que no controle (Figura 12-C).

25°C:

Igualmente para esta temperatura, a germinabilidade só passou a ser reduzida significativamente a partir do potencial $-0,8\text{MPa}$ (Figura 13-A) e a velocidade média de germinação começou a exibir valores menores do que o controle a partir de $-0,1\text{MPa}$ (Figura 13-B). Já em relação à sincronização, os potenciais $-0,4\text{MPa}$ e $-1,0\text{MPa}$ exibiram, respectivamente, menor e maior sincronização da germinação, quando comparados ao controle (Figura 13-C).

32°C:

As variáveis germinabilidade (Figura 14-A) e velocidade média da germinação (Figura 14-B) passaram a exibir valores inferiores ao do controle a partir do potencial -0,1MPa. O potencial -0,8MPa foi o único que produziu uma germinação mais sincronizada do que a do controle (Figura 14-C). Não houve germinação em potenciais osmóticos mais negativos do que -0,8MPa.

35°C:

Analisando-se as Figuras 15-A e 15-B, verifica-se que, a partir do potencial -0,1MPa, os valores das variáveis germinabilidade e velocidade média de germinação passam a ser reduzidos em relação ao controle. Os potenciais -0,6MPa e -0,8MPa exibiram germinação mais sincronizada do que o controle (Figura 15-C). Não houve germinação em potenciais mais negativos (mais reduzidos) que -0,8MPa.

37,5°C:

A germinabilidade passou a ser reduzida, em relação ao controle, a partir do potencial -0,3MPa (Figura 16-A). A velocidade média de germinação reduziu-se a partir do potencial -0,1MPa (Figura 16-B). Os potenciais -0,6MPa e -0,8MPa exibiram germinação mais sincronizada (valores menores) do que a do controle (Figura 16-C). O potencial -0,8MPa representou o limite de germinação, não havendo germinação em potenciais mais negativos do que este.

A partir do potencial -0,1MPa, a velocidade média de germinação reduziu-se em relação ao controle em todas as temperaturas (Figuras 11-16), ou seja, a germinação passou a ocorrer significativamente de forma mais lenta

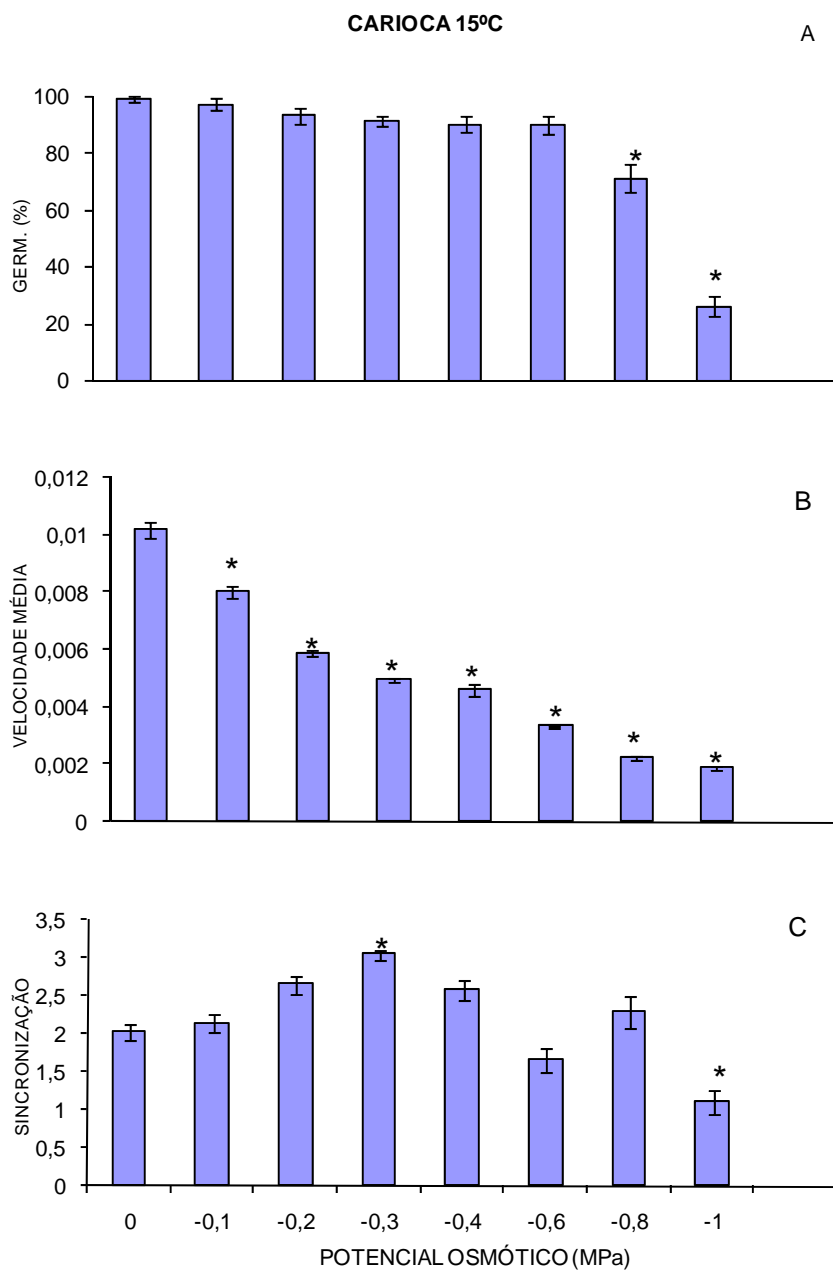


Figura 11- Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos (tratamentos) que são estatisticamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

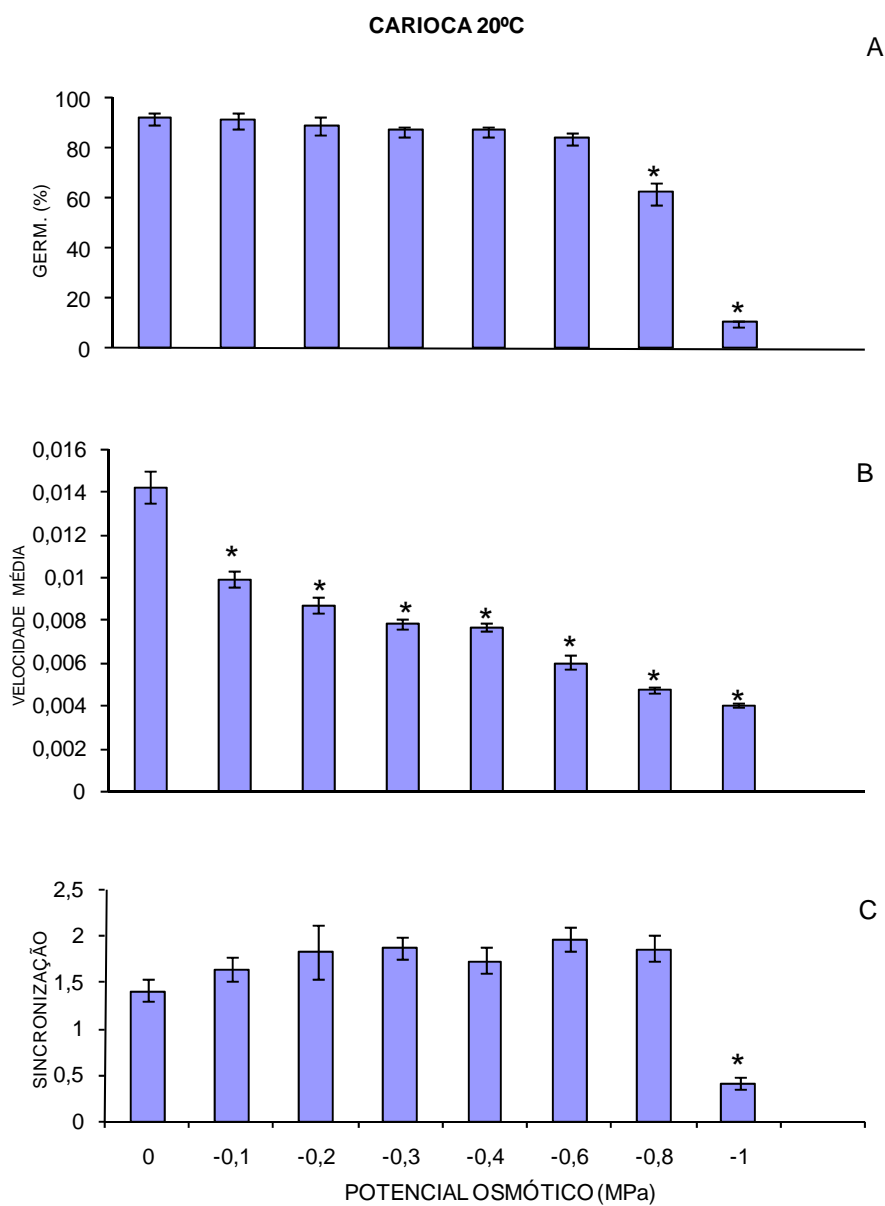


Figura 12- Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

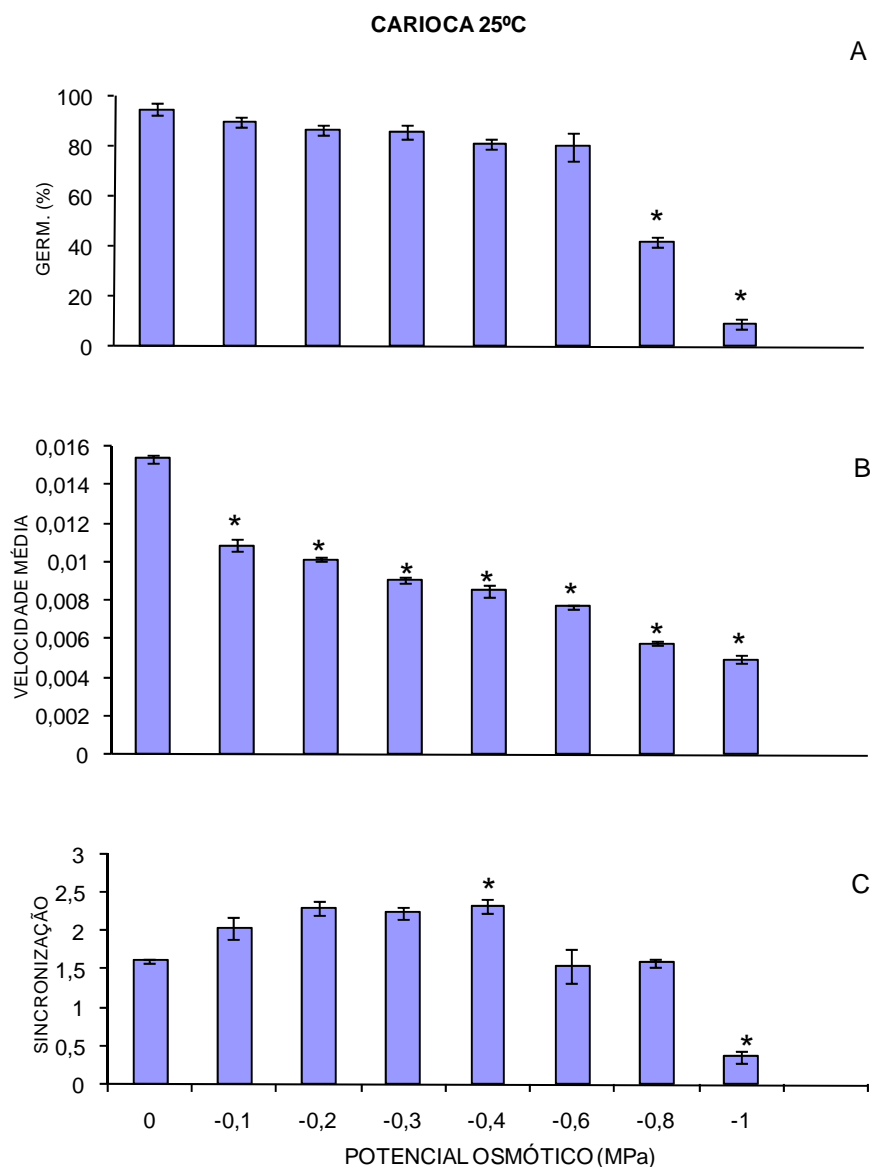


Figura 13 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

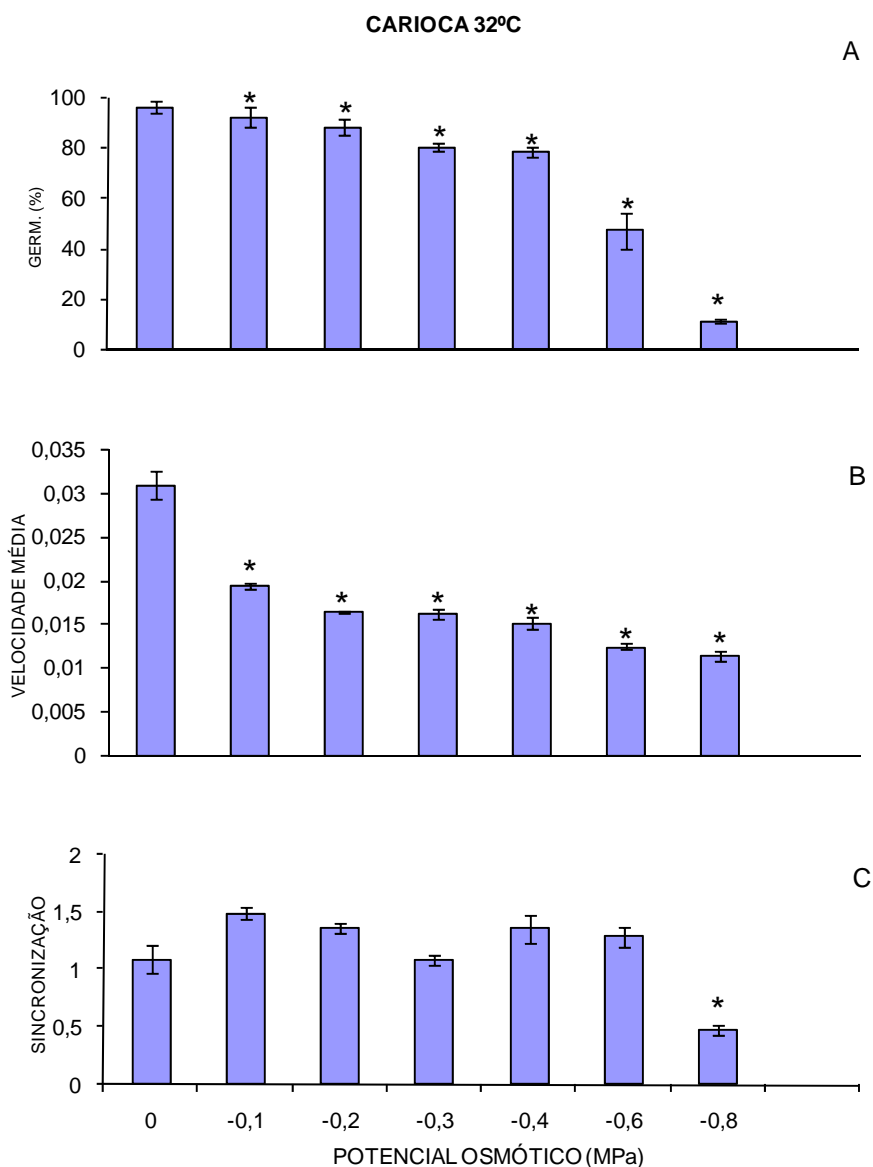


Figura 14 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

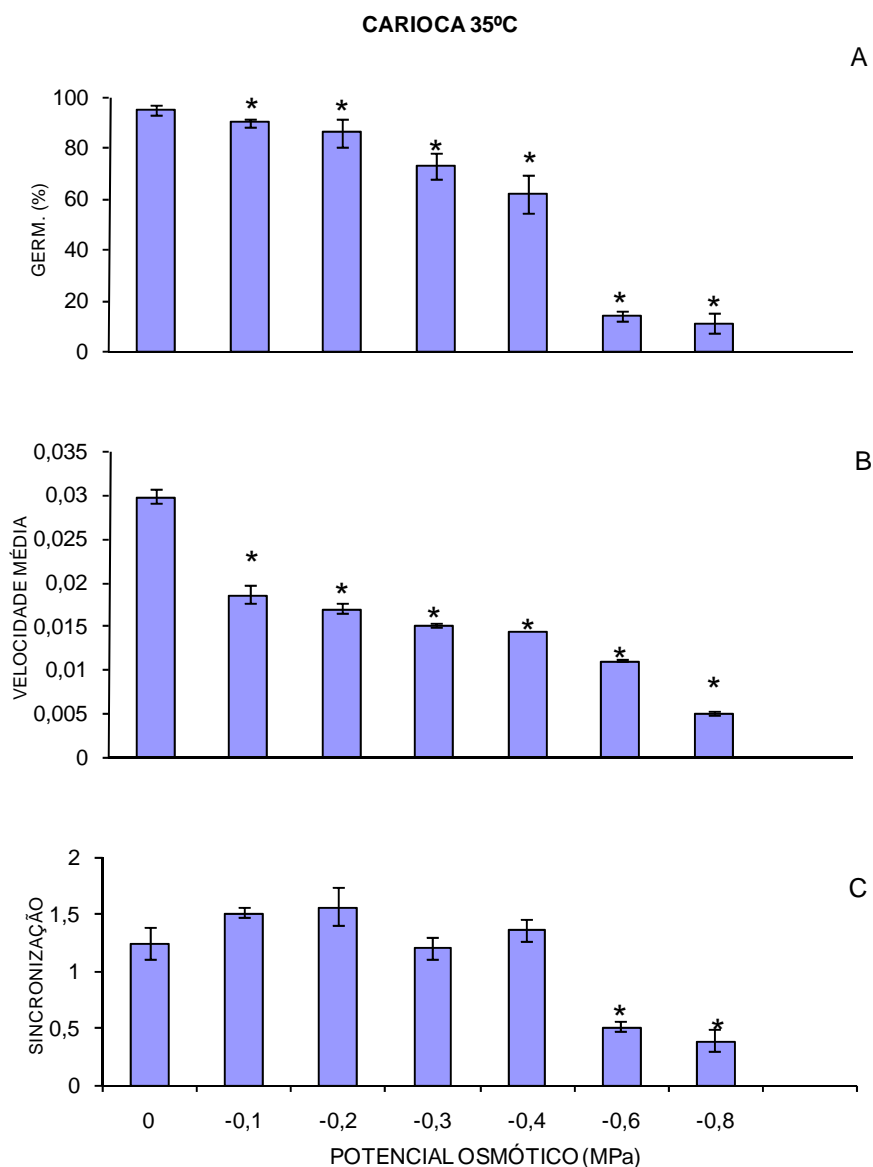


Figura 15 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

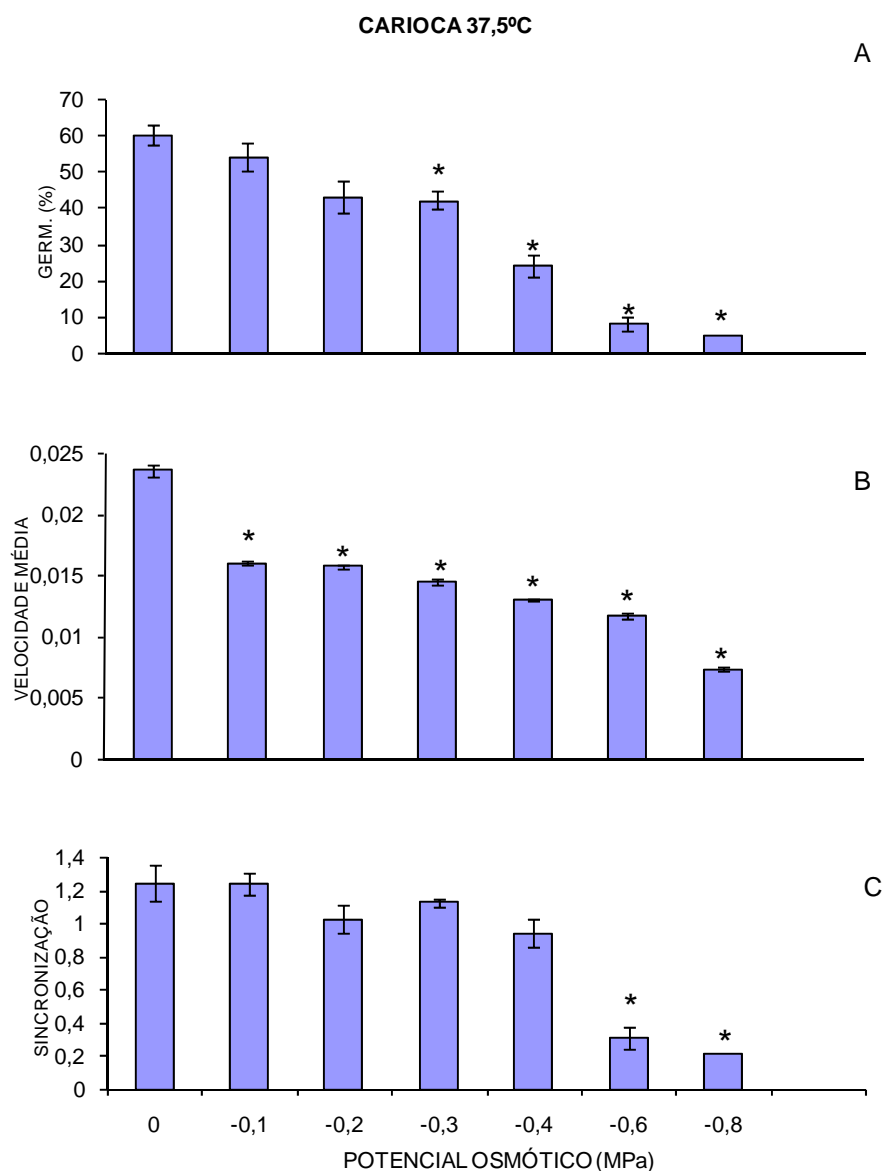


Figura 16 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Carioca, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Cultivar Iapar 81

15°C:

Apenas a partir da concentração -1,0MPa, houve redução significativa da germinabilidade em relação ao controle (Figura 17-A). A velocidade média de germinação passou a ser reduzida a partir do potencial -0,1MPa (Figura 17-B). Os potenciais -0,6MPa e -1,0MPa foram os únicos em que houve germinação mais sincronizada (índices menores) do que no controle (Figura 17-C).

20°C:

A germinabilidade passou a ser significativamente reduzida, em relação ao controle, a partir do potencial -0,2MPa (Figura 18-A) e as velocidades médias de germinação tornaram-se menores do que a do controle a partir do potencial -0,1MPa (Figura 18-B). O potencial -1,0MPa foi o único que exibiu germinação mais sincronizada (menor valor do índice) do que o controle (Figura 18-C).

25°C:

A partir do potencial -0,1MPa, a porcentagem final de germinação (germinabilidade) passou a ser reduzida (Figura 19-A) e a germinação passou a ser mais lenta, já que as velocidades médias de germinação exibiram valores mais baixos do que o controle (Figura 19-B). Os potenciais -0,8MPa e -1,0MPa apresentaram germinação mais sincronizada do que a do controle (Figura 19-C).

32°C:

A germinabilidade passou a ser significativamente menor do que a do controle a partir do potencial -0,1MPa (Figura 20-A), sendo que o mesmo ocorreu para a variável velocidade média de germinação (Figura 20-B). A germinação foi significativamente mais sincronizada apenas no potencial -0,8MPa (Figura 20-C).

35°C:

A partir do potencial -0,3MPa, a germinabilidade passou a ser reduzida em relação ao controle (Figura 21-A). Já, a partir do potencial -0,1MPa, a velocidade de germinação reduziu-se em relação ao controle (Figura 21-B). A germinação foi significativamente mais sincronizada do que a do controle nos potenciais -0,6MPa e -0,8MPa (21-C).

37,5°C:

A germinabilidade reduziu-se a partir do potencial -0,4MPa (Figura 22-A) e a velocidade média de germinação passou a ser menor do que a do controle no potencial -0,1MPa (Figura 22-B). Assim como na temperatura 35°C, a germinação foi significativamente mais sincronizada (valores menores) nos potenciais -0,6MPa e -0,8MPa (Figura 22-C).

Nas temperaturas 15°C, 20°C e 25°C (Figuras 17-19), não houve germinação além do potencial -1,0MPa. A partir da temperatura 32°C (Figuras 20-22), não houve germinação além de -0,8MPa. Para todas as temperaturas, a velocidade média de germinação passou a ser significativamente reduzida, em relação ao controle, a partir da concentração -0,1MPa (Figura 17-22).

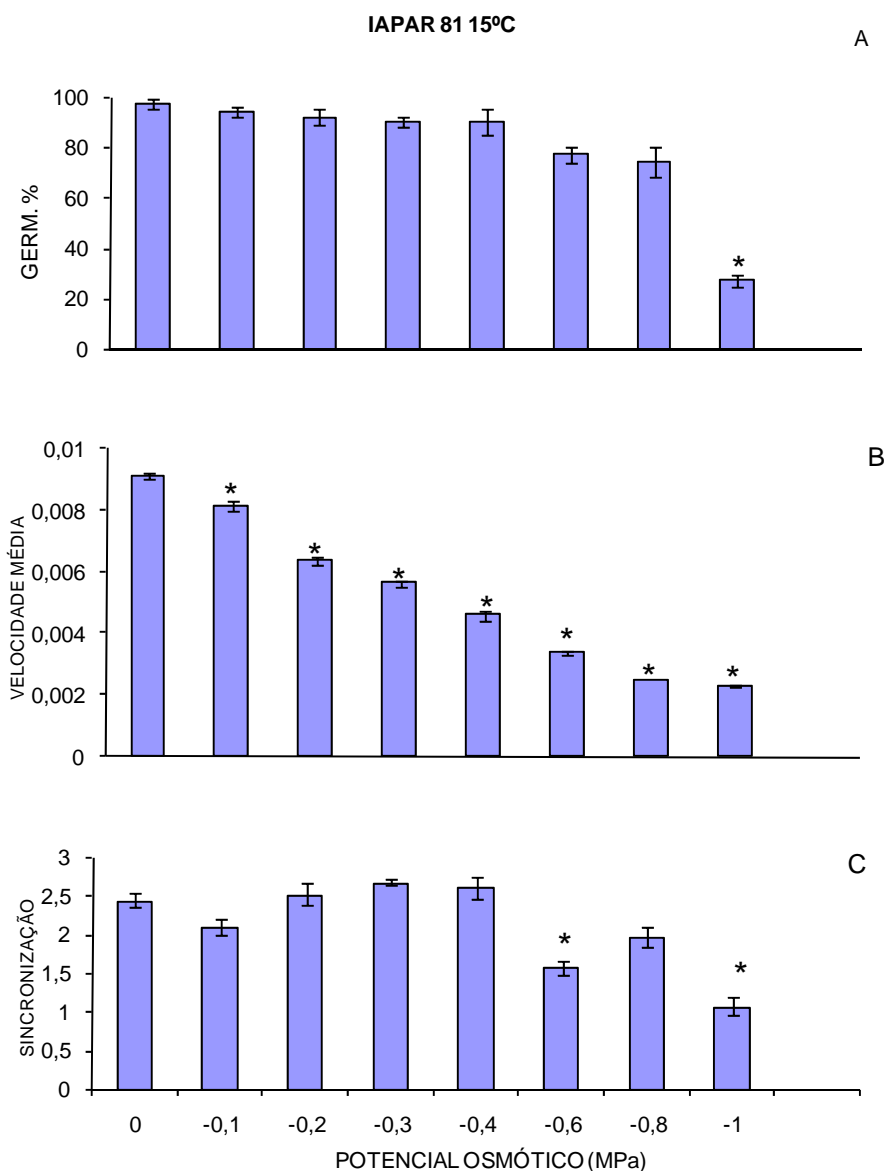


Figura 17 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

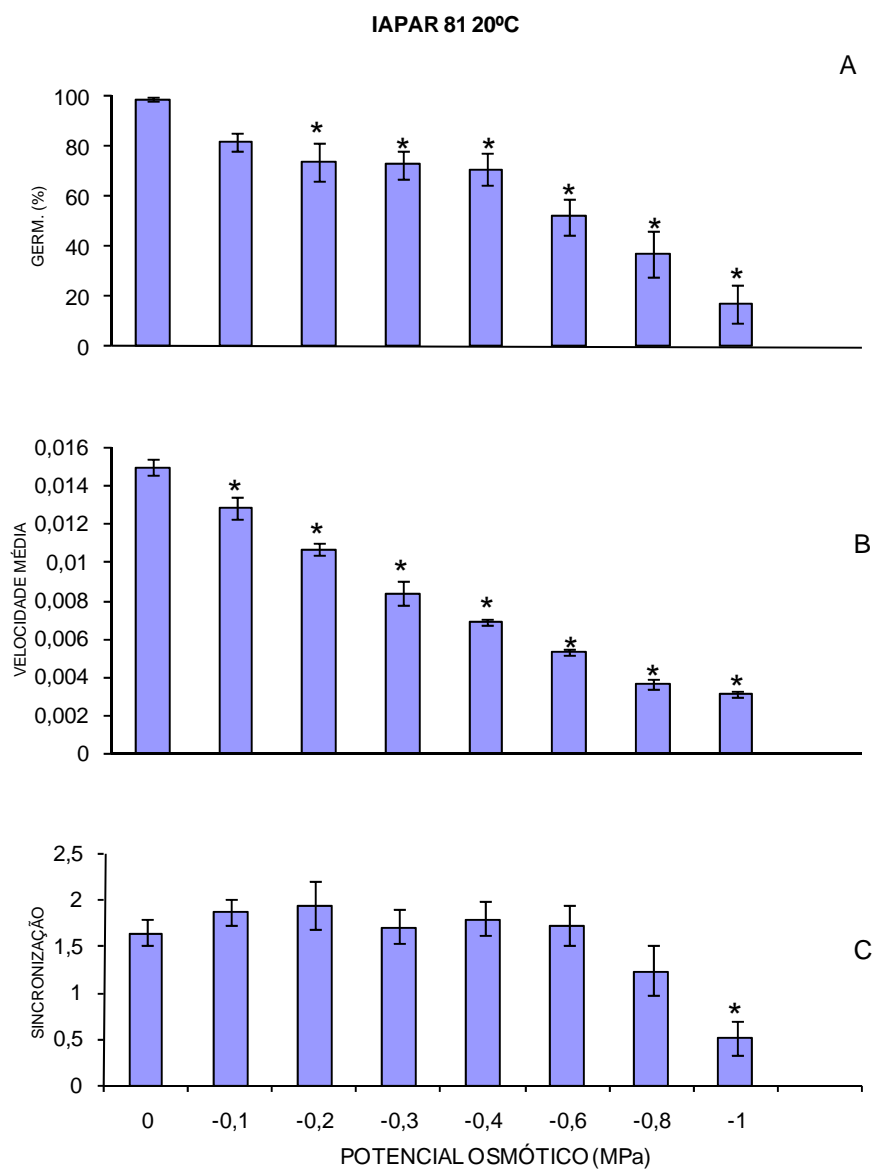


Figura 18 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

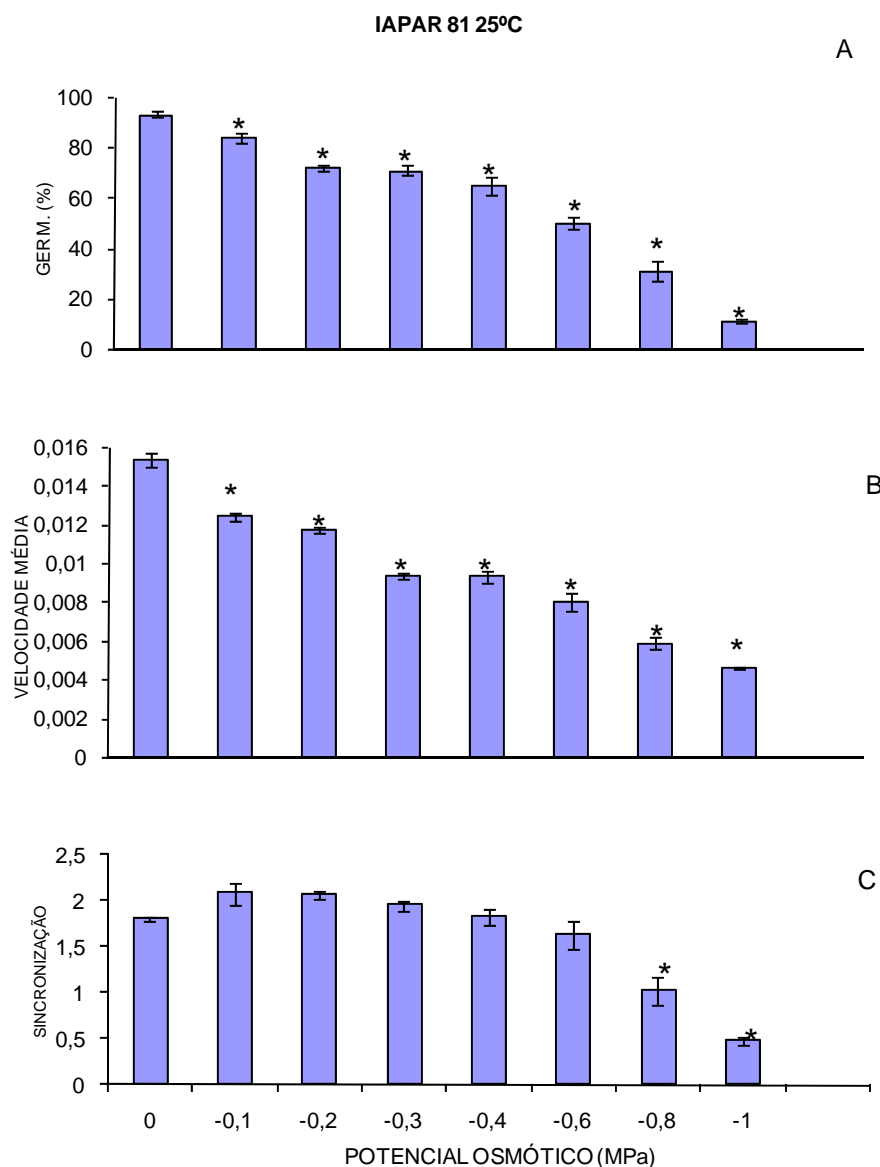


Figura 19 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

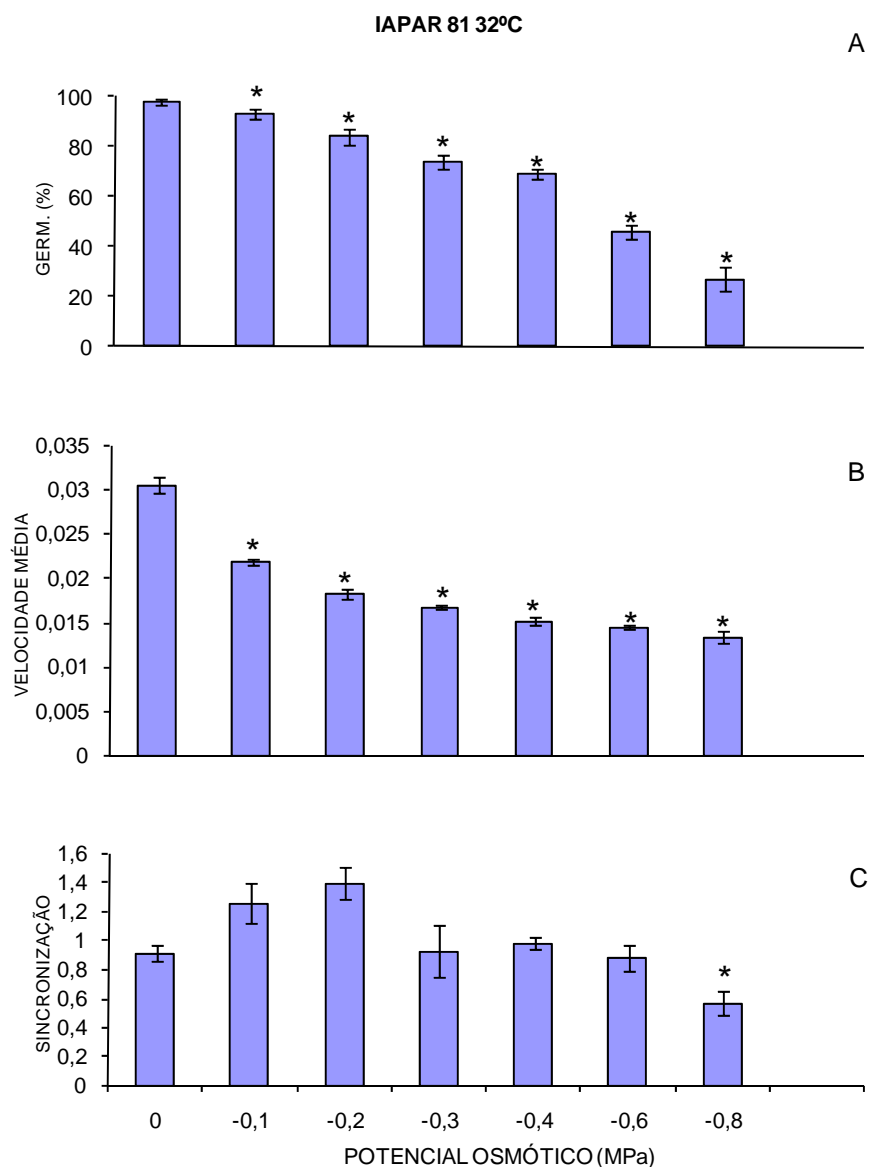


Figura 20 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

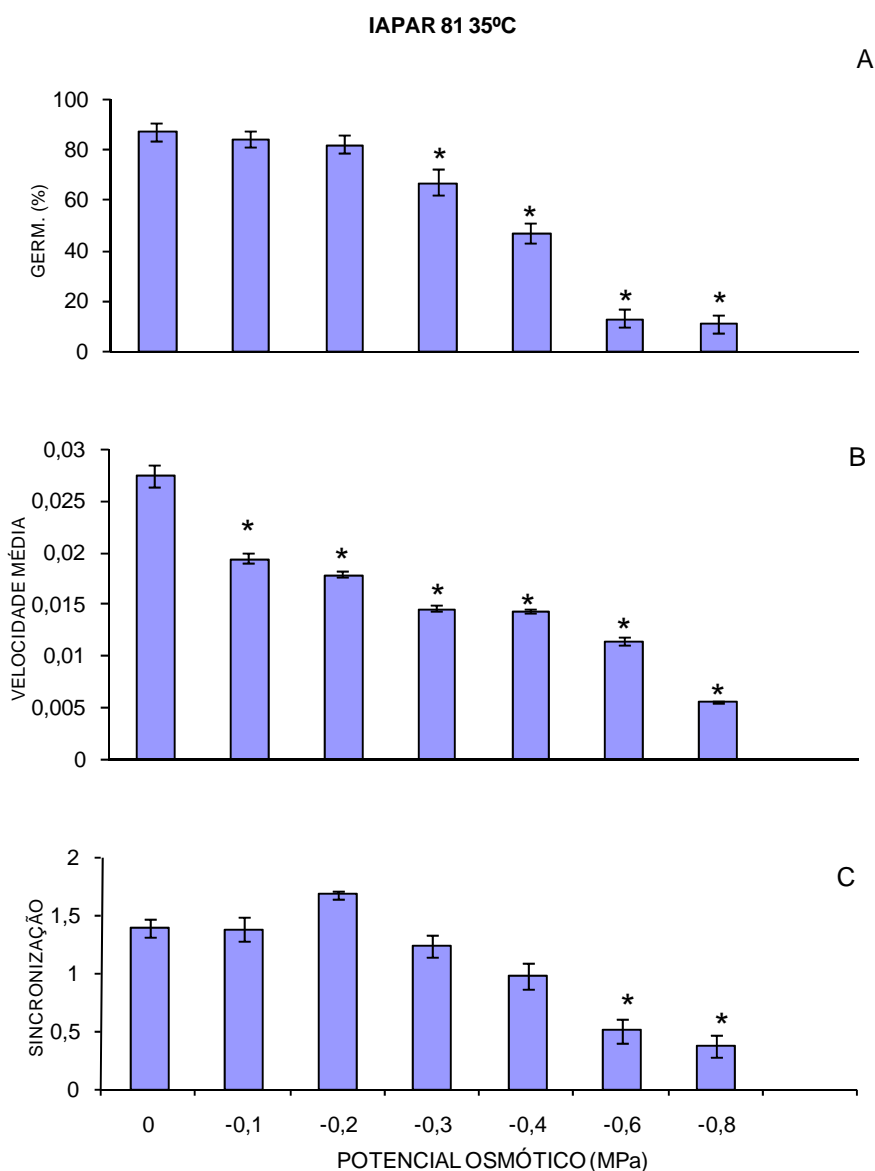


Figura 21 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os potenciais significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

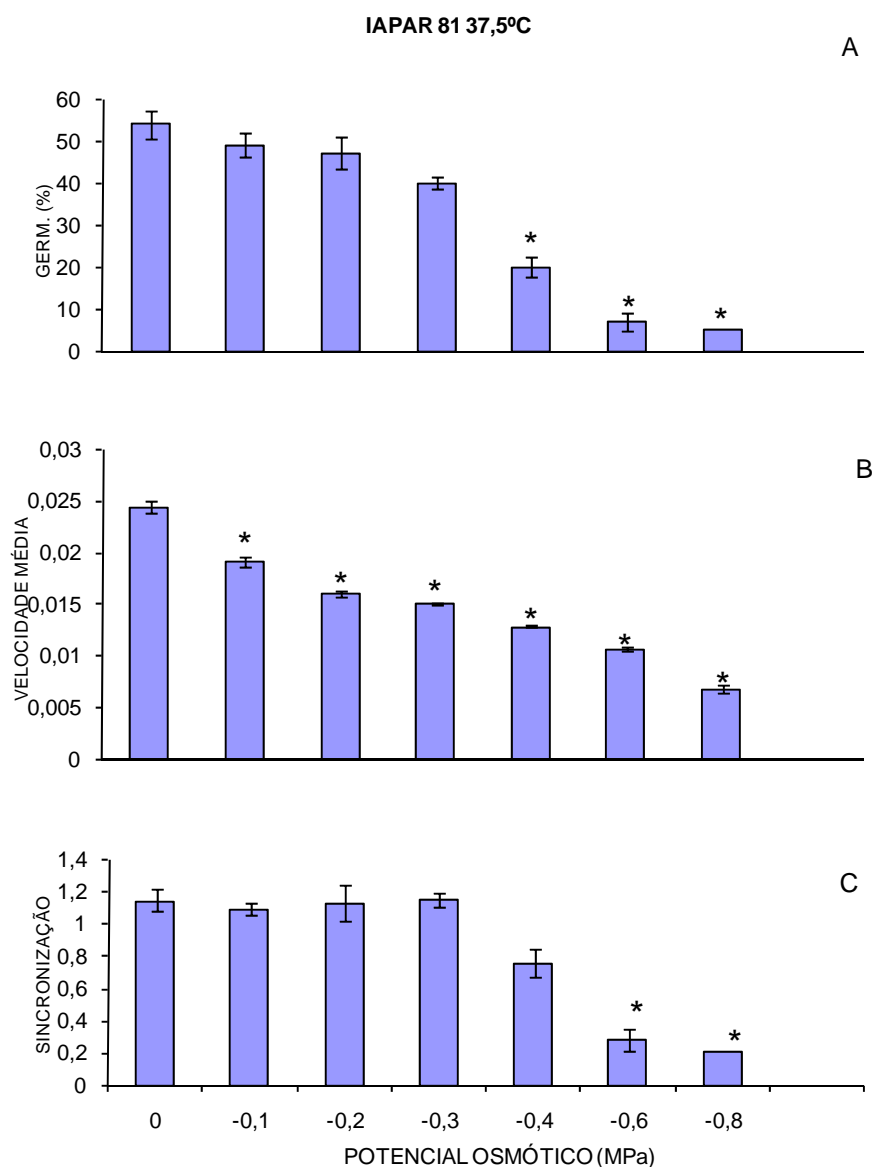


Figura 22 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar Iapar 81, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Cultivar IPR Graúna:

15°C:

A germinabilidade começou a ser significativamente reduzida a partir do potencial -0,8MPa (Figura 23-A) e a velocidade média de germinação passou a ser menor que a do controle apenas a partir do potencial -0,4MPa (Figura 23-B). Do potencial -0,4MPa ao -1,0MPa a germinação ocorreu de forma significativamente mais sincronizada do que no controle (Figura 23-C).

20°C:

A partir do potencial -0,4MPa a germinabilidade (Figura 24-A) passou a ser significativamente reduzida em relação ao controle. A velocidade média de germinação (Figura 24-B) foi significativamente reduzida já a partir do potencial -0,1MPa. O potencial -0,8MPa foi o único em que a germinação ocorreu de forma mais sincronizada do que no controle (Figura 24-C).

25°C:

A germinabilidade reduziu-se a partir do potencial -0,4MPa (Figura 25-A) e a velocidade média da germinação passou a ser reduzida já a partir do potencial -0,1MPa (Figura 25-B). Nos potenciais -0,6MPa e -0,8MPa, a germinação ocorreu de forma mais sincronizada do que no controle (Figura 25-C).

32°C:

A partir do potencial -0,3MPa, a germinabilidade começou a ser significativamente reduzida em relação ao controle (Figura 26-A). A velocidade média de germinação reduziu-se a partir do potencial -0,1MPa (Figura 26-B). Nenhum potencial exibiu germinação significativamente distinta do controle em relação ao índice de sincronização (Figura 26-C).

35°C:

A germinabilidade passou a ser reduzida significativamente a partir do potencial -0,4MPa (Figura 27-A) e, a partir do potencial -0,1MPa, as velocidades médias de germinação diminuíram em relação à do controle (Figura 27-B). O potencial -0,3MPa foi o único que exibiu germinação

menos sincronizada (maior valor) do que o controle e, na concentração -0,8MPa, houve a única germinação mais sincronizada do que a do controle (Figura 27-C).

37,5°C:

A partir do potencial -0,4MPa, a germinabilidade passou a ser reduzida (Figura 28-A) e as velocidades médias de germinação diminuíram significativamente a partir do potencial -0,1MPa (Figura 28-B). Nos potenciais -0,6MPa e -0,8MPa, a germinação ocorreu de forma mais sincronizada do que no controle (Figura 28-C).

Excetuando-se a temperatura 15°C (Figura 23), em que houve germinação até o potencial -1,0MPa, em todas as outras temperaturas não houve germinação em potenciais mais reduzidos (mais negativos) que -0,8MPa (Figuras 24-28).

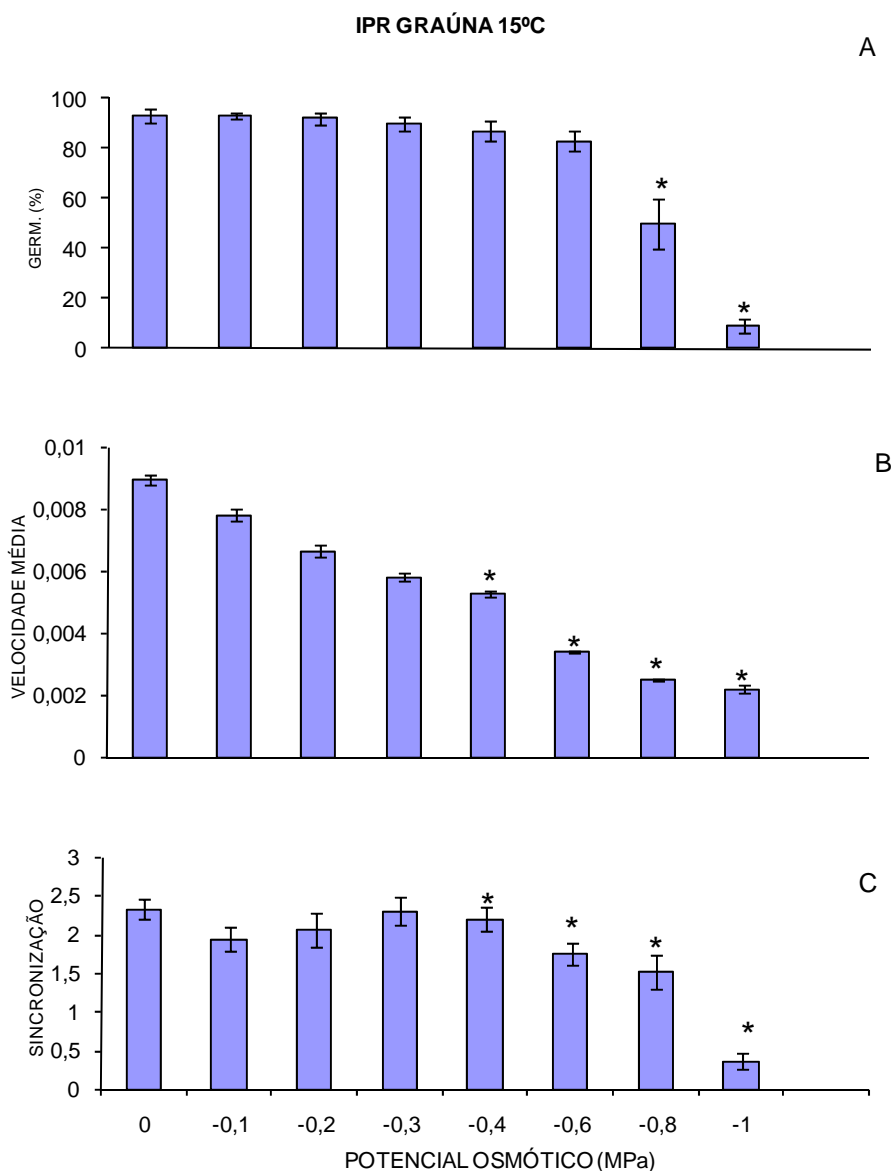


Figura 23 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

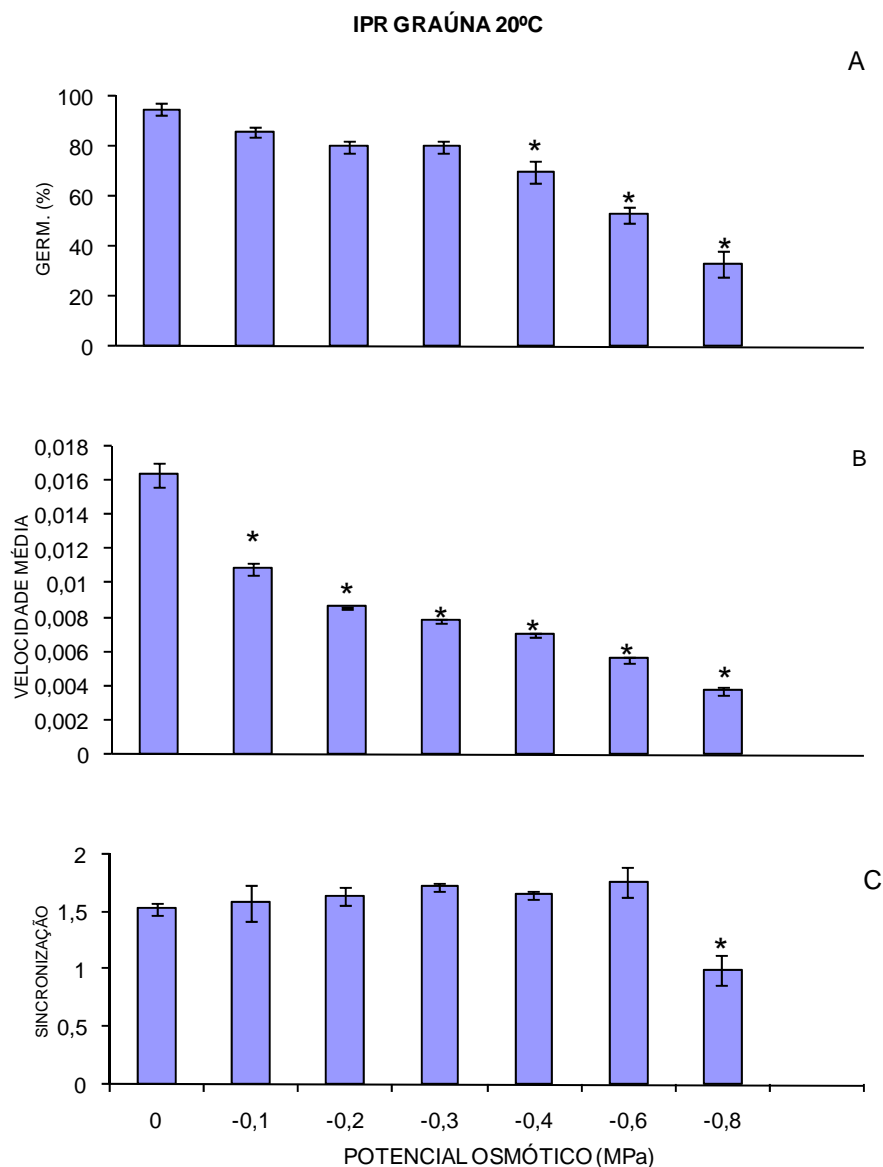


Figura 24 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os potenciais osmóticos significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

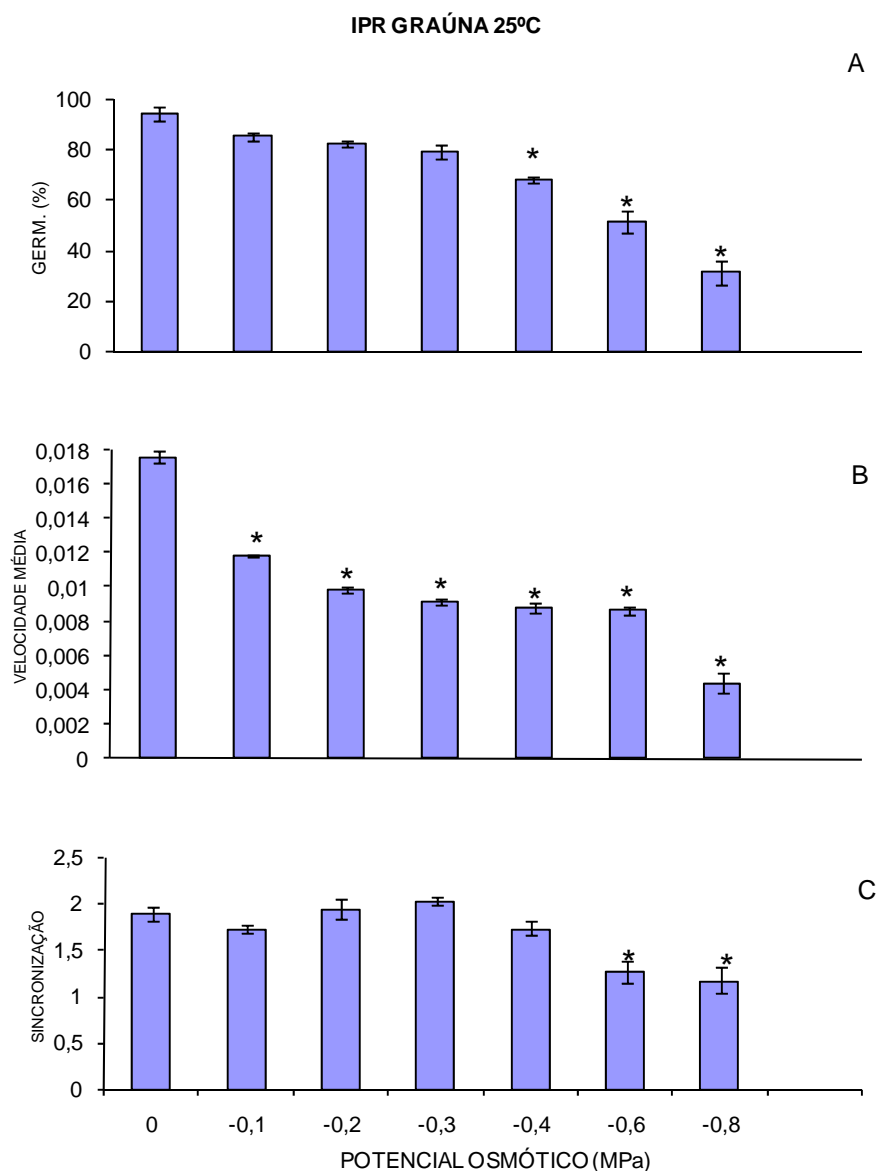


Figura 25 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

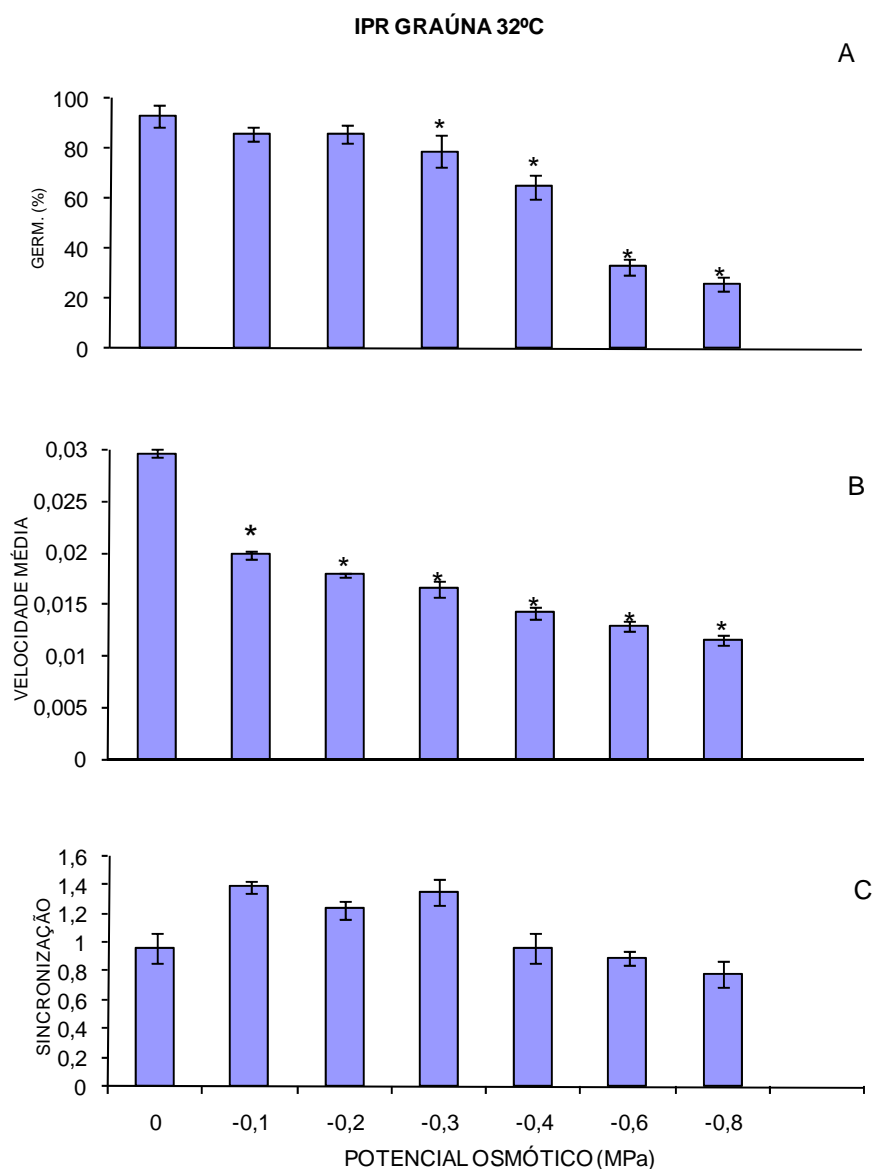


Figura 26 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (em C nenhum potencial diferiu do controle). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

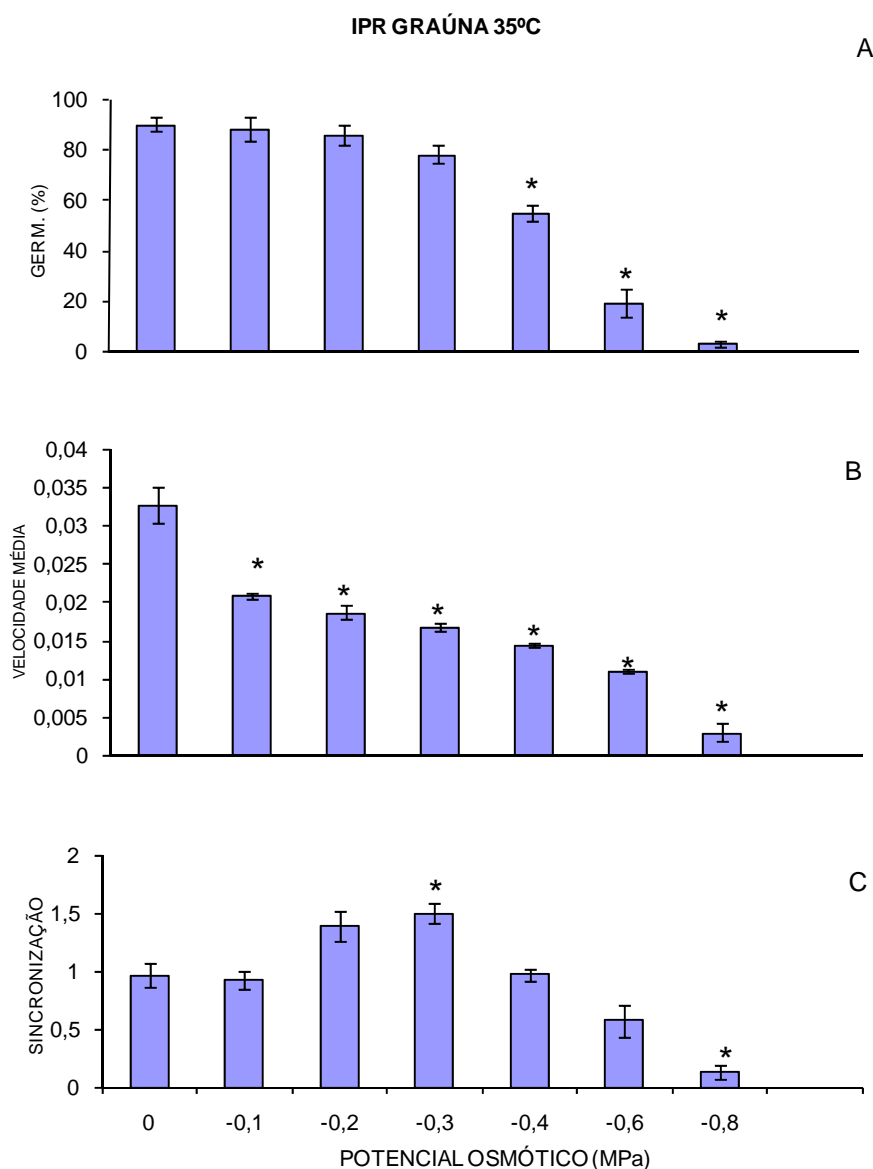


Figura 27 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

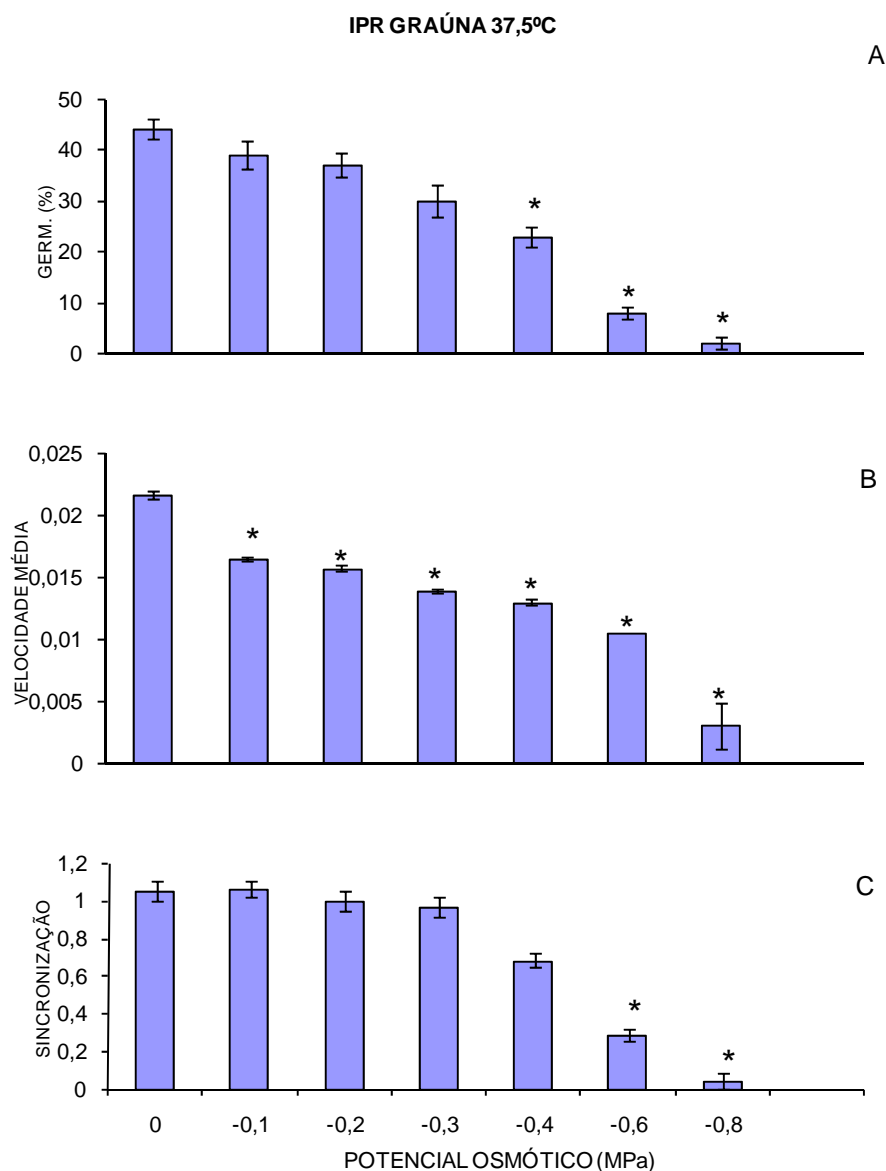


Figura 28 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Graúna, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Cultivar IPR Uirapuru:

15°C:

A partir do potencial -0,8MPa a germinabilidade passou a ser significativamente reduzida em relação ao controle (Figura 29-A) e a velocidade média de germinação, já a partir do potencial -0,1MPa, diminuiu significativamente (Figura 29-B). Nos potenciais -0,2MPa e -0,4MPa houve germinação menos sincronizada do que no controle e, no potencial -1,0MPa, houve germinação mais sincronizada do que em 0MPa (Figura 29-C).

20°C:

A germinabilidade reduziu-se significativamente a partir do potencial -0,6MPa (Figura 30-A). Já a partir do potencial -0,1MPa, a velocidade de germinação passou a ser reduzida em relação ao controle (Figura 30-B). Nenhum potencial diferiu do controle em relação à variável sincronização da germinação (Figura 30-C).

25°C:

A partir do potencial -0,6MPa, a porcentagem final de germinação (germinabilidade) apresentou valores significativamente menores do que o controle (Figura 31-A) e a velocidade média de germinação passou a ser reduzida, em relação ao controle, a partir do potencial -0,1MPa (Figura 31-B). O único potencial em que houve germinação mais sincronizada do que no controle foi -0,8MPa (Figura 31-C).

32°C:

A partir do potencial -0,1MPa, tanto a germinabilidade (Figura 32-A) quanto a velocidade média de germinação (Figura 32-B) passaram a ser reduzidas em relação ao controle. A germinação ocorreu de forma significativamente mais sincronizada (valor mais baixo) do que o controle apenas no potencial -0,8MPa (Figura 32-C).

35°C:

A germinabilidade passou a ser significativamente reduzida a partir do potencial -0,4MPa (Figura 33-A). Já a velocidade média de germinação reduziu-se significativamente a partir do

potencial -0,1MPa (Figura 33-B). A germinação ocorreu de forma menos sincronizada (valores mais altos) em relação ao controle nos potenciais -0,2MPa e -0,3MPa (Figura 33-C).

37,5:

A partir do potencial -0,3MPa, houve redução significativa da variável germinabilidade em relação ao controle (Figura 34-A) e a velocidade média de germinação passou a ser reduzida já a partir do potencial -0,1MPa (Figura 34-B). Nos potenciais -0,6MPa e -0,8MPa, houve germinação significativamente mais sincronizada do que no controle (Figuras 34-C).

Excetuando-se a temperatura 15°C, em que houve germinação até o potencial -1,0MPa (Figura 29), em todas as outras temperaturas, não houve germinação além do potencial -0,8MPa (Figuras 30-34), de forma similar ao que ocorreu com a cultivar IPR Graúna (Figuras 23-28). Além disso, para todas as temperaturas, a cultivar IPR Uirapuru exibiu redução significativa da velocidade média de germinação a partir do potencial -0,1MPa (Figura 29-34).

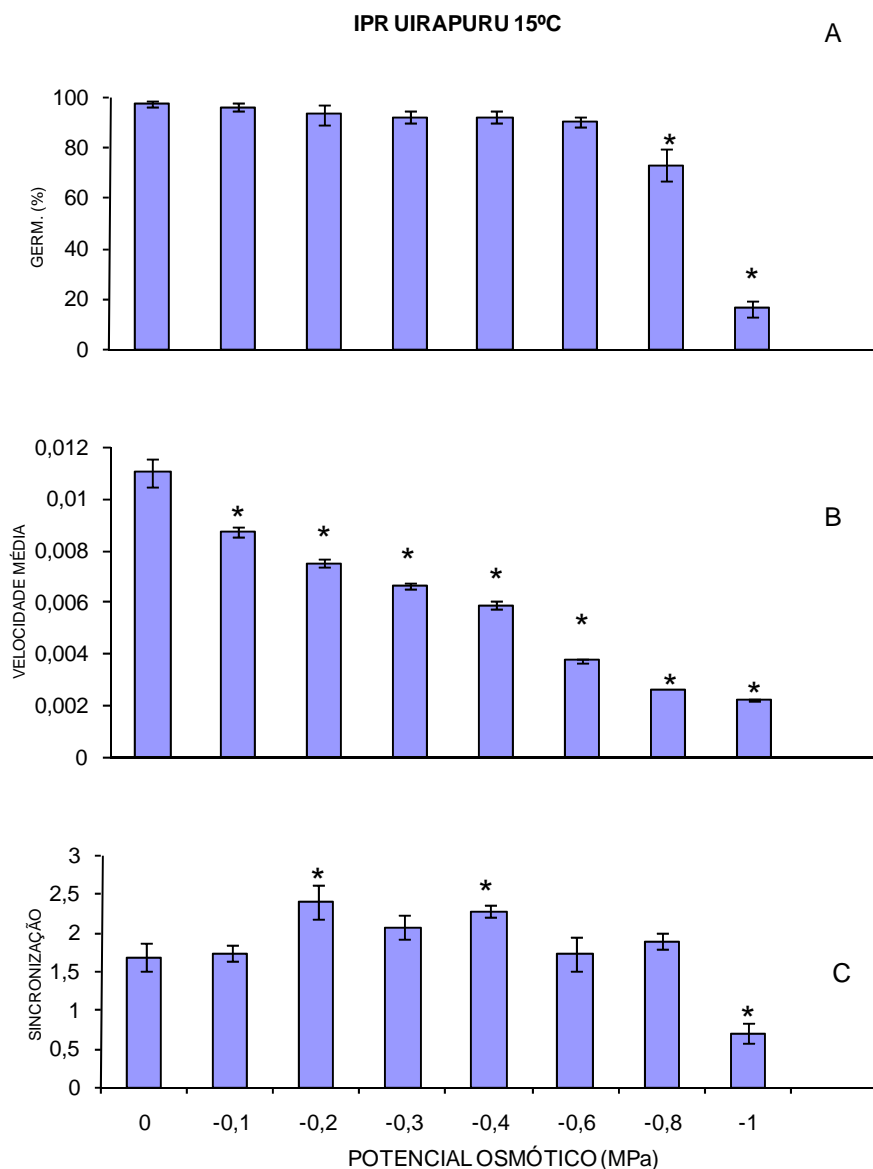


Figura 29 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 15°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

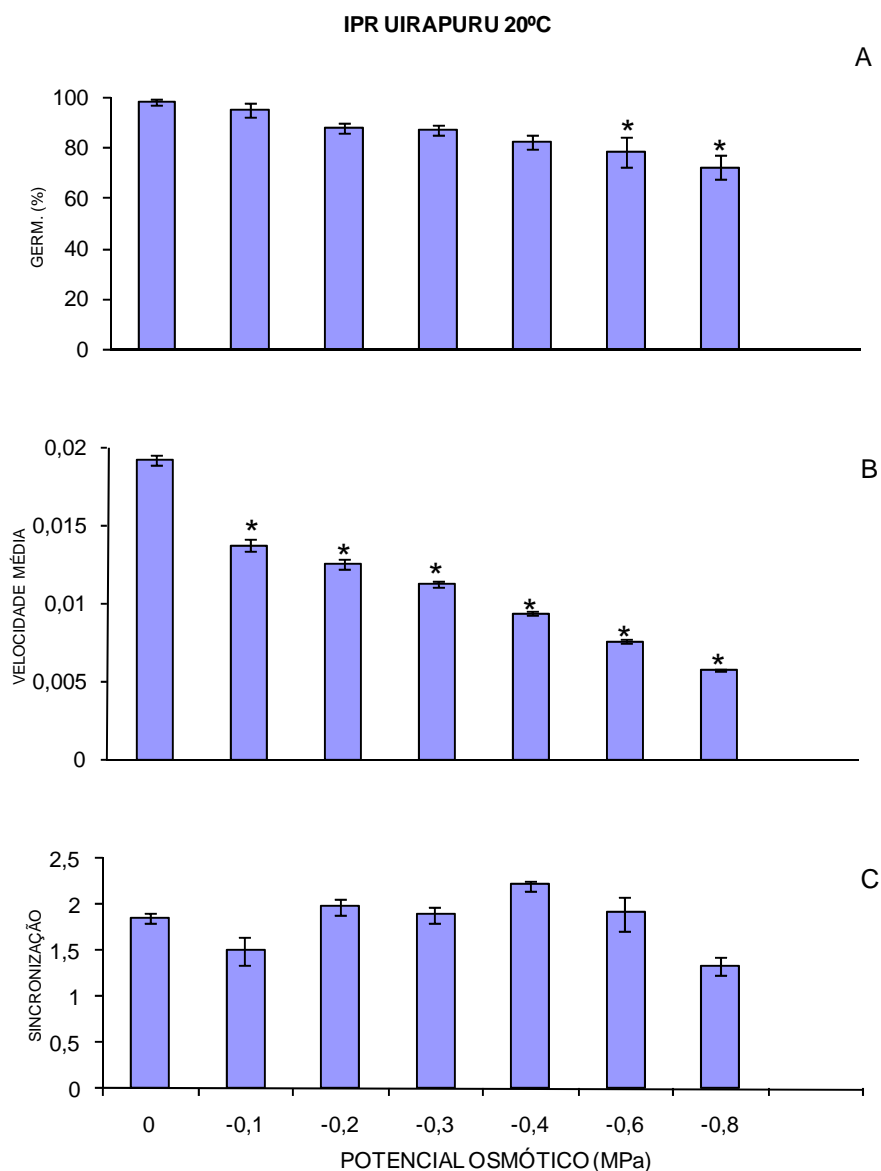


Figura 30 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 20°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

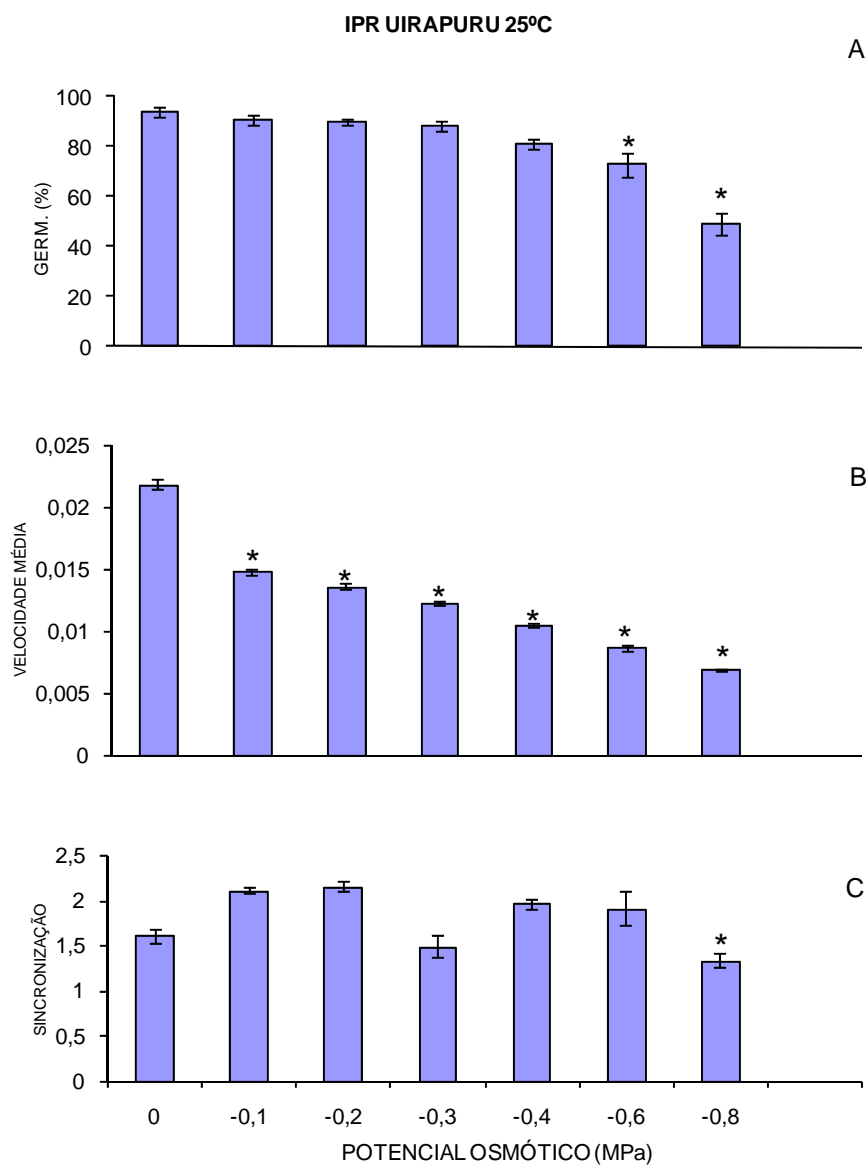


Figura 31 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 25°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

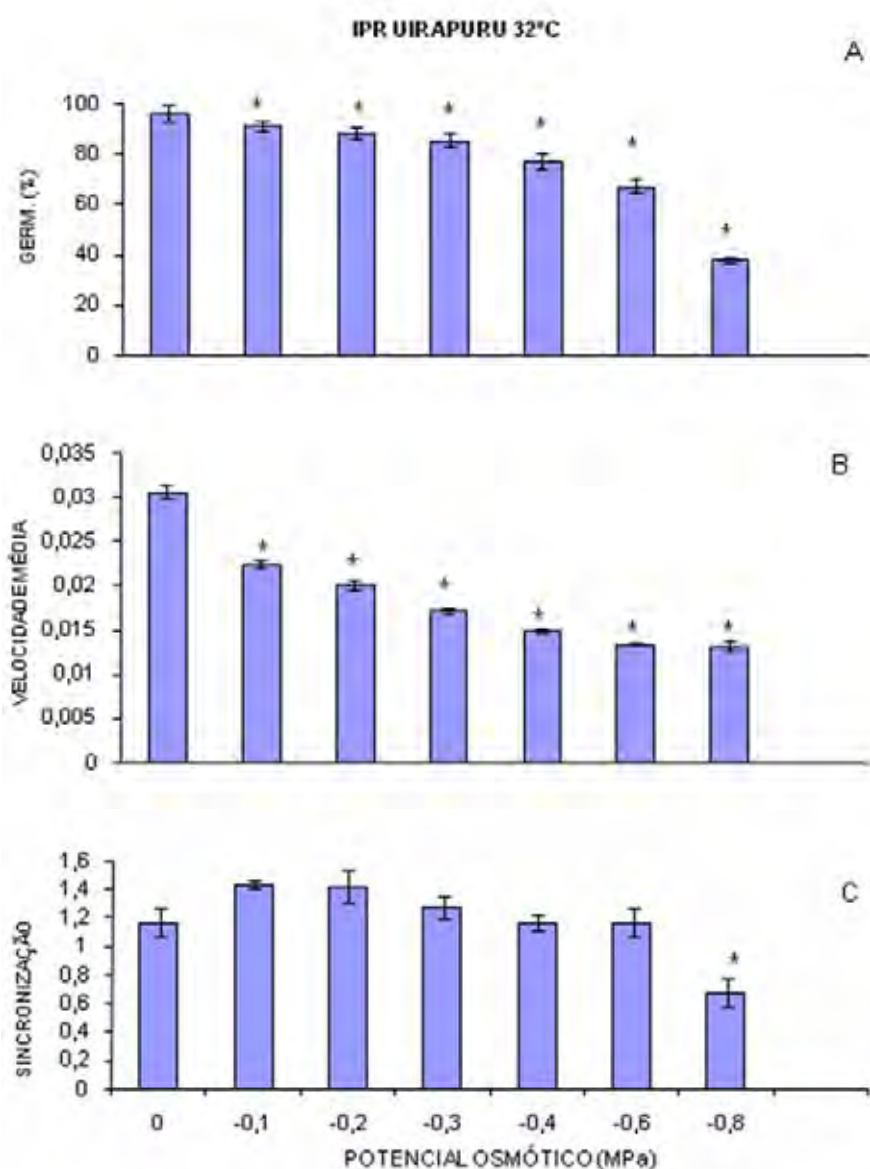


Figura 32 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 32°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

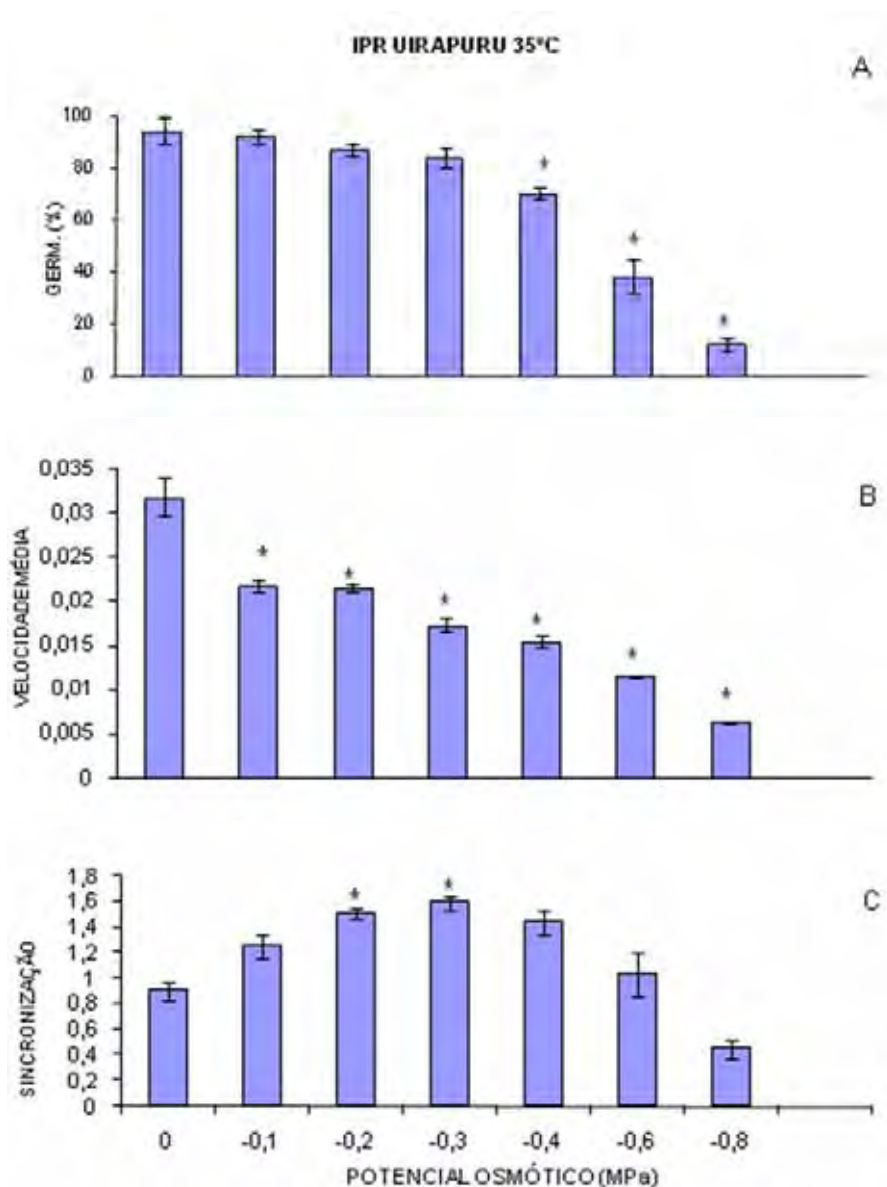


Figura 33 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 35°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

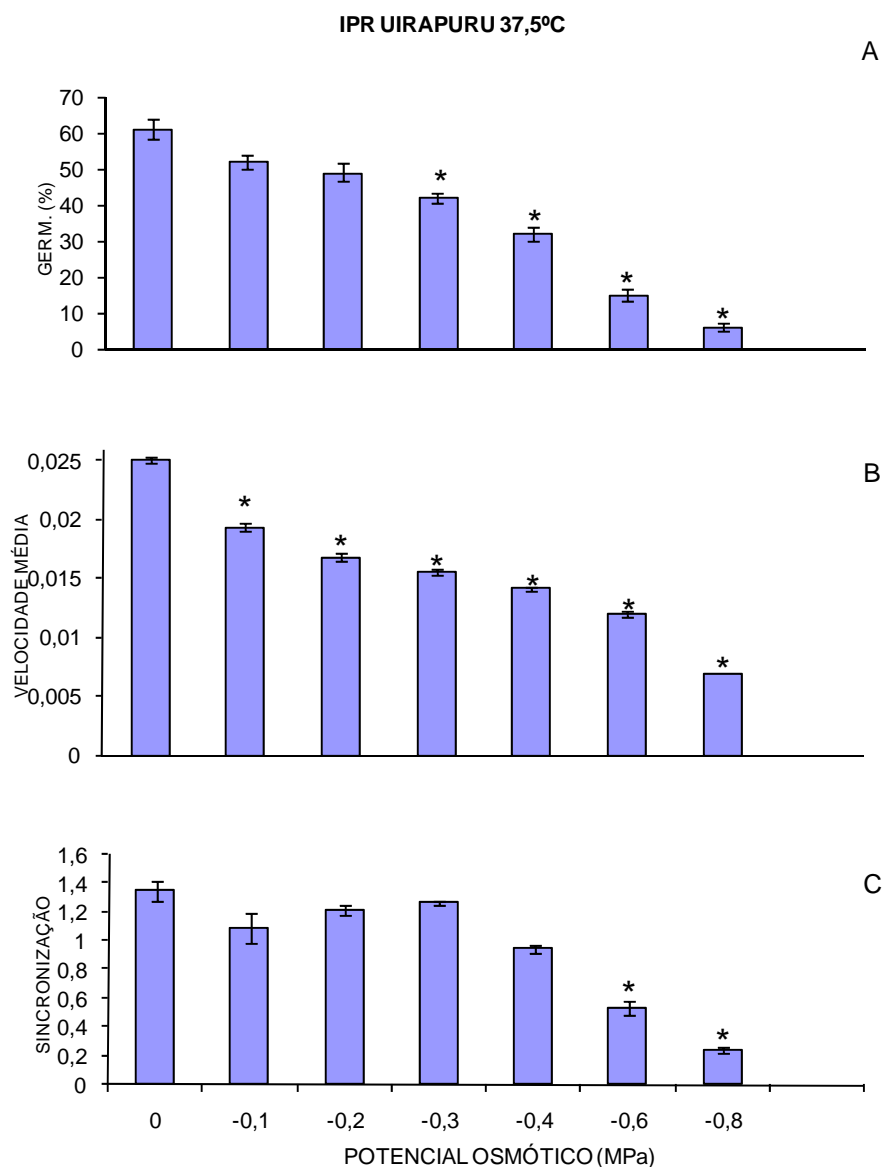


Figura 34 - Resposta de *P. vulgaris*, cultivar IPR Uirapuru, em relação às variáveis germinabilidade (A), velocidade média de germinação (B) e sincronização (C), em função de diferentes potenciais osmóticos da solução à temperatura de 37,5°C. Os asteriscos indicam os tratamentos (potenciais osmóticos) significativamente distintos do controle (0MPa). Barras verticais: erro padrão da média. Foi utilizado o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

DISCUSSÃO

A classificação das sementes de feijoeiro e de outras plantas de interesse agrícola quanto ao peso ou ao tamanho pode ser uma estratégia para o aumento da produtividade, visto que tais variáveis podem afetar a germinação e vigor das plântulas e a produção de grãos (LIMA & CARMONA, 1999; PERIN et al., 2002). Segundo o IAPAR (2009), a cultivar IPR Uirapuru apresenta maior peso médio em comparação com a cultivar IPR Graúna; contudo, neste estudo, ocorreu o contrário, com a cultivar IPR Graúna exibindo maior peso médio do que a IPR Uirapuru (Figura 2).

Ainda que possa haver exceções, geralmente, afirma-se que sementes maduras apresentam baixo teor de umidade (de 10 a 20%) e os seus tecidos possuem baixa atividade metabólica (MORAES et al., 2002). O teor de água das sementes das cultivares analisadas variou de 11% a 13% aproximadamente (Figura 3), ou seja, tal variação está contida no intervalo freqüentemente considerado como o normal para sementes maduras e viáveis. A cultivar Carioca, que apresentou o maior peso por 100 sementes, não se revelou como tendo teor de água superior a todas as outras cultivares, já que a sua porcentagem de água foi igual à da cultivar Iapar 81 (Figura 3).

A embebição constitui o primeiro estágio do processo germinativo, em que se inicia a hidratação das sementes. Durante tal processo de hidratação, entre diversos outros fenômenos fisiológicos, há a difusão de solutos do interior das sementes e também as membranas celulares sofrem reorganização, devido às suas características de semipermeabilidade (LABOURIAU, 1983; LARCHER, 2000; MORAES et al., 2002). A cultivar Carioca, que apresentou o maior peso médio por 100 sementes (Figura 2), exibiu a maior taxa de embebição, durante a primeira hora deste processo, em relação às outras cultivares (Figura 4).

Ainda que as leguminosas sejam referidas como um grupo em que, freqüentemente, encontram-se representantes com tegumentos impermeáveis (MAYER & POLJAKOFF-MAYBER, 1989), o que retardaria a taxa de embebição, este não foi o caso das quatro cultivares analisadas, uma vez que todas estas, já a partir da décima hora de embebição, não apresentaram incremento de peso em relação ao peso inicial (Figura 4).

Dentro da mesma espécie, sementes de maior tamanho ou peso usualmente germinam mais rápido do que as menores ou as mais leves (VAUGHTON & RAMSEY, 1998; HUMARA et al., 2002; WANG et al., 2005). Contudo, a cultivar Carioca, ainda que tenha exibido o maior peso médio (Figura 2), apresentou velocidade média de germinação inferior às médias das

cultivares Iapar 81 e IPR Uirapuru e germinação menos sincronizada do que todas as outras cultivares (Figuras 5-B e 5-C), sob as mesmas condições experimentais.

Em relação à porcentagem final de germinação, STEFANELLO et al. (2006) encontraram, para a semente de funcho (*Foeniculum vulgare*), valores relativamente altos (acima de 80%), à temperatura de 25°C, e não detectaram diferenças significativas nesta variável entre as situações presença e ausência de luz, semelhante ao que ocorreu com as quatro cultivares de feijoeiro, que, além da porcentagem final de germinação, não exibiram diferenças em relação à velocidade média de germinação e à sincronização sob a temperatura de 25°C e em água destilada (Figura 6 A-C).

De forma geral, entre as plantas cultivadas, existe pouca evidência de que a luz seja um fator que influencie significativamente a germinação. As sementes da maioria das plantas cultivadas tendem a germinar igualmente tanto no escuro quanto na luz (MAYER & POLJAKOFF-MAYBER, 1989). Sendo esse o fato ocorrido com as cultivares de feijoeiro à 25°C e em água destilada (Figura 6 A-C). Entretanto, é importante ressaltar que a sensibilidade das sementes ao estresse hídrico pode ser influenciada pelos diferentes fatores ambientais, como luz, temperatura e teor de oxigênio, entre outros, que variam durante o processo de embebição. O aparecimento de sensibilidade à luz na presença de estresse hídrico é freqüente em diversas espécies (LOPES & TAKAKI, 1988; NIEDZWIEDZ-SIEGEN & ST-LEWAK, 1989; PEREZ et al., 2001; SOCOLOWSKI & TAKAKI, 2004). Dessa forma, os resultados citados (Figura 6 A-C) devem ser analisados dentro do contexto de ausência de estresse hídrico; já que a resposta, neste estudo, foi testada apenas em água destilada.

A cultivar IPR Graúna (Figura 9-B) apresentou a faixa ótima mais ampla, ou seja, com maior variação de diferentes temperaturas, baseando-se na velocidade média de germinação, contrastando com a Iapar 81, que não apresentou uma faixa ótima, mas sim um único ponto (Figura 8-B). Dessa forma, esta última é a cultivar com maior número de temperaturas ou pontos nas faixas subótima e supraótima.

Todas as quatro cultivares estudadas são, em linhas gerais, caracterizadas como tendo boa (IPR Uirapuru, por exemplo) ou moderada (Iapar 81, por exemplo) tolerância ao déficit hídrico e a altas temperaturas (IAPAR, 2009), considerando-se experimentos conduzidos no campo e analisando-se fases do ciclo de desenvolvimento mais avançadas do que a germinação (fase reprodutiva, por exemplo). Nenhuma das quatro cultivares apresentou germinação acima de

38,2°C nem abaixo de 10,3°C (Figuras 7-10); ou seja, considerando-se os experimentos em gradiente térmico (sem o fator potencial osmótico) as quatro cultivares germinaram dentro da mesma faixa de variação de temperaturas.

Fato que se poderia esperar em relação a cultivares de feijoeiro (WHITE & CONSUELO MONTES, 1993) e que, de fato, ocorreu, foi a obtenção de poucos pontos nas faixas supraótimas (Figuras 7-10) em comparação com as faixas subótimas.

Temperaturas relativamente elevadas ($\geq 35^{\circ}\text{C}$), durante a germinação de sementes, podem provocar inibição ou dormência térmica, além de perda da viabilidade. Em contrapartida, as baixas temperaturas ($\leq 5^{\circ}\text{C}$) podem deixar inoperantes muitas vias metabólicas essenciais ao início da germinação (LABOURIAU, 1983; MORAES et al., 2002). MACHADO NETO et al. (2006b), utilizando cultivares de feijoeiro distintas das usadas neste projeto, também constataram que temperaturas próximas de 40°C inibem fortemente a germinação. No caso do presente estudo, nenhuma das cultivares apresentou pontos correspondentes a temperaturas superiores à 35°C como sendo valores pertencentes à faixa ótima (Figura 7-10).

Em condições de campo, KOLASINSKA et al. (2000) encontraram porcentagens de germinação relativamente muito baixas em temperaturas do solo em torno de 10°C para *P. vulgaris*. Tal fato, ainda que sob condições experimentais controladas, também foi observado no presente estudo (Figuras 7-10) - em relação a todas as cultivares.

LABOURIAU & AGUDO (1987) atestam que, para muitas espécies, a faixa ótima de temperatura para a velocidade de germinação é um intervalo incluído na faixa ótima de temperatura para a germinabilidade das sementes; contudo, no mesmo trabalho e empregando 33 temperaturas distintas, estes autores não verificaram tal sobreposição de faixas em relação à espécie *Salvia hispanica* (Labiatae). LABOURIAU & OSBORN (1984) também não verificaram sobreposição entre as faixas ótimas de germinabilidade final e de velocidade média de germinação em relação ao tomateiro (*Lycopersicon esculentum*).

Diferentemente, no presente estudo, para todas as quatro cultivares, a faixa ou temperatura ótima, baseada na velocidade média de germinação, correspondeu a faixas de germinabilidade e sincronização que não apresentaram inclinação significativa (Figuras 7-10) (aumento ou diminuição em função da temperatura). Ou seja, de forma geral, as faixas ou pontos ótimos das cultivares, baseados na velocidade média de germinação (LABOURIAU & AGUDO,

1987; SANTANA & RANAL, 2004), estão inseridos nas faixas ou intervalos de maior germinabilidade e de maior sincronização (valores do índice de sincronização mais baixos).

Valores relativamente elevados de porcentagem final de germinação (acima de 90%, por exemplo), em temperaturas da faixa subótima, como nas quatro cultivares de feijoeiro (Figuras 7-10), também foram relatados para outras plantas de interesse agrícola, como *Allium cepa* e *Daucus carota* (ROWSE et al., 1999).

É bastante freqüente, em plantas cultivadas e em invasoras anuais, serem verificadas tendências de aumento relativamente gradativas ou lineares nas velocidades de germinação na faixa de temperatura subótima (MARSHALL & SQUIRE, 1996; STEINMAUS et al., 2000), como foi observado nas quatro cultivares de feijoeiro (Figuras 7-10), em que tal tendência de aumento foi observada até a faixa ótima de temperatura.

Trabalhando com a leguminosa *Vigna radiata*, FYFIELD & GREGORY (1989), detectaram que o intervalo de temperaturas compreendidas entre 40°C e 45°C correspondeu à faixa ótima para esta espécie e encontraram o valor -2,2MPa como sendo o potencial osmótico limitante à germinação (principalmente na faixa de 30 a 40°C). Diferentemente do que se constatou neste estudo, em que nenhuma das quatro cultivares, em relação a todas as temperaturas, exibiu germinação em potenciais mais reduzidos (mais negativos) que -1,0MPa (Figuras 11-34).

Num estudo com 16 genótipos de *P. vulgaris*, conduzidos nas temperaturas de 22, 26 e 35°C, HUCL (1993) observou uma porcentagem de germinação praticamente nula (0 a 1%) no potencial osmótico de -0,8MPa; potencial este próximo de -1,0MPa, abaixo do qual não houve germinação em nenhuma das quatro cultivares analisadas no presente trabalho (Figuras 11-34).

MACHADO NETO et al. (2006), trabalhando com a cultivar IAC-Carioca 80SH, para a temperatura constante de 25°C, obtiveram germinação estatisticamente igual a zero no potencial osmótico de -1,2MPa. O que está de acordo com os resultados obtidos para a cultivar Carioca estudada neste projeto, que, em relação às temperaturas 15°C, 20°C e 25°C (Figuras 11-13), não apresentaram germinação além do potencial -1,0MPa, sendo que a cultivar Iapar 81 comportou-se da mesma forma em relação à reposta germinativa em função da diminuição do potencial osmótico (potencial mais negativo) (Figuras 17-19). Já as cultivares IPR Graúna (Figuras 23-28) e IPR Uirapuru (Figuras 29-34) não apresentaram germinação além do potencial -0,8MPa a partir

da temperatura 20°C, ou seja, as cultivares Carioca e Iapar 81 apresentaram tolerância um pouco maior (ainda que não acentuada) aos potenciais mais negativos com o aumento da temperatura.

A germinabilidade, a velocidade e a sincronização da germinação representam índices que, na maioria dos casos, não são controlados pelos mesmos fatores, ou seja, as variações destes três atributos germinativos em função da temperatura, usualmente, não são iguais (LABOURIAU & AGUDO, 1987). Como exemplo, podem ser citados os resultados oriundos de estudos sobre os efeitos da D₂O (água deuterada) sobre a germinabilidade e outros processos fisiológicos das sementes, que apontam para o fato de que a limitação na velocidade de germinação seja ocasionada por efeitos opostos de transconformação térmica de proteínas em temperaturas próximas aos limites extremos (temperaturas máxima e mínima), ainda que mais estudos sejam necessários para corroborar tais concepções (LABOURIAU, 1980; 1983; LABOURIAU & AGUDO, 1987). Essa desigualdade na resposta de tais atributos ou índices foi verificada nas quatro cultivares estudadas, já que, na grande maioria das combinações dos fatores temperatura e potencial osmótico (Figuras 11-34), a velocidade média de germinação, por exemplo, foi mais sensível a reduções nos potenciais osmóticos (valores mais negativos) em relação ao que se observou para a germinabilidade (menos sensível).

LABOURIAU & AGUDO (1987) afirmam que o retardamento do início da germinação, assim como a germinação não-sincronizada, ou seja, as sementes germinando em intervalos de tempo distintos, podem aumentar as chances de que as plântulas de determinada espécie encontrem condições ambientais favoráveis ao pleno desenvolvimento dos indivíduos. Em relação às cultivares de feijoeiro, o índice de sincronização não permitiu que fossem detectadas claras tendências de aumento ou diminuição da sincronização da germinação em função do aumento da temperatura ou potencial osmótico (Figuras 11-34). Em alguns exemplos em que houve germinação mais sincronizada em potenciais mais negativos (-1,0MPa) (Figuras 12-C e 14-C), tais ocorrências podem, meramente, ser um resultado direto do fato de que poucas sementes germinaram, mas no mesmo intervalo tempo, não significando que potenciais osmóticos próximos de -1,0MPa sejam favoráveis à produtividade do feijoeiro.

O decréscimo das taxas de germinação, na faixa supraótima, observado nas quatro cultivares de feijoeiro (Figuras 7-10), segue a tendência esperada e já descrita para cereais como o sorgo, por exemplo (KASALU et al., 1993), algumas leguminosas (COVELL et al., 1986) e gramíneas (GARCIA-HUIDOBRO et al., 1982).

MACHADO NETO et al. (2006) constataram uma diminuição da germinabilidade das sementes, acompanhando uma diminuição do potencial osmótico (valores mais negativos). No presente estudo, as quatro cultivares apresentaram reduções na germinabilidade em potenciais osmóticos mais distantes do controle (água destilada), contrastando com a velocidade média de germinação, que, de forma geral, já em potenciais próximos do controle, reduziu-se significativamente em todas as temperaturas consideradas para as quatro cultivares.

O fato de ser utilizada a cultivar Carioca neste estudo também é bastante interessante, já que esta, atualmente, é o tipo cultivado mais consumido no Brasil, tendo grande importância socioeconômica (BORÉM & CARNEIRO, 2006), sendo comuns estudos detalhados de campo ressaltando a produtividade e o rendimento desta cultivar (LEMOS et al., 2004).

Experimentos em gradiente térmico, utilizando-se intervalos entre temperaturas relativamente pequenos, ou seja, obtendo-se mais temperaturas com valores mais próximos entre si, como no presente estudo, em geral, tendem a ser mais precisos do que quando se consideram intervalos mais amplos e, conseqüentemente, analisam-se menos temperaturas. HARDEGREE & VAN VACTOR (1999), trabalhando com quatro espécies de gramíneas, concluíram que o intervalo de temperaturas de 5°C por eles utilizados, foi insuficiente para descrever a resposta germinativa de tais espécies em água destilada em função da temperatura. Dessa forma, a quantidade de temperaturas utilizadas neste trabalho foi considerada satisfatória e efetiva para a descrição da resposta germinativa das cultivares de feijoeiro em função da temperatura.

As cultivares Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru são referidas como tendo boa ou moderada tolerância ao déficit hídrico em experimentos de campo (IAPAR, 2009). Entretanto, a cultivar IPR Uirapuru, juntamente com a cultivar IPR Graúna, foram as únicas que não germinaram no potencial de -1,0MPa já a partir da temperatura de 20°C. E tal fato pode auxiliar na descrição mais precisa destas cultivares em relação à tolerância a altas temperaturas e ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, N.R.; DIERIG, D.A.; COFFELT, T.A.; WINTERMEYER, M.J.; MACKEY, B.E.; WALL, G.W. Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. **Industrial Crops and Products**, v.25, p.24-33, 2007.

ADAMS, R. Germination of *Callitris* seeds in relation to temperature, water stress, priming and hydration-dehydration cycles. **Journal of Arid Environments**, v.43, p.437-448, 1999.

ALVARADO, V.; BRADFORD, K.J. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.1061-1069, 2002.

BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. **Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination**. London: Academic Press, 1998, 666p.

BENECH-ARNOLD, R.L.; SÁNCHEZ, R.A.; FORCELLA, F.; KRUK, B.C.; GHERSA, C.M. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field Crops Research**, v.67, p.105-122, 2000.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination - 2nd ed.** New York: Plenum Press, 1994, 445p.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA Jr., T.J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: Editora UFV, 2006. Cap.1, p.13-18. 2.ed.

BRADFORD, K.J.; HAIGH, A.M. Relationship between accumulated hydrothermal time during seed priming and subsequent seed germination rates. **Seed Science Research**, v.4, p.63-69, 1994.

BRADFORD, K.J.; SOMASCO, O.A. Water relations of lettuce seed thermoinhibition. I. Priming and endosperm effects on base water potential. **Seed Science Research**, v.4, p.1-10, 1994.

CARVALHO, J.R.P. Uso da probabilidade do erro tipo II na determinação do número de repetições nos delineamentos experimentais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.1, p.69-75, 1981.

CASTRO, R.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. (orgs.) **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. Cap. 9, p.149-162.

CHENG, Z.; BRADFORD, K.J. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.89-99, 1999.

COVELL, S.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soyabean and cowpea at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**, v.37, n.178, p.705-715, 1986.

DAHAL, P.; BRADFORD, K.J. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. **Seed Science Research**, v.4, p.71-80, 1994.

FERREIRA, A.G. Interferência: competição e alelopatia. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. Cap. 16, p.251-262.

FYFIELD, T.P.; GREGORY, P.J. Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. **Journal of Experimental Botany**, v.40, n.215, p.667-674, 1989.

GARCIA-HUIDOBRO, J.; MONTEITH, J.L.; SQUIRE, G.R. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides*). **Journal of Experimental Botany**, v.33, n.133, 288-296, 1982.

GUMMERSON, R.J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany**, v.37, n.179, p.729-741, 1986.

HARDEGREE, S.P.; VAN VACTOR, S.S. Predicting germination response of four cool-season range grasses to field-variable temperatures regimes. **Environmental and Experimental Botany**, v.41, p.209-217, 1999.

HARDEGREE, S.P.; FLERCHINGER, G.N.; VAN VACTOR, S.S. Hydrothermal germination responses and the development of probabilistic germination profiles. **Ecological Modelling**, v.167, p.305-322, 2003.

HSIAO, T.C. Measurements of plant water status. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Eds.) **Irrigation of agricultural crops**. New York: American Society of Agronomy, 1990, cap.9, p.244-280.

HUCL, P. Effects of temperature and moisture stress on the germination of diverse common bean genotypes. **Can. J. Plant Sci.**, v.73, p.697-702, 1993.

HUMARA, J.M.; CASARES, A.; MAJADA, J. Effect of seed size and growing media water availability on early seedling growth in *Eucalyptus globulus*, **For. Ecol. Manage.**, v.167, p.1-11, 2002.

IAPAR. **Características das cultivares de feijão com sementes no mercado**. Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina. Capturado em 07/01/2009. *On-line*. Disponível na Internet: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=67>

KASALU, H.; MASON, S.C.; EJETA, G. Effects of temperature on germination and seedling emergence of grain sorghum genotypes. **Trop. Agric.**, v.70, n.4, 1993.

KEBREAB, E.; MURDOCH, A.J. Modelling the effects of water stress and temperature on germination rate of *Orobanche aegyptiaca* seeds. **Journal of Experimental Botany**, v.50, n.334, p.655-664, 1999.

KOLASINSKA, K.; SZYRMCR, J.; DUL, S. Relationship between laboratory seed quality tests and field emergence of common bean seed. **Crop Sci.**, v.40, p.470-475, 2000.

LABOURIAU, L.G. Effects of deuterium oxide on the lower temperature limits of seed germination. **Journal of Thermal Biology**, v. 5, p.113-117, 1980.

LABOURIAU, L.G. **A germinação de sementes**. Washington D.C.: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 175p.

LABOURIAU, L.G.; OSBORN, J.H. Temperature dependence of the germination of tomato seeds. **Journal of Thermal Biology**, v.9, p.285-294, 1984.

LABOURIAU, L.G.; AGUDO, M. On the physiology of seed germination in *Salvia hispanica* L. I. Temperature effects. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v.59, n.1, p.37-56, 1987.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RIMA, São Carlos-SP, 2000, 531p.

LEMONS, L.B.; OLIVEIRA, R.S.; PALOMINO, E.C.; SILVA, T.R.B. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.4, p.319-326, 2004.

LIMA, A.M.M.P.; CARMONA, R. Influência do tamanho da semente no desempenho produtivo da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.1, p.157-163, 1999.

LOPES, V.B.; TAKAKI, M. Seed germination in *Phaseolus vulgaris* L. II. Effect of water potential and photoperiod. **Arquivos de Biologia & Tecnologia**, Maringá, v.31, p.307-312, 1988.

MACHADO NETO, N.B.; CUSTÓDIO, C.C.; COSTA, P.R.; DONÁ, F.L. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.142-148, 2006.

MACHADO NETO, N.B.; PRIOLI, M.R.; GATTI, A.B.; CARDOSO, V.J.M. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Acta Sci. Agron.**, v.20, n.2, p.155-164, 2006b.

MARSHALL, B.; SQUIRE, G.R. Non-linearity in rate-temperature relations of germination in oil-seed rape. **Journal of Experimental Botany**, v.47, n.302, p.1369-1375, 1996.

MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The Germination of Seeds** – 4th ed. Oxford: Pergamon Press, 1989, 270p.

MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1995, 629p.

MORAES, C.R.A.; MODOLO, V.A.; CASTRO, P.R.C. Fisiologia da germinação e dominância apical. In: CASTRO, P.R.C.; SENA, J.O.A.; KLUGE, R.A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. Maringá: Eduem, 2002. Cap. X, p.159-178.

NIEDZWIEDZ-SIEGEN, I.; ST-LEWAK, N. Phytoinhibition of germination of white clover seeds at low temperature. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.76, p.53-56, 1989.

NYACHIRO, J.M.; CLARKE, F.R.; De PAUW; R.M.; KNOX, R.E.; ARMSTRONG, K.C. Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat. **Euphytica**, v.126, p.123-127, 2002.

OTUBO, S.T.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, v.89, p.313-317, 1996.

PEÑA-VALDIVIA, C.B.; GARCIA, N.R.; AGUIRRE, J.R.R.; TREJO, C. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Seed Sci. & Technol.**, v.30, p.231-248, 2002.

PEREZ, S.C.J.G.A.; FANTI, S.C.; CASALI, C.A. Influência da luz na germinação de sementes de canafistula submetidas ao estresse hídrico. **Bragantia**, v.60, n.3, p.155-166, 2001.

PERIN, A.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Efeito do tamanho da semente na acumulação de biomassa e nutrientes e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p.1711-1718, 2002.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A.J.C. Estabelecimento de parâmetros para a avaliação de tolerância à seca em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.31-39, 2000.

POLLOCK, B.M.; TOOLE, V.K. Imbibition period as the critical temperature sensitive stage in germination of lima bean seeds. **Plant Physiology**, v.41, p.221-229, 1966.

RANAL, M.A.; SANTANA, D.G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, n.1, p.1-11, 2006.

RAVA, C.A.; SARTORATO, A. Conceitos básicos sobre doenças de plantas. In: SARTORATO, A.; RAVA, C.A. **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. Cap. 1, p.7-16.

RIBEIRO, R.V.; SANTOS, MG.; SOUZA, G.M.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; ANGELOCCI, L.R.; PIMENTEL, C. Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.615-623, 2004.

ROSALES-SERRA, R.; SHIBATA, J.K.; GALLEGOS, J.A.A.; LÓPEZ, C.T.; CERECERES, J.O.; KELLY, J.D. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. **Field Crops Res.**, v.85, p.203-211, 2004.

ROWSE, H.R.; McKEE, J.M.T.; HIGGS, E.C. A model of the effects of water stress on seed advancement and germination. **New Phytol.**, v.143, p.273-279, 1999.

SANTANA, D.G.; RANAL, M.A. **Análise da germinação – um enfoque estatístico**. Brasília: Editora UNB, 2004, 248p.

SANTOS, V.L.M.; CALIL, A.C.; RUIZ, H.A.; ALVARENGA, E.M.; SANTOS, C.M. Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.2, p.189-194, 1992.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.110-119, 2004.

SANTOS; M.G.; RIBEIRO, R.V.; OLIVEIRA, R.F.; PIMENTEL, C. Gas exchange and yield response to foliar phosphorus application in *Phaseolus vulgaris* L. under drought. **Braz. J. Plant Physiol.**, v.16, n.3, p.171-179, 2004b.

SCAPPA NETTO, A.; BITTENCOURT, S.R.M.; VIEIRA, R.D.; VOLPE, C.A. Efeito do teor inicial de água de sementes de feijão e da câmara no teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v.58, n.4, p.747-751, 2001.

SIEGEL, S.; CASTELLAN Jr., N.J. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. New York: McGraw-Hill Inc, 1988. 399p. 2.ed.

SILVA, M.A.D.; SILVA, W.R. Comportamento de fungos e de sementes de feijoeiro durante o teste de envelhecimento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.3, p.599-608, 2000.

SILVA, J.C.; HELDWEIN, A.B.; MARTINS, F.B.; STRECK, N.A.; GUSE, F.I. Risco de estresse térmico para o feijoeiro em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.643-648, 2007.

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial population of common bean. **Crop Science**, Madison, v.35, p.118-124, 1995.

SOCOŁOWSKI, F.; TAKAKI, M. Germination of *Jacaranda mimosifolia* (D. Don – Bignoniaceae) seeds: effects of light, temperature and water stress. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n.5, p.785-792, 2004.

STEFANELLO, R.; GARCIA, D.C.; MENEZES, N.L.; MUNIZ, M.F.B.; WRASSE, C.F. Efeito da luz, temperatura e estresse hídrico no potencial fisiológico de sementes de funcho. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.2, p.135-141, 2006.

STEINMAUS, S.J.; PRATHER, T.S.; HOLT, J.S. Estimation of base temperatures for nine weed species. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n.343, p.275-286, 2000.

VAUGHTON, G.; RAMSEY, M. Sources and consequences of seed size variation in *Banksia marginata* (Proteaceae). **J. Ecol.**, v.86, p.563-573, 1998.

VILLELA, F.A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E.L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11-12, 1991.

WANG, R.; BAI, Y.; TANINO, K. Germination of winterfat (*Eurotia lanata* (Pursh) Moq.) seeds at reduced water potentials: testing assumptions of hydrothermal time models. **Environmental and Experimental Botany**, v.53, p.49-63, 2005.

WHITE, J.W.; CONSUELO MONTES, R. The influence of temperature on seed germination in cultivars of common bean. **Journal of Experimental Botany**, v.44, n.269, p.1.797-1.800, 1993.

ZAITER, H.; BAYDOUN, E.; SAYYED-HALLAK, M. Genotypic variation in the germination of common bean in response to cold temperature stress. **Plant and Soil**, v.163, p.95-101, 1994.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1999, 938p.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E.U.; BARREIRO, A.P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.9-15, 2006.

CAPÍTULO 2

MODELAGEM DA GERMINAÇÃO DE *Phaseolus vulgaris* L. (FABACEAE) BASEANDO-SE NO CONCEITO DE GRAUS-DIA

RESUMO

O conceito de graus-dia implica a existência de uma temperatura base, abaixo da qual os processos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas são paralisados e, se ocorrerem, serão em níveis que podem ser extremamente reduzidos. Os modelos conhecidos como graus-dia (*thermal time*) e psi-dia (*hydrotime*) são ferramentas que permitem, a partir de experimentos relativamente simples, em condições controladas de temperatura e potencial osmótico, estimar o tempo necessário para a germinação de sementes. Combinações desses modelos, como o modelo psi-graus-dia (*hydrothermal time*), podem descrever com razoável precisão as curvas de germinação em qualquer combinação de temperatura e potencial osmótico. No presente trabalho, objetivou-se comparar o padrão de resposta germinativa de quatro cultivares de feijoeiro (Carioca comum, Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru) à temperatura e ao potencial osmótico, através do cálculo de parâmetros associados aos modelos de graus-dia, psi-dia e psi-graus-dia. Os ajustes dos dados ao modelo de graus-dia na faixa infraótima exibiram coeficientes de determinação satisfatórios e, na faixa supraótima, a cultivar Iapar 81 apresentou uma resposta germinativa relativamente distinta das outras três. De maneira geral, as quatro cultivares apresentaram respostas relativamente similares na faixa supraótima, utilizando-se o modelo psi-graus-dia; contrastando, de certa forma, com a resposta exibida por tais cultivares na faixa supraótima, ao se aplicar o modelo de graus-dia. Ainda que mais estudos sejam necessários para melhorar a qualidade dos ajustes obtidos em relação às cultivares de feijoeiro, estas puderam ser comparadas e, de maneira geral, exibiram resposta germinativa relativamente homogênea em função da temperatura e do potencial osmótico.

Palavras-chave: Graus-dia. Germinação. Feijoeiro. Modelagem matemática.

ABSTRACT

The concept of degree-days (thermal time) implies the existence of a base temperature, and below such a temperature the developmental processes of plants may be paralysed or hindered. Thermal time and hydrottime models permit the estimation of the time that is required by the seeds to germinate at any temperature or osmotic potential. Combinations of such models, as the hydrothermal time model, are able to feasibly describe germination curves at any combination of temperature and osmotic potential. The present work was aimed at comparing the germination response of four common bean cultivars (“Carioca comum”, “Iapar 81”, “IPR Graúna” and “IPR Uirapuru”) to temperature and osmotic potential by means of the estimation of parameters that are related to thermal time, hydrottime and hydrothermal time models. The data were fitted to the models at suboptimum temperatures, and in such a case de coefficients of determination were deemed to be reasonable and, in relation to the supra-optimum range, the cultivar “Iapar 81” exhibited a germination response that was distinct from the other three cultivars. On the whole, all the cultivars exhibited a germination response which was relatively similar, considering the supra-optimum range and using the hydrothermal time model; contrasting, to a certain extent, with the response observed in the supra-optimum range by means of the application of the thermaltime model. Further studies should be conducted with the aim of improving the quality of the adjustment derived from the present work. Nonetheless, the cultivars were able to be compared and contrasted, exhibiting a relatively homogenous pattern of germination in relation to temperature and osmotic potential.

Key-words: Degree-days. Germination. Common bean. Mathematical modelling.

INTRODUÇÃO

Durante a germinação de sementes, freqüentemente, uma série de acontecimentos metabólicos e morfogenéticos ocorrem visando à transformação do embrião em plântula (LABOURIAU, 1983). Em tais acontecimentos, processos seqüenciados e sincronizados estão envolvidos, de tal maneira que as reações catabólicas e anabólicas usualmente ocorrem de maneira simultânea. Primeiramente, a germinação é um processo controlado por uma interação de sinais ambientais e endógenos, a partir dos quais ocorrem alterações do estado fisiológico da semente que resultam na retomada do desenvolvimento do embrião (COLL et al., 1992; MORAES et al., 2002).

Os processos germinativos podem ser afetados por fatores intrínsecos ou extrínsecos (COLL et al., 1992). Os fatores intrínsecos referem-se ao período em que a semente se mantém viva e são fortemente determinados por suas características genéticas (LARCHER, 2000; MORAES et al., 2002). Entre os fatores extrínsecos destacam-se a água, os gases, a temperatura e a luz (BEWLEY & BLACK, 1994; BASKIN & BASKIN, 1998; MORAES et al., 2002).

A disponibilidade de água, por exemplo, é tida como um fator de extrema importância para o cultivo de diversas plantas de interesse econômico, em especial nas regiões tropicais, pois a água está envolvida, direta ou indiretamente, em todos os processos metabólicos da planta (MORAES et al., 2002). Em referência ao fator temperatura, este influencia diretamente a velocidade de absorção de água pelas sementes. Além disso, grande parte de todas as reações bioquímicas que ocorrem durante a germinação são dependentes da temperatura (LABOURIAU, 1983; WUTKE et al., 2000; MORAES et al., 2002).

Diversas culturas, para completarem cada estágio ou subperíodo de seus ciclos de vida, requerem o acúmulo de certa quantidade de calor, usualmente expressa pelo índice graus-dia, que representa a soma térmica acima da temperatura mínima ou base para o desenvolvimento da espécie. O conceito de graus-dia assume que existe certa temperatura base (T_b), abaixo da qual o crescimento e o desenvolvimento da planta são interrompidos ou fortemente reduzidos. Além disso, em tal conceito é presumida a existência de uma relação linear entre temperatura e desenvolvimento vegetal, desde que não existam limitações de outros fatores. Em vez de se utilizar apenas o número de dias, os graus-dias (soma térmica) vêm sendo empregados para caracterizar o ciclo de vida das plantas. A soma de graus-dias é assumida como constante e

independente do local ou da época de semeadura (BRUNINI et al., 1976; WUTKE et al., 2000; CARGNELUTTI FILHO et al., 2005).

Existem vários métodos para a estimativa da temperatura mínima necessária ao desenvolvimento vegetal, sendo este parâmetro muito importante no processo de otimização da produção e redução das perdas em função de fatores climáticos adversos. Contudo, são escassos os estudos dessa natureza realizados especificamente para o feijoeiro nas condições climáticas brasileiras (WUTKE et al., 2000).

A resposta da semente à variação da temperatura pode ser caracterizada por suas temperaturas cardeais. Assumindo-se que na faixa térmica subótima (entre as temperaturas mínima e ótima) a germinação aumenta linearmente em função da temperatura (LABOURIAU, 1970; LABOURIAU & OSBORN, 1984), o modelo de graus-dia propõe que o tempo para a germinação de certa fração percentual de uma população de sementes é inversamente proporcional à diferença entre a temperatura real ou medida (T) e a temperatura base (T_b) requerida para a germinação. De acordo com esse modelo, T_b é praticamente constante na população (GARCIA-HUIDOBRO et al., 1982; BRADFORD, 2004).

Por outro lado, em temperaturas supraótimas (faixa térmica entre a temperatura ótima e a máxima), em que a germinação normalmente decresce com o aumento da temperatura, admite-se que o parâmetro variável é a temperatura máxima (T_m), ao passo que a quantidade de graus-dias permanece constante para todas as sementes (BRADFORD, 2004).

A variação na distribuição dos tempos de germinação, que produz a característica sigmóide das curvas de germinação (porcentagem de germinação *versus* tempo), pode ser causada por diferenças intrínsecas de cada semente quanto à T_b e/ou quantidade de graus-dias exigida (GUMMERSON, 1986). Portanto, tais parâmetros endógenos podem determinar a distribuição dos períodos de germinação de cada semente em relação à temperatura. Como reportaram GARCIA-HUIDOBRO et al. (1982), a temperatura pode adiantar ou atrasar a germinação; sem, contudo, alterar de maneira significativa a ordem da distribuição dos períodos de germinação. Assim, uma subpopulação de sementes rápidas (que apresentam maior velocidade de germinação) sempre tenderá a germinar antes de uma subpopulação de sementes lentas ou menos rápidas, independentemente da temperatura. A influência da temperatura apenas tornaria a distribuição de freqüências de germinação das sementes mais sincronizada ou mais espalhada ao longo do tempo.

O processo de absorção de água é normalmente apontado como a primeira etapa da germinação, sendo influenciado primariamente por fatores intrínsecos à semente, ou seja, sua composição química e a permeabilidade de seus envoltórios à água, e por fatores externos que determinam o potencial osmótico do meio (ψ). A embebição ocorre por diferença de potencial da água entre a semente e o meio em que ela está (MAYER & POLJAKOFF-MAYBER, 1989), tratando-se de um processo físico relacionado às propriedades coloidais do material embebido. De modo análogo ao conceito de graus-dia, o modelo psi-dia (*hydrotime*), da maneira como é descrito por GUMMERSON (1986), é caracterizado pelos parâmetros θ_H , que é a quantidade acumulada de psi-dia para a germinação de todas as sementes; ψ , correspondente ao potencial osmótico real ou medido; e $\psi_b(g)$, que é o potencial limítrofe capaz de inibir totalmente a germinação de uma fração de sementes (g).

Esse modelo pressupõe que θ_H seja constante e a diferença entre o ψ do meio e ψ_b seja inversamente proporcional ao tempo necessário para a germinação (BRADFORD, 2004). Em razão dessa relação inversa, os tempos para a germinação das frações com valores mais positivos de $\psi_b(g)$ serão mais afetados pela redução do potencial do meio do que frações com valores mais negativos de $\psi_b(g)$. Portanto, de maneira similar aos graus-dias, o acúmulo de psi-dias é mais lento quanto mais o ψ do meio for próximo do valor de ψ_b , resultando em menor germinabilidade e numa distribuição mais assimétrica – com desvio para a direita – dos tempos de germinação.

A variação de $\psi_b(g)$ apresenta, em geral, uma distribuição normal, representada por uma mediana igual a $\psi_{b50\%}$ e respectivo desvio padrão (GUMMERSON, 1986). Se o valor de θ_H (constante *hydrotime*) for constante para um lote de sementes, a variação no tempo de germinação entre as diferentes porcentagens de germinação estará em proporção inversa em relação à diferença entre o potencial osmótico da semente e o potencial mínimo para a ocorrência de germinação (BRADFORD, 1990).

Conforme a temperatura aumenta além de um valor ótimo, diferentes frações da população de sementes terão diferentes valores de temperatura máxima, ou temperaturas em que o potencial osmótico base ($\psi_b(g)$) de uma fração particular de sementes é igual a 0MPa. Tal fato explica a frequência com que se observam valores de velocidade de germinação diminuindo conforme a temperatura do ambiente excede a temperatura ótima de germinação (ELLIS et al., 1986; ALVARADO & BRADFORD, 2002). Para o processo de germinação o efeito de

incrementos nos valores de temperatura, na faixa supraótima, é equivalente ao efeito de uma redução no potencial osmótico (ALVARADO & BRADFORD, 2002).

A abordagem da dependência do potencial osmótico da germinação baseada no modelo de psi-dia apresenta, segundo BRADFORD (2004), diversas vantagens. Por exemplo, baseia-se mais na sincronização das germinações do que na porcentagem final de germinação, determinada em ensaios de germinação relativamente curtos, em diferentes potenciais osmóticos. Além disso, requer apenas três parâmetros (mediana e desvio padrão de $\psi_b(g)$, e θ_H), que definem a variação na sensibilidade da semente em relação a alterações no ψ e na quantidade de psi-dias necessárias para a germinação. Uma vez determinados tais parâmetros, curvas de germinação em diferentes potenciais osmóticos podem ser geradas, variando-se o valor de ψ no modelo.

Outra vantagem do modelo psi-dia é que as curvas de germinação em vários potenciais de água podem ser normalizadas em relação ao potencial osmótico da água destilada ($\psi = 0$). Do mesmo modo, o modelo de graus-dia permite que as curvas de germinação em diferentes temperaturas possam ser representadas por uma escala comum, permitindo uma análise comparativa do processo biológico (BRADFORD, 2002). Entretanto, é preciso testar o comportamento dos vários parâmetros do modelo em diferentes condições ambientais, verificando se tais parâmetros podem discriminar diferentes populações de sementes quanto à sensibilidade destas a flutuações dos fatores ambientais.

GUMMERSON (1986) propôs a combinação dos fatores T e ψ num único modelo (psi-graus-dia ou *hydrothermal time*), definido como $\theta_{HT} = (T - T_b)[\psi - \psi_b(g)]t_g$. Nesta equação, θ_{HT} representa a constante psi-graus-dia, considerando-se T_b constante. As variações nos tempos de germinação de diferentes frações de sementes são atribuídas à distribuição do parâmetro $\psi_b(g)$. Esse modelo assume que T_b é independente de ψ , e que $\psi_b(g)$ é independente de T, o que nem sempre ocorre (BRADFORD, 1995), já que experimentos realizados com algumas espécies parecem indicar que T_b e ψ_b podem não ser necessariamente independentes (WELBAUM & BRADFORD, 1991). Por outro lado, essa equação é, em muitos casos, adequada para descrever curvas de germinação em qualquer combinação de temperaturas subótimas e potenciais osmóticos (DAHAL & BRADFORD, 1994; BRADFORD, 2004).

Considerando-se que tais modelos vêm sendo elaborados e testados, na maior parte dos casos, com espécies de regiões temperadas e tendo-se em vista o fato de que há poucos trabalhos

sobre modelagem de germinação em espécies que ocorrem no Brasil, o objetivo deste trabalho é testar para quatro cultivares de *Phaseolus vulgaris*, modelos baseados no conceito de graus-dia e psi-dia, verificando-se sua adequação em descrever a resposta germinativa das sementes desta espécie em condições variáveis de temperatura (das faixas subótima e supraótima) e potencial osmótico. Deu-se ênfase, principalmente, à comparação das respostas das diferentes cultivares (Carioca comum, Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru) mediante o uso do modelo psi-graus-dia (*hydrothermal time*), em que os conceitos de graus-dia e psi-dia são combinados.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção dos dados

Foram realizados testes preliminares para descrever as características das cultivares Carioca comum, Iapar 81, IPR Graúna e IPR Uirapuru. Os experimentos em gradiente térmico permitiram a determinação das faixas subótima, ótima e supraótima para cada cultivar e, posteriormente, foram conduzidos ensaios em que os tratamentos constituíam combinações dos fatores temperatura e potencial osmótico (ver detalhamento no capítulo 1, em que são apresentadas descrições de todos os dados utilizados neste trabalho). No presente estudo, os potenciais osmóticos variaram de 0MPa (controle com água destilada) a -1,1MPa e seis temperaturas (15, 20, 25, 32, 35 e 37,5°C) foram utilizadas nos ensaios em que houve a combinação dos fatores potencial osmótico e temperatura.

Velocidade de germinação

As velocidades foram estimadas a partir das curvas de germinação (porcentagem de germinação acumulada *versus* tempo), ajustadas segundo o modelo de Weibull (DUMUR et al., 1990):

$$y = M[1 - \exp(-k(t - z)^c)] \quad (\text{equação 1})$$

em que: y = germinação acumulada no tempo t ; M = germinação máxima observada; k = velocidade de germinação; z = tempo para o início da germinação; e c = parâmetro de distribuição da germinação.

A partir desta equação foram obtidos os tempos ($t_{g\%}$) para a germinação das frações 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90%. As velocidades de germinação (v) foram

definidas como a recíproca dos tempos estimados para a germinação de cada uma das frações estipuladas ($1/t_{g\%}$) (GARCIA-HUIDOBRO et al., 1982).

Cálculo dos graus-dias

Os dados obtidos pelo experimento em gradiente térmico (capítulo 1) foram modelados segundo os conceitos desenvolvidos por GARCIA-HUIDOBRO et al. (1982), calculando-se os valores de graus-dia (ou graus-hora, como no presente estudo) para temperaturas na faixa subótima, de acordo com a equação:

$$\theta_{t(g)} = (T - T_b)t_g \quad \therefore 1/t_g = (T - T_b) / \theta_{t(g)} \quad (\text{equação 2}) \quad (\text{ALVARADO \& BRADFORD, 2002})$$

em que: $\theta_{t(g)}$ = quantidade de graus-dia ou graus-hora necessária para que a germinação de uma dada fração seja completada; T = temperatura infraótima medida; T_b = temperatura base; e t_g = tempo para conclusão da germinação de uma fração g .

Também foram calculados os valores de graus-dia para temperaturas na faixa supraótima, de acordo com a equação:

$$\theta_T = (T_{m(g)} - T)t_g \quad \therefore 1/t_g = (T_{m(g)} - T) / \theta_T \quad (\text{equação 3}) \quad (\text{ALVARADO \& BRADFORD, 2002})$$

em que: θ_T = constante de graus-dia ou graus-hora para a faixa supraótima; $T_{m(g)}$ = temperatura máxima para a germinação de uma porcentagem g . T : temperatura supraótima medida.

As estimativas de T_b foram baseadas no método discutido em COVELL et al. (1986). A partir da equação 2, iterativamente foi escolhido o valor de T_b que produziu o melhor ajuste (maior coeficiente de determinação: R^2) à reta gerada pela variação dos valores dos próbites das proporções acumuladas de germinação em função do logaritmo dos graus-hora (y =próbite $g\%/100$ e x =log graus-hora). Para sucessivos incrementos de germinação (5% até 90%), foram ajustadas regressões lineares da velocidade ($1/t_g$, equação 1) em função da temperatura. Em seguida, cada uma das retas foi forçada (extrapolada) para uma série de valores de T_b , sendo verificado se o valor obtido pelo método iterativo (graus-dia) era condizente com o obtido pela extrapolação da reta de regressão (Weibull).

Cálculo dos psi-dias

O modelo psi-dia descreve a relação entre o potencial osmótico e a velocidade de germinação de uma maneira análoga ao modelo de graus-dia, de acordo com a equação:

$$\theta_H = (\psi - \psi_{b(g)})t_g \quad \therefore 1/t_g = (\psi - \psi_{b(g)}) / \theta_H \quad (\text{equação 4})$$

em que: ψ = potencial osmótico real; $\psi_{b(g)}$ = potencial limite ou base que impede a germinação de uma fração percentual g ; e θ_H = constante psi-dia (ALVARADO & BRADFORD, 2002).

Para descrever ou representar a distribuição dos potenciais base (ψ_b) em uma população de sementes, GUMMERSON (1986) afirma que a distribuição normal seja o modelo mais adequado, da seguinte forma: $\text{probit}(g) = [(\psi_g - \underline{\psi}_g) / \sigma_{\psi g}] + 5$ (equação 5)

em que: $\text{probit}(g)$ = transformação probítica das germinabilidades; $\underline{\psi}_g$ = potencial base médio; e $\sigma_{\psi g}$ = desvio padrão dos valores de potencial base.

Os modelos de graus-dia e psi-dia podem ser combinados em um único modelo para se descrever padrões de germinação em várias combinações de temperaturas subótimas e potencial osmótico, de acordo com a equação:

$$\theta_{HT} = (\psi - \psi_{b(g)})(T - T_b)t_g \quad (\text{equação 6}),$$

em que: θ_{HT} = constante psi-graus-dia (BRADFORD, 1995).

Para que as temperaturas da faixa supraótima possam ser incluídas no modelo psi-graus-dia, ALVARADO & BRADFORD (2002) propuseram a equação: $\psi_{b(g)T > T_o} = \psi_{b(g)T_o} + kt(T - T_o)$; sendo que, para fins de cálculo, esta pode adequadamente ser representada ou reformulada para:

$$\text{probit}(g) = [\psi - kt(T - T_o) - (\theta_H / t_g) - \psi_{b(50)}] / \sigma_{\psi g} \quad (\text{equação 7}),$$

em que θ_H é a constante psi-dia em determinada temperatura ótima (T_o) estabelecida; e Kt é a inclinação da relação entre os valores de $\psi_{b(g)}$ e temperatura (na faixa supraótima); e $\psi_{b(50)}$ é o potencial osmótico mediano.

RESULTADOS

O modelo de graus-dia para a faixa infraótima (equação 2) possibilitou a determinação das temperaturas-base (T_b) das quatro cultivares com boa precisão. Os R^2 s (coeficientes de determinação) das retas baseadas neste modelo foram considerados satisfatórios, já que todos estiveram acima de 0,70 e não se observaram grandes dispersões de pontos em torno das retas. A cultivar Iapar 81 apresentou a menor T_b (8,4°C) e a cultivar IPR Uirapuru exibiu o maior valor de temperatura base (9,2°C). As quatro retas (Figura 1) são homogêneas; representando, estatisticamente, a mesma taxa de variação ou inclinação ($F=2,08$; $p=0,10$).

Para cada cultivar, a extrapolação das retas obtidas da relação entre velocidade (determinada pelo modelo de Weibull, equação 1) e temperatura, nas diferentes frações de germinação, não convergiram para exatamente a mesma temperatura base (Figura 2). Contudo, as T_b s obtidas pelo modelo de graus-dia (equação 2), estão inseridas no intervalo de variação das T_b s obtidas pelo modelo de Weibull para todas as cultivares.

Em relação à faixa infraótima, o comportamento esperado de germinação (calculado pela equação 2) das quatro cultivares em função da variação nos graus-horas é exibido na Figura 3-A. Para a faixa supraótima (Figura 3-B), tal comportamento esperado é mostrado como uma função da variação nos valores das temperaturas máximas (T_m), calculadas conforme a equação 3.

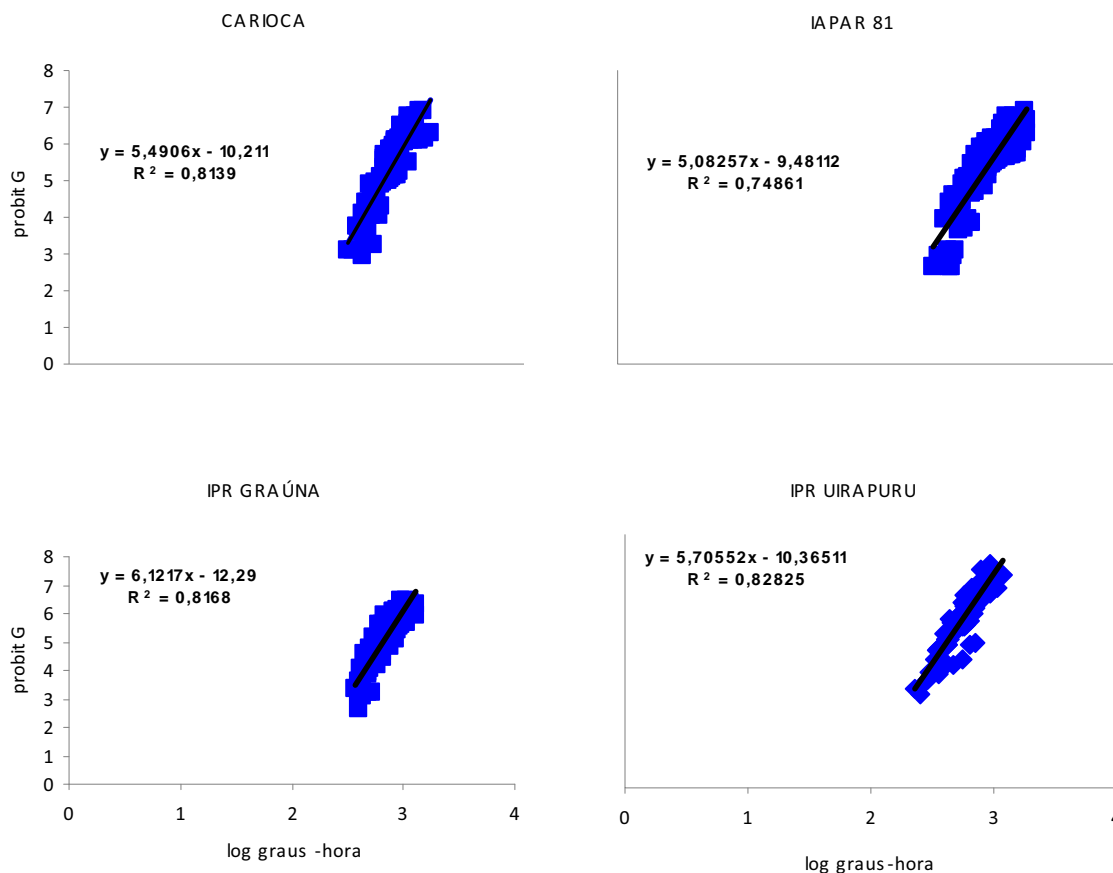


Figura 1 – Relação entre porcentagem acumulada de germinação e os graus-hora para a faixa infraótima em quatro cultivares de *P. vulgaris*. As retas foram baseadas no modelo de graus-dia (equação 2) e, por meio deste, foi determinada a temperatura base (T_b) para cada cultivar, que fornecia o maior R^2 (coeficiente de determinação) e a menor dispersão de pontos em torno das retas. *probit G*: representa a transformação da proporção acumulada de germinação pelo modelo probístico (BOROOAH, 2002). *log graus-hora*: representa o logaritmo dos graus-horas obtidos pela equação 2. As quatro retas são estatisticamente homogêneas ($p=0,10$), representando a mesma taxa de variação. Foi utilizado o teste F para comparações de várias retas (ZAR, 1999). A T_b para cada cultivar é: Carioca (8,9°C); Iapar 81 (8,4°C); IPR Graúna (8,9°C); IPR Uirapuru (9,2°C).

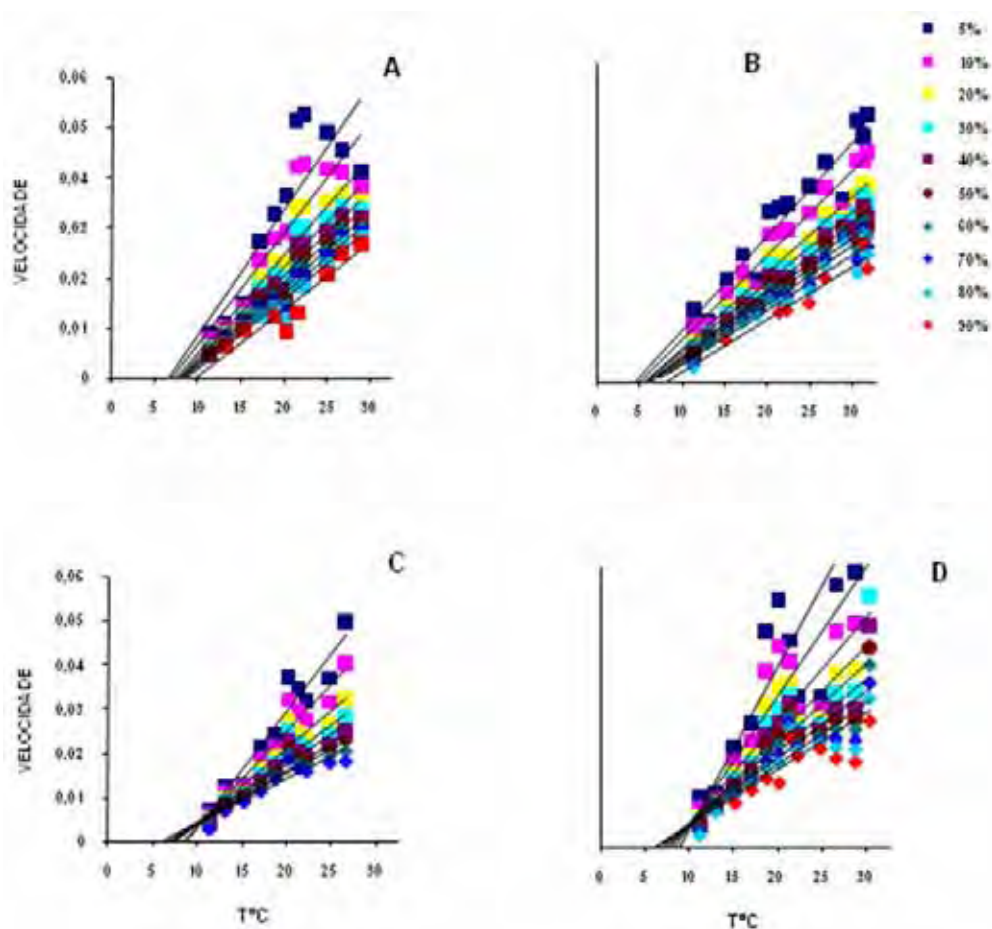


Figura 2 – Velocidades ($1/t$) para cada fração percentual (5% a 90%) de germinação na faixa infraótima de temperatura de quatro cultivares de *P. vulgaris*, estimadas a partir do modelo de Weibull (equação 1). A reta de cada fração de germinação foi extrapolada no intuito de verificar se estas convergiam para uma mesma temperatura base (T_b). Para as frações mais altas (90% por exemplo) não foi possível estimar adequadamente os parâmetros da equação de Weibull. A: cultivar Carioca comum. B: cultivar Iapar 81. C: cultivar IPR Graúna. D: cultivar IPR Uirapuru.

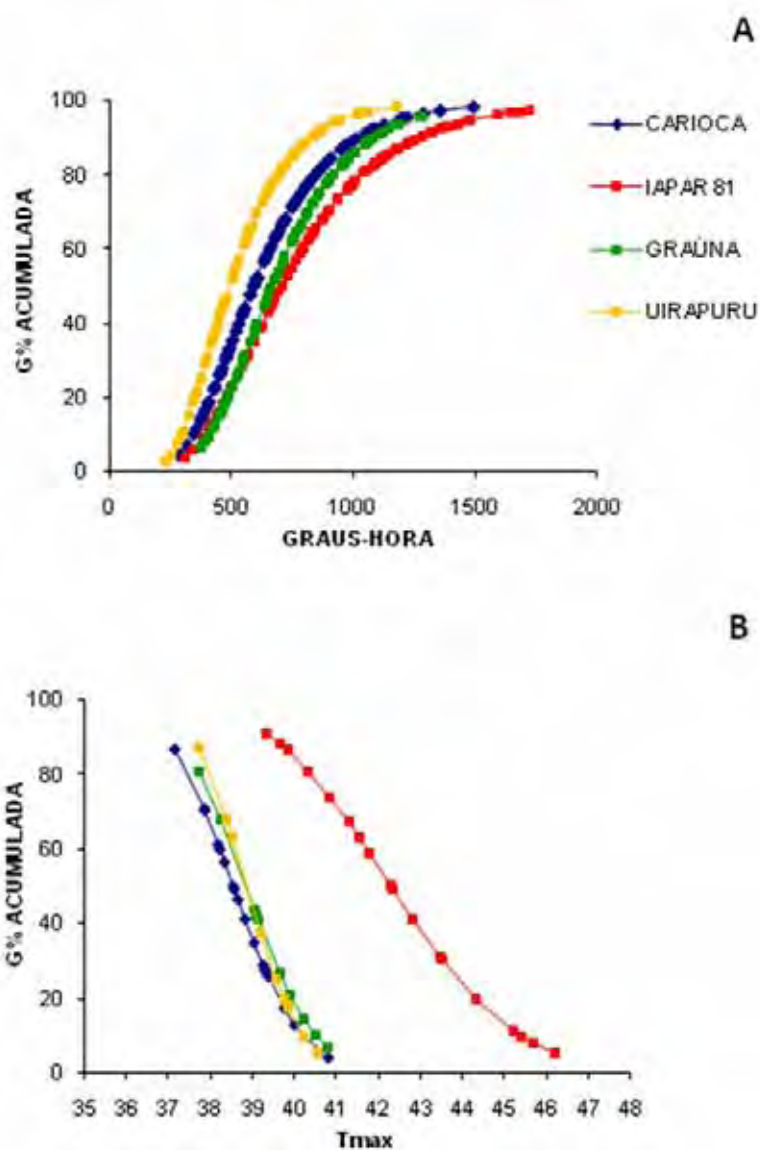


Figura 3- A: porcentagem acumulada de germinação esperada em função da variação nos graus-horas, obtida a partir do modelo de graus-dia (equação 2) para a faixa infraótima. **B:** porcentagem acumulada de germinação esperada em função da variação nos valores de T_{max} (temperatura máxima ou limite), obtidas a partir do modelo de graus-dias para a faixa supraótima (equação 3).

Em relação ao modelo psi-dia, em que o fator potencial osmótico é considerado, foi possível a obtenção dos tempos de germinação acumulados esperados (equação 4) para os diferentes potenciais osmóticos considerados. São apresentadas (Figuras 4-7) as curvas de germinação acumulada em função dos tempos reais e dos estimados para as temperaturas de 15°C (característica da faixa infraótima, ver capítulo 1) e 37,5°C (temperatura mais alta em que os experimentos foram conduzidos).

A partir do modelo psi-dia (equações 4 e 5) foi estimada a variação dos valores do potencial base para diferentes frações de germinação em função de temperaturas supraótimas (Figura 8). As inclinações de tais retas devem ser aproximadamente iguais e correspondem ao valor do parâmetro Kt , utilizado no modelo psi-graus-dia (equação 7).

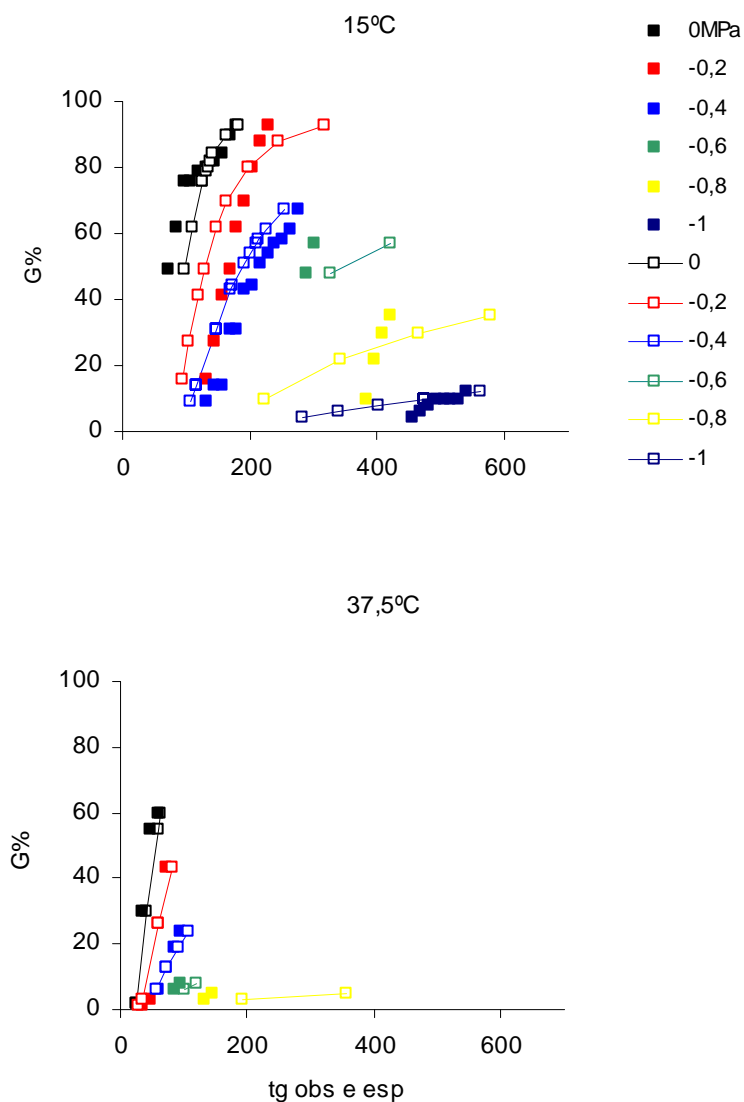


Figura 4 – Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar Carioca comum em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*, equações 4 e 5) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). G%: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios).

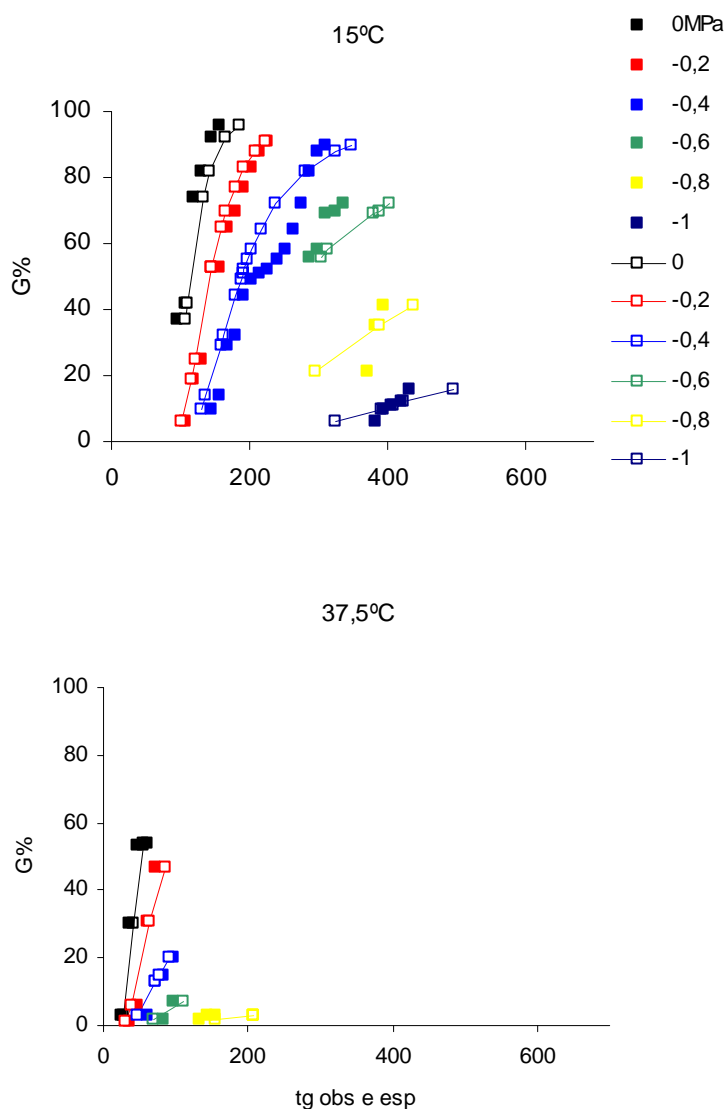


Figura 5 – Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar Iapar 81 em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*, equações 4 e 5) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios).

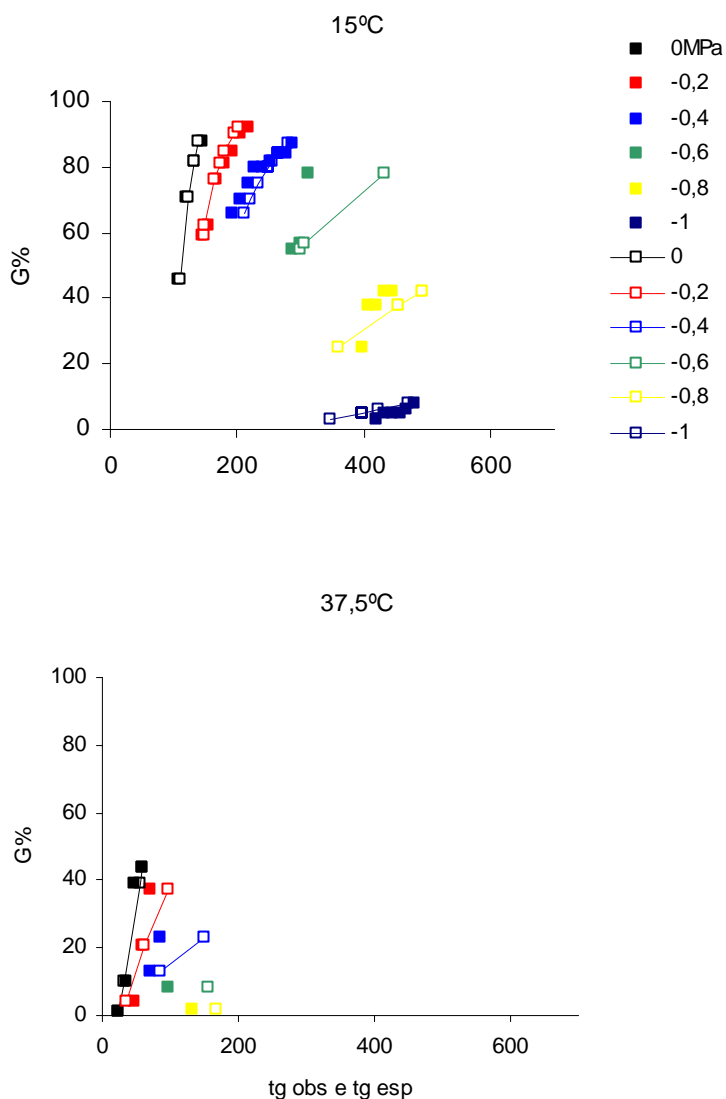


Figura 6 – Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar IPR Graúna em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*, equações 4 e 5) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios).

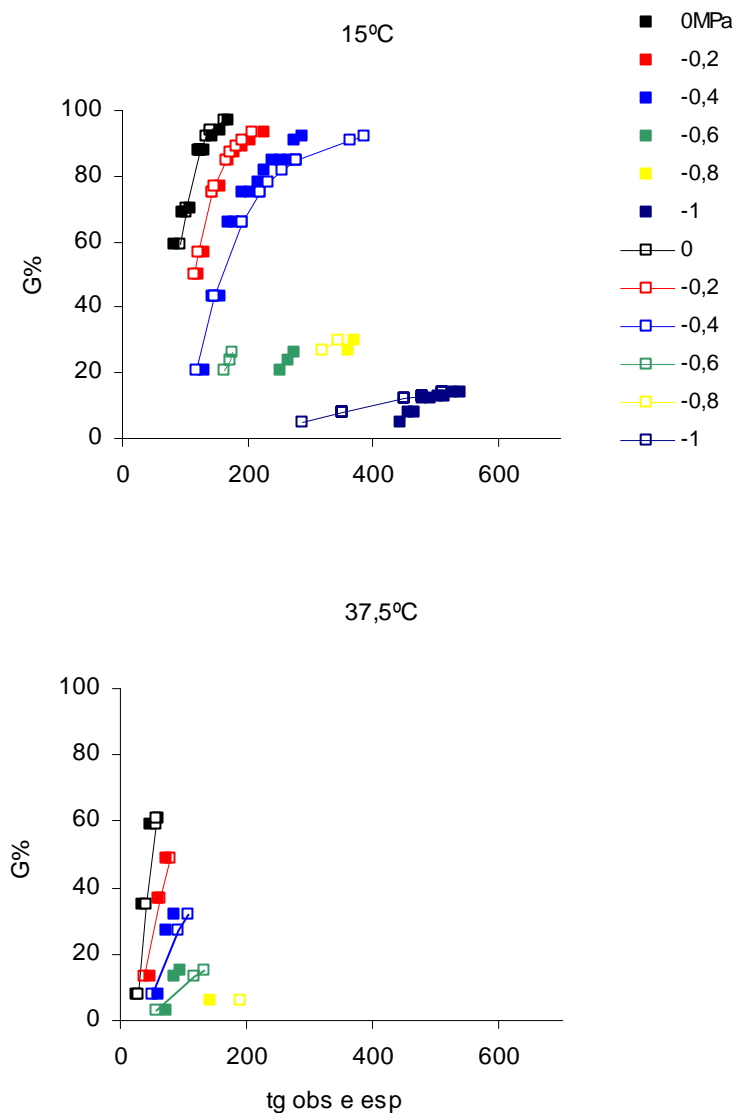


Figura 7 – Porcentagem acumulada de germinação para a cultivar IPR Uirapuru em diferentes potenciais osmóticos (0 a -1,0MPa) em função dos tempos (em horas) de germinação observados (reais) e dos previstos pelo modelo psi-dia (*hydrotime*, equações 4 e 5) em duas temperaturas (15°C, infraótima; e 37,5°C, supraótima). *G%*: porcentagem acumulada de germinação (porcentagem observada). *tg obs e esp*: tempos de germinação observados (reais, representados por símbolos cheios) e tempos de germinação esperados pelo modelo (linhas e símbolos vazios).

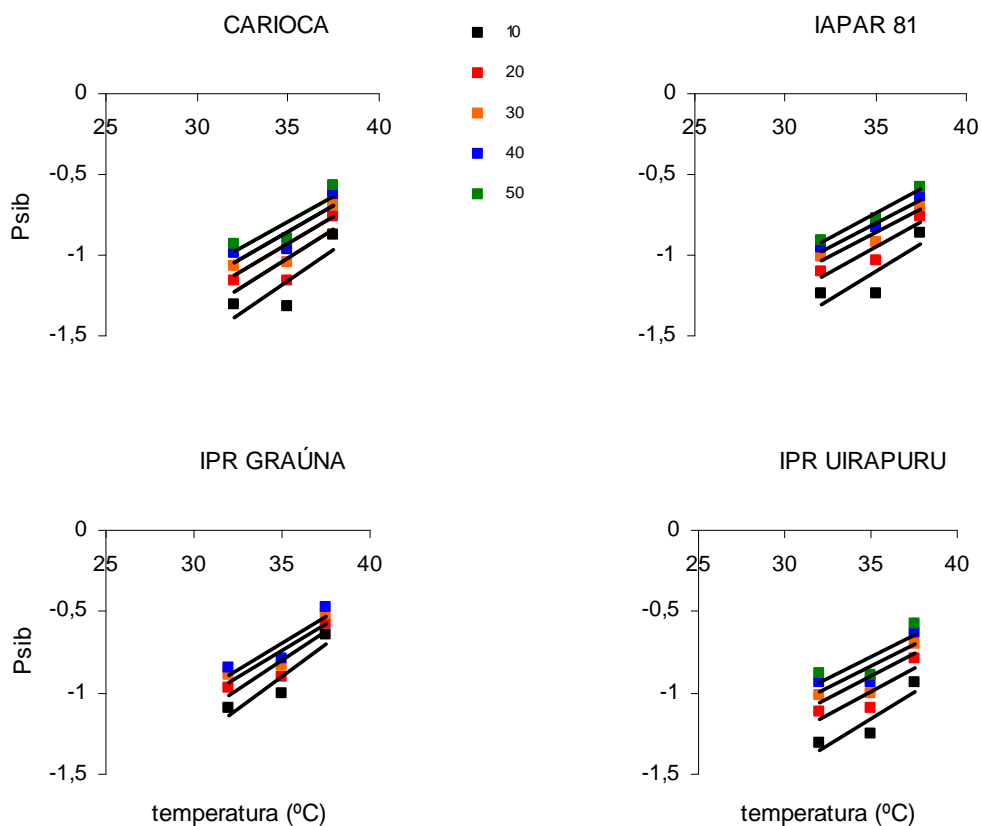


Figura 8 – Variação dos potenciais base ($\Psi_{b(g)}$) em função de diferentes temperaturas da faixa supraótima para quatro cultivares de *P. vulgaris*. Os potenciais base foram calculados a partir do modelo psi-dia (equações 4 e 5). Os valores de 10 a 50 correspondem a diferentes frações de germinação estimadas. Os tempos de germinação, correspondentes às frações empregadas (t_g), foram estimados com o auxílio da equação de Weibull (equação 1). As inclinações destas retas devem, em cada cultivar, ser aproximadamente iguais e próximas do valor do parâmetro Kt utilizado no modelo psi-graus-dia na faixa supraótima (equação 7).

Foram determinados os parâmetros do modelo psi-graus-dia (*hydrothermal time*), utilizando-se temperaturas das faixas subótima e supraótima e diferentes potenciais osmóticos (Tabela 1). Para este modelo, na faixa supraótima, os parâmetros temperatura ótima (T_o), Kt e θ_H foram modificados sistematicamente até que o psi-base 50 ($\Psi_{b(50)}$) do modelo psi-graus-dia para a faixa supraótima fosse similar ao $\Psi_{b(50)}$ deste mesmo modelo aplicado à faixa subótima, conforme ALVARADO & BRADFORD (2002). Os valores de R^2 indicam a qualidade do ajuste dos dados ao modelo psi-graus-dia.

Os dados de germinação das quatro cultivares foram ajustados ao modelo psi-graus-dia e o comportamento germinativo (porcentagem acumulada de germinação) das cultivares em função de tempos de germinação normalizados, nas faixas supraótima e infraótima, é apresentado na Figura 9.

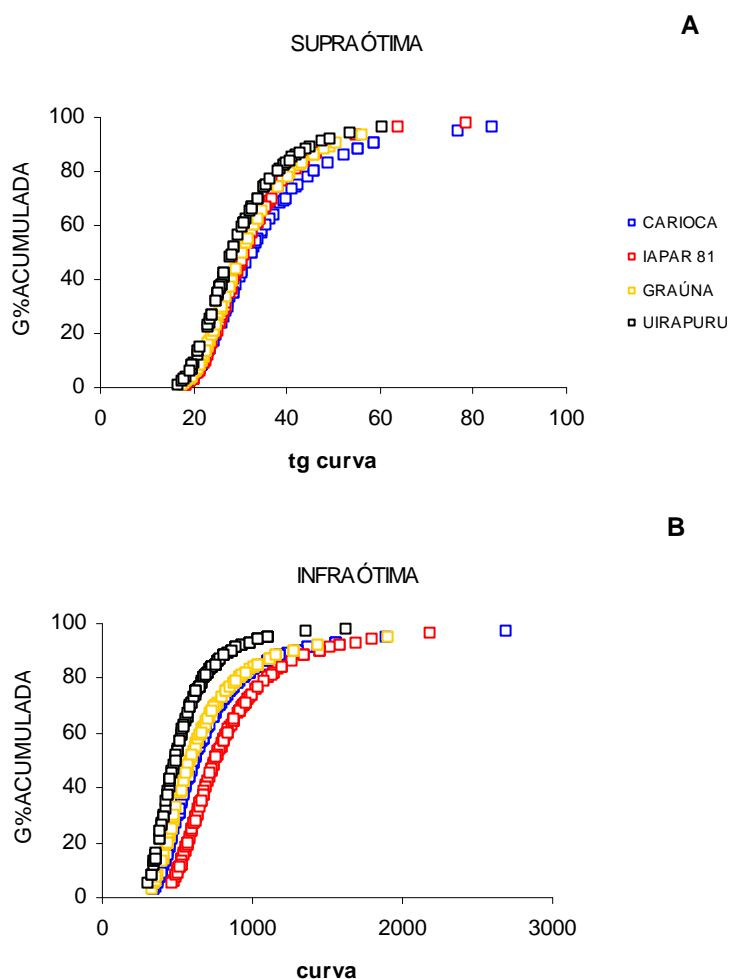


Figura 9 – Comparação de quatro cultivares de *P. vulgaris* nas faixas supraótima e infraótima mediante a utilização do modelo psi-graus-dia. **A:** variação, na faixa supraótima, da porcentagem acumulada de germinação (dados reais) em função do tempo (*tg curva*: tempo corrigido, expresso em horas), que se refere ao tempo de germinação normalizado após ser estimado a partir de modelo linearizado (R^2 , Tabela 1-B) (ALVARADO & BRADFORD, 2002). **B:** porcentagem de germinação acumulada, na faixa infraótima, em função do tempo de germinação normalizado (*curva*: em escala de *thermaltime* ou graus-hora corrigido), que corresponde ao tempo de germinação estimado pelo modelo psi-graus-dia (reta, ver R^2 s na Tabela 1-A) multiplicado pela diferença entre a temperatura real e a temperatura base da cultivar.

DISCUSSÃO

Em relação a espécies em que a temperatura base é a mesma para todas as frações de germinação, as diferentes curvas de germinação em função do tempo para experimentos conduzidos em diferentes temperaturas podem ser resumidas em uma única curva em que a germinação aparece como uma função dos graus-dias (graus-hora no presente estudo). Dessa forma, as curvas de germinação em diferentes temperaturas podem ser comparadas e o efeito da temperatura pode ser eliminado (GARCIA-HUIDOBRO et al., 1982; WASHITANI & TAKENATA, 1984; GUMMERSON, 1986). Em relação às cultivares de feijoeiro, nenhuma destas teve suas frações de germinação convergindo exatamente para a mesma temperatura base. Tal convergência pode ser considerada, no presente caso, como sendo aproximada (Figura 2 A-D). Mesmo assim, os ajustes dos dados ao modelo de graus-dia na faixa infraótima exibiram coeficientes de determinação satisfatórios (Figura 1).

ELLIS et al. (1986), comparando velocidades de germinação em diferentes genótipos de grão-de-bico (*Cicer arietinum*) em função de diferentes temperaturas (de 5 a 40°C, intervalos de 5°C), utilizando o conceito de graus-dia; obtiveram temperaturas-base que variaram de 0 a 0,5°C, ou seja, bem distantes dos valores encontrados para as cultivares de feijoeiro (de 8,4°C a 9,2°C; Figura 1).

FYFIELD & GREGORY (1989) conduziram experimentos em casa de vegetação, analisando os efeitos combinados da temperatura (de 15 a 45°C) e do potencial osmótico (variando de 0MPa a -2,2MPa) sobre a germinação e emergência de feijão-mungo (*Vigna radiata*). Obtiveram 10,1°C como sendo a temperatura base estimada para esta espécie (usando o método de extrapolação de retas, similar ao apresentado na Figura 2). Este valor assemelha-se aos obtidos no caso das quatro cultivares do presente estudo (Figura 1).

Os valores de temperatura base obtidos para as quatro cultivares (Tabela 1) foram relativamente próximos e as retas utilizadas para a obtenção destes (Figura 1) também são similares. A Figura 3-A revela um comportamento similar das quatro cultivares, na faixa infraótima, em função dos graus-dias. Já na Figura 3-B, referente à faixa supraótima, a cultivar Iapar 81, que tem o maior número de pontos nesta faixa (ver Capítulo 1, gradiente térmico), apresentou um comportamento relativamente distinto das outras três. Esta cultivar é caracterizada como sendo moderadamente tolerante a altas temperaturas em condições de campo (IAPAR, 2009).

CARGNELUTTI FILHO et al. (2005) objetivando determinar se a soma térmica poderia ser utilizada para estimar a duração do subperíodo emergência-florescimento (em estudo de campo), utilizou dezenove cultivares de feijão, incluindo a cultivar Carioca. A temperatura base encontrada por este autor para a cultivar Carioca foi de 5,3°C. Entretanto, em relação a esta cultivar, foram verificadas dificuldades, utilizando o conceito de graus-dias, na determinação da duração do subperíodo emergência-florescimento baseando-se somente na variável temperatura.

MOREAU-VALANCOGNE et al. (2007) analisaram diferentes lotes de sementes de *P. vulgaris* em experimentos conduzidos em seis temperaturas distintas (variando de 10 a 40°C, germinadas em água destilada) sob condições controladas. Estes autores detectaram uma variação em T_b de 3,5 até 8,9°C e, em linhas gerais, atribuíram tal variação às diferentes condições ambientais em que as sementes foram produzidas.

WUTKE et al. (2000) analisaram algumas cultivares de feijoeiro, incluindo a cultivar Carioca (IAC Carioca); mas para dados de observações fenológicas (emergência, florescimento pleno e formação de vagens, por exemplo). Em média, estes autores constataram temperaturas bases entre 6,5 a 10,0°C, mas dependendo do subperíodo considerado (fenofase). No presente estudo, as temperaturas bases obtidas pelo modelo de graus-dia variaram de 8,4 a 9,2°C, ou seja, ficaram compreendidas na variação encontrada no referido estudo de fenofases.

Pequenas reduções no potencial osmótico, normalmente, retardam a taxa de germinação sem redução no valor final de germinação; mas as reduções mais intensas, além de diminuir a taxa de germinação, também diminuem a porcentagem final de germinação (BRADFORD, 1990). Tal fato foi claramente observado para as quatro cultivares de feijoeiro, que, tanto em temperaturas infraótimas quando em supraótimas, exibiram diminuição da taxa de germinação e redução gradativa da porcentagem final de germinação com a redução do potencial osmótico (valores mais negativos), não havendo germinação além do potencial -1,0MPa, para nenhuma temperatura em relação a todas as cultivares (Figuras 4-7).

As quatro cultivares exibiram comportamento germinativo relativamente similar na faixa supraótima, utilizando-se o modelo psi-graus-dia (Figura 9-A); contrastando, de certa forma, com o comportamento de tais cultivares na faixa supraótima, ao se aplicar o modelo de graus-dia (Figura 3-B). Em relação ao modelo psi-graus-dia, a cultivar IPR Uirapuru, referida como tendo boa tolerância ao déficit hídrico e a altas temperaturas (IAPAR, 2009), foi a única que se

comportou de maneira bastante similar em relação às outras três, tanto na faixa infraótima quanto na supraótima (Figura 9 A-B).

É importante ser ressaltado que somente um maior número de estudos poderia indicar com maior grau de precisão se, por exemplo, o comportamento distinto da cultivar Iapar 81 na faixa supraótima, utilizando-se o modelo de graus-dia (Figura 3-B), seria repetido em outras situações similares a do presente estudo.

Em se tratando de plantas cultivadas, que são produzidas visando à obtenção de altos rendimentos das culturas, sendo relativamente homogêneas nesse aspecto, a aplicação de tais modelos deve ser cautelosa, já que a obtenção de parâmetros simples, como a temperatura base, por exemplo, ou a constante K_t (modelo psi-graus-dia, equação 7) envolvem processos iterativos e podem fornecer resultados diferentes, mesmo se utilizando delineamentos experimentais bastante parecidos ou uniformes.

Contudo, a Tabela 1 revela que os ajustes (todos os R^2 s $\geq 0,70$) ao modelo psi-graus-dia foram adequados para todas as cultivares, tanto na faixa supraótima quanto na infraótima. Assim sendo, ainda que mais estudos sejam necessários para melhorar a qualidade dos ajustes obtidos em relação às cultivares de feijoeiro, estas puderam ser comparadas e, de maneira geral, exibiram comportamento germinativo relativamente homogêneo em função da temperatura e potencial osmótico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, V.; BRADFORD, K.J. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.1061-1069, 2002.
- BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. **Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination**. London: Academic Press, 1998, 666p.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination - 2nd ed.** New York: Plenum Press, 1994, 445p.
- BOROOAH, V.K. **Logit and Probit – ordered and multinomial models**. Sage Publications, London, 2002, 97p.
- BRADFORD, K.J. A water relations analysis of seed germination rates. **Plant Physiology**, v.94, p.840-849, 1990.
- BRADFORD, K.J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, G. (Eds.), **Seed Development and Germination**. New York: Marcel Dekker, 1995.
- BRADFORD, K.J. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. **Weed Science**, v.50, p.248-260, 2002.
- BRADFORD, K.J. **Seed Production and Quality**. UC Davis: Seed Biotechnology Center, Cap. 14, p. 95-106, 2004.
- BRUNINI, O.; LISBÃO, R.S.; BERNARDI, J.B.; FORNASIER, J.B.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Temperatura-base para alface “Withe Boston”, em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 19, p. 213-219, 1976.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; TRENTIN, M.; SILVA, J.C. Determinação da temperatura base e graus-dia para cultivares e feijão. **Anais do VIII Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão**, Goiânia, v.2, p.1136-1139, 2005.
- COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S.; TAMÉS, R.S. **Fisiologia Vegetal**. Pirâmide, Madri, 1992, 662p.
- COVELL, S.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean, and cowpea at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**, v.37, n.178, p.705-715, 1986.
- DAHAL, P.; BRADFORD, K.J. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. **Seed Science Research**, v.4, p.71-80, 1994.

DUMUR, D.; PILBEAM, C.J., CRAIGON, J. Use of the Weibull function to calculate cardinal temperatures in faba bean. **Journal of Experimental Botany**, v.41, n.11, p.1423-1430, 1990.

ELLIS, R.H.; COVELL, S.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**, v.37, 1503-1515, 1986.

FYFIELD, T.P.; GREGORY, P.J. Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. **Journal of Experimental Botany**, v.40, n.215, p.667-674, 1989.

GARCIA-HUIDOBRO, J.; MONTEITH, J.L.; SQUIRE, G.R. Time, temperature and germination of pearl millet. I. Constant temperature. **Journal of Experimental Botany**, v.33, p. 287-295, 1982.

GUMMERSON, R.J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany**, v. 37, p.729-741, 1986.

IAPAR. **Características das cultivares de feijão com sementes no mercado**. Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina. Capturado em 7/01/2009. *On-line*. Disponível na Internet: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=67>

LABOURIAU, L.G. On the physiology of seed germination in *Vicia graminea* I. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v.42, n.2, p.235-262, 1970

LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Secretaria Geral da OEA, Washington, 1983. 175p.

LABOURIAU, L.G.; OSBORN, J.H. Temperature dependence on germination of tomato seeds. **Journal of Thermal Biology**, v.9, n.4, p.285-294, 1984.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RIMA, São Carlos-SP, 2000, 531p.

MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The Germination of Seeds** – 4th ed. Oxford: Pergamon Press, 1989, 270p.

MORAES, C.R.A.; MODOLO, V.A.; CASTRO, P.R.C. Fisiologia da germinação e dominância apical. In: CASTRO, P.R.C.; SENA, J.O.A.; KLUGE, R.A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. Maringá: Eduem, 2002. Cap. X, p.159-178.

MOREAU-VALANCOGNE; P.; COSTE, F.; DÜRR, C.; CROZAT, Y. Effects of bean seed production conditions on germination and hypocotyl elongation responses to temperature and water potential. In: ADKINS, S.W.; ASHMORE, S.E.; NAVIE, S.C. **Seeds: biology, development and ecology**. Cambridge-MA: CAB International, 2007. Cap. 35, p.333-341.

WASHITANI, I.; TAKENAKA, A. Germination responses in non-dormant seed population of *Amarathus patulus* Bertol. to constant temperature in the sub-optimal range. **Plant, Cell and Environment**, v.7, p.353-358, 1984.

WELBAUM, G.E.; BRADFORD, K.J. Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L). VI. Influence of priming on germination responses to temperature and water potential during seed development. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.393-399, 1991.

WUTKE, E.B.; BRUNINI, O.; BARBANO, M.T.; CASTRO, J.L.; GALLO, P.B.; KANTHACK, R.A.D.; MARTINS, A.L.M.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; BORTOLETTO, N.; PAULO, E.M.; SAKAI, M.; SAES, L.A.; AMBROSANO, E.J.; CARBONELL, S.A.M.; SILVEIRA, L.C.P. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.1, p.55-61, 2000.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1999, 938p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS EM RELAÇÃO AO PROJETO

Os modelos conhecidos como graus-dia (*thermal time*) e psi-dia (*hydrotime*) são ferramentas que permitem, a partir de experimentos relativamente simples, em condições controladas de temperatura e/ou potencial osmótico, estimar o tempo necessário para a germinação de sementes em qualquer temperatura e potencial osmótico. Combinações desses modelos (*hydrothermal time*) podem descrever com razoável precisão as curvas de germinação em qualquer combinação de temperatura e potencial osmótico, além de auxiliarem na previsão da emergência de plântulas sob condições variáveis de tais fatores (BRADFORD, 2002; MEYER et al., 2000). No presente estudo, tais modelos puderam ser empregados com adequada precisão, permitindo a comparação das cultivares de maneira direta e simples.

De forma geral, a questão do número de repetições usualmente empregados em experimentos de germinação não é amplamente discutida. Tendo-se em vista a recorrente citação da necessidade de normalização de dados em modelos que utilizam o conceito de psi-graus-dia (p.ex. ALVARADO & BRADFORD, 2002), o número de repetições em tais experimentos poderia ser mais bem discutido, já que apenas um número adequado de réplicas pode fornecer um valor realista do dado que será introduzido no modelo.

Como exemplos, ELLIS et al. (1986) utilizaram quatro repetições trabalhando com grão-de-bico; GUMMERSON (1986) usou seis repetições por tratamento em trabalho com beterraba açucareira (*Beta vulgaris*); FYFIELD & GREGORY (1989), estudando o efeito combinado da temperatura e potencial osmótico sobre a resposta germinativa de *Vigna radiata*, utilizaram cinco repetições por tratamento; BRADFORD (1990), analisando efeitos de variações em potenciais osmóticos (de 0 a -1,2MPa, intervalos de 0,2MPa), empregou quatro repetições por tratamento; ALVARADO & BRADFORD (2002), trabalhando com sementes de *Solanum tuberosum* (batata), usou cinco repetições por tratamento. Mesmo se considerando que em laboratório a obtenção de réplicas seja potencialmente mais fácil que em experimentos conduzidos em ambiente natural; em diversos casos, tal facilidade pode não ser realmente efetiva. Contudo, seria importante que referências à freqüente adoção de tamanhos amostrais reduzidos, fizesse parte dos trabalhos de modelagem da germinação.

MOREAU-VALANCOGNE et al. (2007), trabalhando com diferentes lotes de sementes de feijoeiro, em relação à influência da temperatura e do potencial osmótico sobre a germinação e

alongamento de epicótilo, utilizaram, para calcular a taxa de germinação (1/tempo de germinação) em diferentes frações, a função de Gompertz – e não a de Weibull (empregada no presente estudo). Contudo, empregaram a função de Weibull – e não a de Gompertz - em relação à análise do alongamento do epicótilo. As duas funções constituem modelos bastante empregados em ciências biológicas, mas que não são idênticos; dessa forma, comparações entre diferentes estudos deveriam levar em consideração tal distinção. Contudo, não é o que se observa em estudos sobre a germinação de sementes.

Nesse mesmo contexto, é importante notar que, embora seja bastante considerado e amplamente utilizado em diversas áreas de pesquisa, o modelo probístico é apenas um entre tantos outros modelos complexos não-lineares existentes que podem ser aplicados como alternativas ao modelo de probabilidade linear. Em linhas gerais, no modelo probístico, a variável dependente é assumida como sendo binária, tendo apenas dois valores possíveis: zero e um (ALDRICH & NELSON, 1984; BOROAH, 2002), esse fato pode ser o que leva muitos autores a utilizá-lo diretamente em germinação de sementes, já que a germinação de uma semente constitui um evento binário (a semente germina ou não germina). Dessa forma, as transformações probísticas citadas nos trabalhos referentes aos conceitos de graus-dia, psi-dia e psi-graus-dia devem ser analisadas como uma alternativa entre outras que podem, futuramente, ser empregadas, visando à melhoria na precisão e previsão dos resultados.

Assim sendo, trabalhos similares ao presente estudo podem servir de estímulo para que análises estatísticas ou técnicas de modelagem matemática mais abrangentes e complexas possam ser conduzidas, auxiliando no detalhamento do comportamento germinativo de espécies cultivadas ou nativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRICH, J.H.; NELSON, F.D. **Linear probability, logit, and probit models**. Sage Publications, London, 1984, 95p.

ALVARADO, V.; BRADFORD, K.J. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.1061-1069, 2002.

BOROOAH, V.K. **Logit and Probit – ordered and multinomial models**. Sage Publications, London, 2002, 97p.

BRADFORD, K.J. A water relations analysis of seed germination rates. **Plant Physiology**, v.94, p.840-849, 1990.

BRADFORD, K.J. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. **Weed Science**, v.50, p.248-260, 2002.

ELLIS, R.H.; COVELL, S.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. **Journal of Experimental Botany**, v.37, 1503-1515, 1986.

FYFIELD, T.P.; GREGORY, P.J. Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. **Journal of Experimental Botany**, v.40, n.215, p.667-674, 1989.

GUMMERSON, R.J. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. **Journal of Experimental Botany**, v. 37, p.729-741, 1986.

MEYER, S.E.; DEBAENE-GILL, S.B.; ALLEN, P.S. Using hydrothermal time concepts to model seed germination response to temperature, dormancy loss and priming effects in *Elymus elymoides*. **Seed Science Research**, v.10, p. 213-223, 2000.

MOREAU-VALANCOGNE; P.; COSTE, F.; DÜRR, C.; CROZAT, Y. Effects of bean seed production conditions on germination and hypocotyl elongation responses to temperature and water potential. In: ADKINS, S.W.; ASHMORE, S.E.; NAVIE, S.C. **Seeds: biology, development and ecology**. Cambridge-MA: CAB International, 2007. Cap. 35, p.333-341.