

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO CURITIBANOS
MELINA INÊS BONATTO

**TEMPERATURAS BASAIS EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO
DO ALHO**

Curitibanos
2016

MELINA INÊS BONATTO

**TEMPERATURAS BASAIS EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO
DO ALHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, do Centro Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª.Dr^ª.Leosane Cristina Bosco.

Curitibanos
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bonatto, Melina Inês
Temperaturas basais em diferentes fases de
desenvolvimento do alho / Melina Inês Bonatto ;
orientadora, Leosane Cristina Bosco - Curitibanos, SC,
2016.
35 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos. Graduação em Agronomia.

Inclui referências

1. Agronomia. 2. Allium sativum L. 3. Unidades
fototérmicas. 4. Soma térmica. 5. Fenologia. I. Bosco,
Leosane Cristina . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia
Rodovia Ulysses Guimarães km2
Cra 701, Caixa 89525-000 - Florianópolis - SC
TELEFONE (048) 3473-2176 8-88111 agronomia@ufsc.br/ufsc.br

MELINA INÉS BONATTO

TEMPERATURAS BASAIS EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO DO ALHO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao
Colegiado do Curso de Agronomia, do Campus
Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina,
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Orientador(a): Leosane Cristina Bosco

Data da defesa: 10/11/2016

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientador: Leosane Cristina Bosco
Titulação: Doutora
Área de concentração em Agrometeorologia
Universidade Federal de Santa Catarina

Membro Titular: João Batista Tolentino Júnior
Titulação: Doutor
Área de concentração em Irrigação e Drenagem
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Membro Titular: Cesar Augusto Marchionni
Titulação: Doutor
Área de concentração em Entomologia Agrícola
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Local: Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Curitibanos
Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Duração em dias das fases emergência – diferenciação do bulbo (EM–R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1–SE), para as cultivares Ito e Chonan em oito épocas de plantio, em Curitibanos, SC, Brasil.22
- Tabela 2.** Valores de temperatura base inferior (°C) calculados por diferentes metodologias para as fases de emergência – diferenciação do bulbo (EM-R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1-SE) para as cultivares de alho Ito e Chonan, em Curitibanos, SC, Brasil.23
- Tabela 3.** Valores de coeficientes de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r) entre a temperatura média do ar e a duração média das fases emergência – diferenciação do bulbo (EM-R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1-SE), para as cultivares Ito e Chonan em Curitibanos, SC, Brasil.25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados de Temperatura máxima do ar, temperatura mínima no ar e fotoperíodo diário medidos no período experimental para determinação das temperaturas basais inferior e superior em oito épocas de cultivo de alho em Curitiba, SC, Brasil. As épocas de plantio E7 e E8 estão em andamento, portanto o período analisado envolve apenas a fase EM-R1. ...21
- Figura 2.** Duração da fase emergência – diferenciação do bulbo para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e da diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em função da variável unidades fototérmicas, em Curitiba, SC, Brasil.25
- Figura 3.** Método de unidade fototérmicas para determinação da temperatura base inferior da fase emergência – diferenciação do bulbo para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e da diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em Curitiba, SC, Brasil.....26
- Figura 4.** Método de desvio padrão em graus-dia para determinação da temperatura base superior da fase emergência – diferenciação do bulbo para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e da fase diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em Curitiba, SC, Brasil.27
- Figura 5.** Soma térmica acumulada nas fases de emergência – diferenciação do bulbo e diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e exigência fototérmica nas fases de emergência – diferenciação do bulbo e diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em Curitiba, SC, Brasil.....29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4 CONCLUSÕES.....	30
Abstract.....	31
REFERÊNCIAS	32

Temperaturas basais em diferentes fases de desenvolvimento do alho

Melina Inês Bonatto

Resumo

Entre as condições ambientais que influenciam o crescimento e desenvolvimento de plantas de alho destacam-se a temperatura do ar e o fotoperíodo. O desenvolvimento de plantas é delimitado pela temperatura basal inferior (T_b) e superior (T_B) adequado para cada genótipo em cada etapa de seu ciclo. As temperaturas basais representam a temperatura abaixo e acima da qual o desenvolvimento da planta é nulo, ou ocorre de forma muito reduzida. As temperaturas basais variam entre as espécies vegetais e até mesmo entre genótipos dentro da mesma espécie, podendo variar também em função da idade e da fase fenológica da planta. Esse trabalho teve o objetivo de estimar as temperaturas basais de plantas de alho nobre em diferentes fases de desenvolvimento com a aplicação de métodos estatísticos que levam em consideração a temperatura do ar e o fotoperíodo. A partir da definição das temperaturas basais objetiva-se, também, determinar a exigência térmica e fototérmica das plantas de alho ao longo do ciclo de desenvolvimento. Foram conduzidos experimentos a campo, em três anos (2014/2015/2016), com diferentes épocas de plantio em cada ano, em Curitiba, SC. Foram usadas duas cultivares de alho nobre, Ito e Chonan. O ciclo de desenvolvimento das plantas foi dividido em duas fases: emergência – diferenciação do bulbo (EM–R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1–SE). A T_b foi estimada por dez métodos estatísticos que levam em consideração a temperatura do ar e o fotoperíodo. A T_B foi estimada pelo método de desvio padrão em graus-dia. Para a cultura do alho identificou-se que o melhor método para determinação da T_b é o de unidades fototérmicas por ser uma variável que combina a ação da temperatura do ar e do fotoperíodo. A temperatura base inferior estimada para a fase de EM–R1 e R1–SE para a cultivar Ito, foi de $0,5^{\circ}\text{C}$ e 11°C , respectivamente. Para cultivar Chonan na fase EM–R1 a T_b foi de $2,5^{\circ}\text{C}$, e de $5,5^{\circ}\text{C}$ para a fase R1-SE. A temperatura base superior para a fase EM–R1 foi estimada em 28°C para a cultivar Ito, enquanto que para a Chonan o valor foi de 30°C . Para a fase R1–SE, é de 30°C e 32°C , para as cultivares Ito e Chonan, respectivamente. Considerando o ciclo completo (EM–SE) das plantas, a exigência térmica para a cultivar Ito é de $1.745,7^{\circ}\text{C}$ dia e para Chonan $1.901,5^{\circ}\text{C}$ dia. A exigência fototérmica média é de $693.242,7$ UF's para a cultivar Ito e $688.378,4$ UF's para Chonan.

Palavras-chave: *Allium sativum* L. Unidades fototérmicas. Soma térmica. Fenologia

1 INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum* L.) da família Aliaceae é uma planta herbácea que pode atingir até 70 cm de altura. É originário da Ásia Central, e teve ampla disseminação após ser introduzido na costa do mar Mediterrâneo, se difundindo então para diversas partes do mundo (FILGUEIRA, 2008).

No Brasil, o alho tem importância significativa entre as olerícolas. O alho é cultivado comercialmente em todas as regiões do Brasil, com exceção da região Norte, devido ao excessivo calor que impede seu cultivo. Os últimos dados obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) mostram que a produção nacional de alho, em 2015, foi de 120.569 toneladas, sendo a maior dos últimos 10 anos. O estado de Santa Catarina produz em torno de 15% do alho do Brasil e está entre os três estados com maior produção e produtividade.

Condições ambientais e genóticas interferem no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas de alho. Entre as condições ambientais que influenciam a cultura destacam-se a temperatura do ar e o fotoperíodo (MATHEW et al., 2011; RAHIM e FORDHAM, 1990; KAMENETSKY et al., 2004), além da radiação solar (RAHIM e FORDHAM, 1990; RIZZALLI et al., 2002), a temperatura do solo (RAHIM e FORDHAM, 1990), a disponibilidade de água (CORTÉS et al., 2003) e o período e temperatura de armazenamento dos bulbos-sementes (ATASHI et al., 2011). A fase vegetativa, ou seja, de emissão foliar é mais dependente da temperatura do ar, e a fase reprodutiva que envolve a diferenciação de bulbilhos e emissão de haste floral é dependente da resposta fotoperiódica de dias longos necessária para que ocorra a indução desses processos (MATHEW et al., 2011). O número de folhas, a formação dos bulbilhos de alho e, conseqüentemente, a produtividade são, portanto, mais dependentes da temperatura do ar e fotoperíodo.

Após o crescimento vegetativo, as plantas recebem estímulos a partir de fatores extrínsecos e intrínsecos de modo a ocorrer a transição para o desenvolvimento reprodutivo. Essas etapas do ciclo de vida das plantas ocorrem a partir de acúmulo de unidades térmicas ou fototérmicas. O desenvolvimento de plantas é delimitado pela temperatura basal inferior e superior adequado para cada genótipo em cada etapa de seu ciclo (BONHOMME, 2000). As temperaturas basais representam a temperatura abaixo e acima da qual o desenvolvimento da planta é nulo, ou ocorre de forma muito reduzida (BURIOL et al., 1978). As temperaturas basais variam entre as espécies vegetais e até mesmo entre genótipos dentro da mesma

espécie, podendo variar também em função da idade e da fase fenológica da planta (STRECK et al., 2003).

Estudos básicos referentes a respostas térmicas e fototérmicas das plantas em seu ambiente de cultivo continuam sendo desenvolvidos nessa última década, demonstrando que houve expansão de áreas cultiváveis com determinadas espécies, desenvolvimento de novos materiais genéticos e modificações climáticas em função do aquecimento global. Na literatura nacional e internacional são encontrados resultados recentes que quantificam a temperatura base inferior em diferentes fases de desenvolvimento do crambe (PILAU et al., 2011), da mangueira (RODRIGUES, 2013), do arroz cultivado e arroz vermelho (LAGO et al., 2009); para fase de germinação de brássicas forrageiras (ANDREUCCI et al., 2016), para fase de implantação de café arábica (LIMA e SILVA, 2008), para o ciclo de crescimento vegetativo do azevém (MÜLLER et al., 2009) e para fase de germinação de cenoura e cebola (ROWSE e FINCH-SAVAGE, 2003). A temperatura base superior, não é frequentemente determinada em função de ser uma temperatura elevada e raramente alcançada a campo (LAGO et al., 2009), mas são encontrados alguns resultados como a temperatura base superior para diferentes momentos de poda da figueira (SOUZA et al., 2009); para fase de implantação de café arábica (LIMA e SILVA, 2008). Para alho, por exemplo, Braga e Biasi (1987) estabeleceram uma temperatura basal superior de 30°C de maneira empírica, sem levar em consideração métodos de cálculo ou experimentos em condições controladas.

Com relação a respostas fotoperiódicas, destaca-se o trabalho recente desenvolvido por Mathew et al. (2011) que analisou a influência do fotoperíodo em 10 genótipos de alho e concluiu que a resposta dos genótipos ao fotoperíodo longo é variada, podendo estimular com maior ou menor intensidade a diferenciação, a formação e a alongação da haste floral. No Chile, observou-se que os genótipos avaliados tem resposta fotoperiódica obrigatória de dia longo, necessitando de fotoperíodo crítico de 14 horas para que ocorra a diferenciação dos bulbilhos (DEL POZZO e GONZÁLEZ, 2005).

As temperaturas basais inferior (T_b) e a superior (T_B) podem ser descritas fisiologicamente ou estatisticamente. Fisiologicamente admite-se que abaixo ou acima de determinada temperatura do ar o desenvolvimento das plantas será paralisado ou muito reduzido. Avaliações fisiológicas para caracterizar T_b e T_B podem ser realizadas em ambiente controlado, exigindo dessa forma equipamentos com alto custo, como as câmaras climáticas. A forma estatística para determinação das temperaturas basais tem sido comumente utilizada e é desenvolvida através de métodos que levam em consideração dados de temperatura do ar, de fotoperíodo e dados fenológicos (YANG et al., 1995). São vários os métodos estatísticos

utilizados para a determinação da Tb, os principais são: desvio padrão em graus-dia (MAGOON e CULPEPPER, 1932 apud YANG et al., 1995, p. 62) desvio padrão em dia (ARNOLD, 1959), coeficiente de variação em graus-dia e dia (NUTTONSON, 1958 apud YANG et al., 1995, p. 63), coeficiente de regressão (HOOVER, 1955), desenvolvimento relativo (BRUNINI et al., 2009) e unidades fototérmicas (VILLA NOVA et al., 1983).

Em relação à cultura do alho são escassos estudos que identificam respostas térmicas ou fototérmicas das plantas em seu habitat de cultivo (BRAGA e BIASI, 1987; BREWSTER e RABINOWITCH, 1990). Ao identificar as temperaturas basais das plantas de alho será possível avaliar o impacto das temperaturas extremas e melhorar as recomendações fitotécnicas. A avaliação dos efeitos da temperatura do ar sobre o desenvolvimento das plantas também melhorará a capacidade de modelos de simulação de culturas de modo a prever possíveis impactos do tempo e do clima na produção agrícola (LUO, 2011). Além disso, estudos sobre exigências bioclimáticas do alho serão importantes para a identificação de regiões com potencial agrometeorológico, além de servirem como referência para escolha de cultivar, época de plantio e zoneamentos agrícolas. Esses conhecimentos auxiliarão na tomada de decisões e otimização do planejamento das atividades agrícolas.

Esse trabalho teve o objetivo de estimar as temperaturas basais de plantas de alho nobre em diferentes fases de desenvolvimento com a aplicação de métodos estatísticos que levam em consideração a temperatura do ar e o fotoperíodo. A partir da definição das temperaturas basais objetiva-se, também, determinar a exigência térmica e fototérmica das plantas de alho ao longo do ciclo de desenvolvimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante os anos de 2014, 2015 e 2016 na área experimental da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada no município de Curitibanos, Mesorregião Serrana do estado de Santa Catarina, latitude 27°17'05'', longitude 50°32'04'' e altitude 1096 m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb - subtropical úmido com verões amenos, sendo a precipitação média anual em torno de 1.480 mm, temperatura máxima média de 22,0°C e mínima média de 12,4°C (EMBRAPA, 2011).

Foram utilizadas duas cultivares de alho nobre: Ito de ciclo precoce e Chonan de ciclo semi-precoce, cultivadas em diferentes épocas de plantio, sendo três épocas no ano de 2014 (E1 - 30/05; E2 - 21/06 e E3 - 28/07), três épocas no ano de 2015 (E4 - 16/05; E5 - 19/06 e E6 - 03/08) e duas épocas no ano de 2016 (E7 - 20/06 e E8 - 22/07) de modo a expor as plantas a diferentes condições térmicas e fotoperiódicas. As épocas do ano de 2016 só foram utilizadas para determinação das temperaturas basais da fase EM-R1, uma vez que a cultura não completou o ciclo até o final da produção deste trabalho.

O cultivo e manejo de plantas foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura do alho (LUCINI, 2004) sendo conduzida em canteiros em sistema de fileiras duplas. Para o plantio foram utilizados bulbo-sementes vernalizados em câmara fria a 4,2 °C durante 20 dias.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, totalizando 24 unidades experimentais (UEs) em 2014 e 2015 (3 épocas de plantio na parcela x 2 cultivares na subparcela x 4 repetições) e 16 UEs em 2016 (2 épocas de plantio na parcela x 2 cultivares na subparcela x 4 repetições).

Ao longo do ciclo das plantas foram avaliadas, em cada UE, a emergência das plantas, a emissão de folhas considerada a fase de desenvolvimento foliar, a diferenciação do bulbo e senescência das plantas (LOPEZ-BELLIDO et al., 2016). A emergência foi obtida a partir de acompanhamento diário, após o plantio, sendo que quando mais de 50% das plantas estavam acima do nível do solo, considerava-se a data de emergência. O acompanhamento do número de folhas foi realizado semanalmente em 5 plantas marcadas em cada UE. A data de ocorrência de diferenciação do bulbo foi obtida a partir de análises destrutivas de 3 plantas por UE, sendo que plantas não marcadas foram coletadas e a partir de um corte transversal no bulbo identificava-se, a olho nu, o início das formação dos bulbilhos. A data foi definida quando pelo menos três parcelas de cada tratamento apresentava plantas com diferenciação do

bulbo. A data da senescência foi considerada quando 3-5 folhas ainda estavam verdes nas plantas. Esse estágio também é considerado o momento de colheita conforme descrito por Lopez-Bellido et al. (2016).

Para a determinação das temperaturas basais do alho, o ciclo de desenvolvimento das plantas foi dividido em duas fases: emergência – diferenciação do bulbo (EM–R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1–SE). Adotou-se essa divisão devido ao estágio de diferenciação do bulbo (R1) ser considerado o estágio mais importante da cultura do alho, pois define-se neste momento o número de bulbilhos e deve-se dar maior atenção ao manejo adequado de adubação, pragas e doenças e irrigação. A fase R1–SE engloba o período de crescimento dos bulbos já diferenciados, a senescência da planta e o início da dormência dos novos bulbilhos.

A temperatura base inferior (T_b) foi determinada através dos métodos estatísticos denominados de tradicionais: menor desvio padrão em graus-dias (DPgdd), menor desvio padrão em dias (DPdia), coeficiente de variação em graus-dia (CVgdd), coeficiente de variação em dias (CVdia), coeficiente de regressão (CR) e razão de desenvolvimento (DR). Também foram utilizados métodos modificados propostos por Yang et al. (1995) e o método de unidades fototérmicas. Para os cálculos foi utilizada planilhas eletrônicas.

A soma térmica diária (STd, °C) foi calculada, através do método de (GILMORE e ROGERS, 1958; ARNOLD, 1960),

$$STd = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_b$$

em que:

T_{max} – temperatura do ar máxima diária (°C);

T_{min} – temperatura do ar mínima diária (°C);

T_b – temperatura base (°C).

A soma térmica acumulada foi calculada através do acúmulo da soma térmica diária. Os dados de temperatura do ar foram obtidos de estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET localizada na latitude 27°17'18'', longitude 50°36'15'' a 982 metros de altitude, no aeroporto de Curitiba, distante aproximadamente 7 km do experimento.

Abaixo serão descritos detalhadamente os métodos utilizados para determinação de temperatura base inferior (A até I) e superior (J) para as cultivares de alho nobre Ito e Chonan.

A) Método de menor desvio padrão, em graus-dias (DP_{gdd})

Neste método foram selecionadas previamente T_b candidatas e calculados os graus-dia do desenvolvimento para cada uma das T_b candidatas. A temperatura que gerar graus-dia acumulados (GDD) com um menor desvio padrão (MAGOON e CULPEPPER, 1932 apud YANG et al., 1995), é selecionada como a T_b . As T_b candidatas utilizadas foram de 0 a 20°C, com variação de 0,5°C.

O menor desvio padrão em GDD é definido através da equação:

$$DP_{gdd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (GDD_i - MGDD)^2}{n-1}}$$

em que:

DP_{gdd} = desvio padrão em graus-dia;

GDD_i = graus-dia acumulados no subperíodo do i-ésimo plantio;

MGDD = GDD acumulados médio de todos os plantios;

n = número de plantios.

B) Método de menor desvio padrão, em dias (DP_{dias})

Neste método foram selecionadas previamente T_b candidatas, idênticas às do método anterior.

Arnold (1959) sugeriu a determinação da temperatura base pelo método de menor desvio padrão em dias:

$$DP_{dias} = \frac{DP_{gdd}}{X_t - T_b}$$

em que:

DP_{dias} = desvio padrão em dia;

DP_{gdd} = desvio padrão em graus-dia;

X_t = temperatura média de todos os plantios;

T_b = temperatura base inferior (°C).

C) Método do coeficiente de variação, em graus-dia (CVgdd) e coeficiente de variação, em dias (CVdia)

Coeficiente de variação em graus-dia é a relação entre DPgdd e GDD acumulados médio de todos os plantios (MGDD). O coeficiente de variação em dias é a relação entre desvio padrão em graus-dia (DPdia) e o número de dias para se alcançar um determinado estágio de desenvolvimento (NUTTONSON, 1958 apud YANG et al., 1995), seguindo as equações:

$$CVdia = \frac{DPdia}{Xd} \cdot 100\%$$

$$CVgdd = \frac{DPgdd}{MGDD} \cdot 100\%$$

em que:

CVdia = coeficiente de variação em dias;

DPdia = desvio padrão em dia;

Xd = número médio de dias para alcançar o subperíodo de desenvolvimento

CVgdd = coeficiente de variação em graus-dia;

DPgdd = desvio padrão em graus-dia;

MGDD = GDD acumulados médio de todos os plantios.

D) Método do coeficiente de regressão (CR)

Através da aplicação de um modelo de regressão linear, Hoover (1955) estudou a relação entre a temperatura média e GDD. Desenvolveu assim o método de determinação da temperatura base, em que utiliza GDD como a variável dependente e a temperatura média como variável independente. Neste método também são utilizadas as Tb candidatas. Se o coeficiente de regressão for positivo a temperatura selecionada é muito alta, caso contrário, será negativo. A temperatura base será a selecionada quando o coeficiente de regressão for igual ou muito próximo a zero. O método é calculado através da equação:

$$Yi = a + bTi$$

em que:

Y_i = GDD para o i -ésimo plantio;

a e b = parâmetros da equação;

T_i = temperatura média para o i -ésimo plantio ($^{\circ}\text{C}$).

E) Método de desenvolvimento relativo (DR)

O desenvolvimento relativo é a relação da temperatura média do subperíodo e o desenvolvimento relativo da cultura, que é calculado através da equação a seguir proposta por BRUNINI et al. (1976):

$$DR_t = \frac{100}{N}$$

em que:

DR_t = desenvolvimento relativo à temperatura média do ar;

N = número de dias para alcançar o subperíodo de desenvolvimento;

100 = valor arbitrário do desenvolvimento.

Através da relação linear simples gerada, a temperatura base será dada pelo prolongamento da reta desta relação até o eixo das abscissas, ou seja, onde o desenvolvimento relativo é nulo.

Métodos modificados propostos por Yang et al. (1995)

Fórmulas matemáticas aplicáveis foram desenvolvidas por Yang et al. (1995) para a determinação da T_b com base nos métodos tradicionais. É possível fazer a determinação de qualquer subperíodo de desenvolvimento, em qualquer cultura, seguindo as equações abaixo:

F) Método do menor desvio-padrão em graus-dia (DP_{gdd})

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot d_i \sum_{i=1}^n d_i - n \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot t_i}{(\sum_{i=1}^n d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n d_i^2}$$

em que:

T_b – temperatura base;

T_i – temperatura média no i -ésimo plantio;

n – número de plantios;

d_i – número dias para alcançar o subperíodo de desenvolvimento no i -ésimo plantio.

G) Método do coeficiente de variação em GDD (CVgdd)

$$Tb = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i^2 \sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i^2 \cdot d_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2 \sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i^2}$$

em que:

T_b – temperatura base;

T_i – temperatura média no i -ésimo plantio;

n – número de plantios;

d_i – número dias para alcançar o subperíodo de desenvolvimento no i -ésimo plantio.

H) Método do coeficiente de regressão (CR)

$$Tb = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i - n \sum_{i=1}^n T_i^2 \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i - n \sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i}$$

em que:

T_b – temperatura base;

T_i – temperatura média no i -ésimo plantio;

n – número de plantios;

d_i – número dias para alcançar o subperíodo de desenvolvimento no i -ésimo plantio.

I) Unidades Fototérmicas (UF's)

A unidade fototérmica é um índice que combina os efeitos de temperatura e fotoperíodo, utilizando a seguinte equação proposta por Villa Nova et al. (1983):

$$UF = \frac{\left(\frac{n}{2} \text{GD}\right)^{\frac{N_f+1}{N_i}}}{\frac{N_f}{N_i} + 1}$$

em que:

UF = número de unidades fototérmicas acumuladas no período;

n = número de dias do período;

N_i = duração astronômica do dia no início do período;

N_f = duração astronômica do dia no fim do período;

GD = graus-dia médio do período.

Neste método também foram selecionadas previamente T_b candidatas, idênticas às dos métodos anteriores. Calcula-se os valores de UF's, para cada uma das T_b candidatas e os valores dos coeficientes de variação (CV). A T_b candidata que apresentar o menor valor de CV é determinada com a T_b para a cultivar. Para o cálculo de UF's foi utilizado o *software* Tempo Fisiológico (GOMES et al., 2014).

A temperatura base superior (TB) foi determinada de modo similar a T_b , pelo método de desvio padrão em graus-dia (DPgdd) - J. A temperatura em que o DPgdd se tornou constante foi selecionada como a TB (SOUZA et al., 2009). As TB candidatas utilizadas foram de 20 a 35°C, com variação de 1°C. Levou-se em consideração a temperatura basal inferior encontrada de acordo com a fase de desenvolvimento das plantas. Para determinação de graus-dia de desenvolvimento para cada fase, utilizou-se a metodologia apresentada por Ometto (1981), conforme equações abaixo:

Caso 1: $TB > TM > T_m > T_b$

$$GD = \frac{TM - T_m}{2} + T_m - T_b$$

Caso 2: $TB > TM > T_b \geq T_m$

$$GD = \frac{(TM - T_b)^2}{2 \cdot (TM - T_m)}$$

Caso 3: $TB > T_b > TM > T_m$

$$GD = 0$$

Caso 4: $TM > TB > T_m > T_b$

$$GD = \frac{2 \cdot (TM - T_m) \cdot (T_m - T_b) + (TM - T_m)^2 - (TM - TB)}{2 \cdot (TM - T_m)}$$

Caso 5: $TM > TB > T_b > T_m$

$$GD = \frac{1}{2} \cdot \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)}{TM - Tm}$$

em que:

GD = graus-dia;

TM = temperatura máxima do dia;

Tm = temperatura mínima do dia;

Tb = temperatura base inferior;

TB = temperatura base superior;

Após a determinação da temperatura basal inferior pelos diferentes métodos identificou-se o método com melhor aplicabilidade para o alho através de uma análise que leva em consideração a influência térmica e fototérmica. Já para a temperatura basal superior, devido ser determinada por apenas um método, o valor obtido através do método de menor desvio padrão em graus-dia aferiu-se como sendo a TB.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dados de temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e fotoperíodo diário no período experimental podem ser observados na Figura 1. A temperatura média variou de 14,0°C, a 16,8°C, considerando todas as épocas de plantio para a cultivar Chonan, na fase de emergência – diferenciação do bulbo (EM–R1) e para a cultivar Ito a variação foi de 14,0°C a 16,7°C. Na fase diferenciação do bulbo – senescência (R1–SE) a temperatura variou de 17,3°C a 19,8°C para a cultivar Chonan, e de 17,4°C a 19,6°C para a cultivar Ito.

A temperatura mínima absoluta do ar para o ano de 2014 foi de -2,4°C (14/08), para o ano de 2015 foi -1,6°C (16/06) e para o ano de 2016 foi -3,8°C (12/06). A temperatura máxima absoluta do ar foi de 31,8°C (12/10) para o ano de 2014, 31,9°C (23/09) para o ano de 2015 e 26,8°C (12/09) para o ano de 2016.

O fotoperíodo por ser uma relação astronômica não varia entre os anos, para um mesmo local e época, sendo de aproximadamente 11 horas em maio e 14 horas em dezembro.

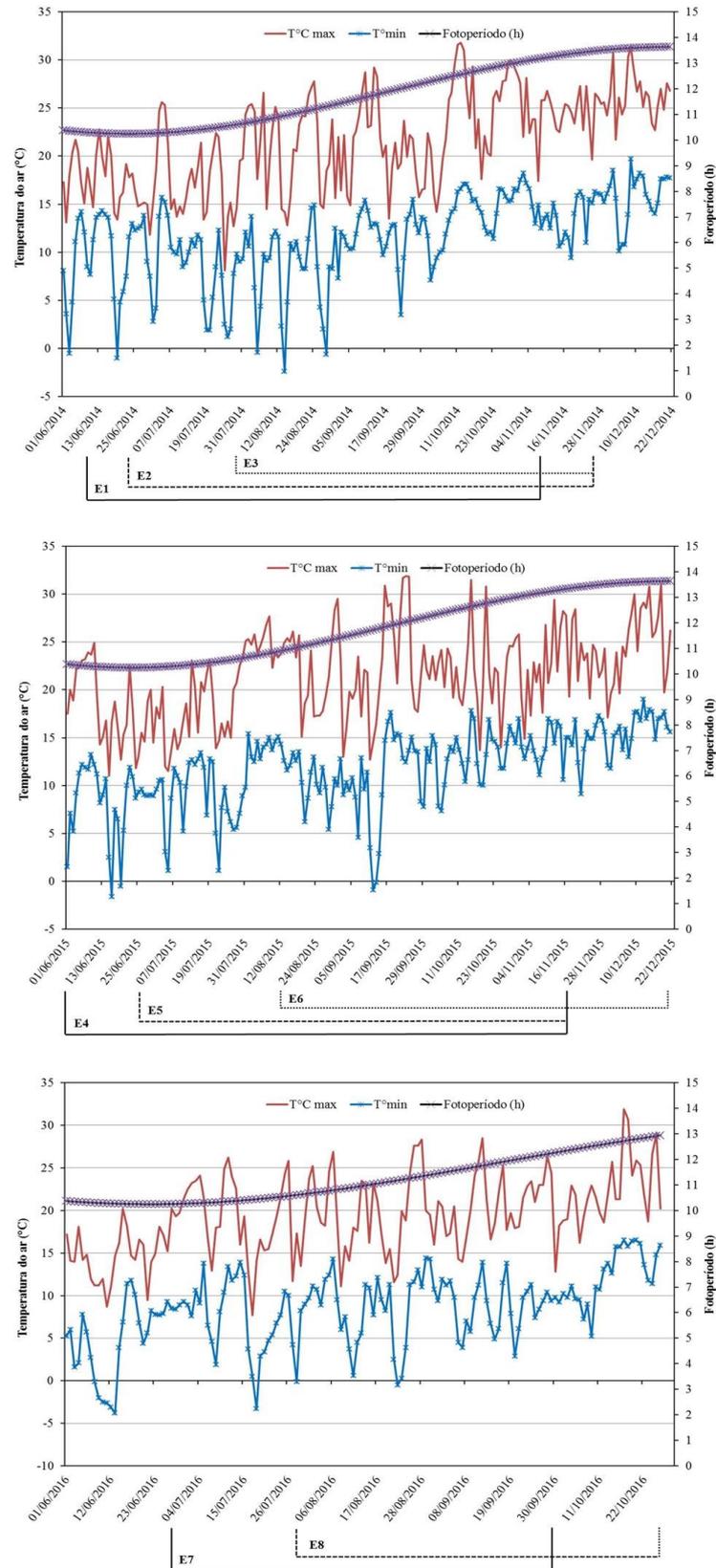


Figura 1. Dados de Temperatura máxima do ar, temperatura mínima no ar e fotoperíodo diário medidos no período experimental para determinação das temperaturas basais inferior e superior em oito épocas de cultivo de alho em Curitiba, SC, Brasil. As épocas de plantio E7 e E8 estão em andamento, portanto o período analisado envolve apenas a fase EM-R1.

A duração das fases de desenvolvimento das plantas em dias para a cultura do alho pode ser observada na Tabela 1. A fase EM–R1 da cultivar Ito variou entre 73 a 116 dias, para temperaturas do ar médias de 16,1°C e 15,1°C, respectivamente. Para a cultivar Chonan a variação foi de 73 a 128 dias, para as temperaturas do ar médias de 16,1°C e 15,3°C, respectivamente. Para a fase R1–SE a variação na duração em dias para a cultivar Ito foi de 45 a 71 dias, para as temperaturas do ar médias de 19,6°C e 18,8°C, respectivamente. E para cultivar Chonan variou de 44 a 66 dias, para as temperaturas do ar médias de 19,6°C e 19,1°C.

Tabela 1. Duração em dias das fases emergência – diferenciação do bulbo (EM–R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1–SE), para as cultivares Ito e Chonan em oito épocas de plantio, em Curitiba, SC, Brasil.

Data de Plantio	ITO			CHONAN		
	EM –R1 (Dias)	R1– SE (Dias)	EM – SE (Dias)	EM –R1 (Dias)	R1– SE (Dias)	EM – SE (Dias)
30/05/2014	99	57	156	99	57	156
21/06/2014	83	71	154	88	66	154
28/07/2014	73	45	118	73	44	117
16/05/2015	116	46	162	128	45	173
19/06/2015	93	47	140	95	50	145
03/08/2015	75	57	132	77	55	132
20/06/2016	91	-	-	93	-	-
22/07/2016	84	-	-	85	-	-
Média	89,3	53,8	143,7	92,3	52,8	146,2
Desvio Padrão	13,9	10,0	16,8	16,9	8,3	19,7
CV (%)	15,9	18,6	11,7	18,3	15,7	13,4

* (-) épocas de plantio em andamento.

De maneira geral é possível observar uma tendência de diminuição da duração das fases com o avanço da época de plantio dentro de um mesmo ano de cultivo. Pedro et al. (2004) também observou em plantas de triticale que com o avanço da época de semeadura ocorre diminuição na duração do ciclo. Também foi observada esta tendência para a cultura da oliveira (SOUZA e MARTINS, 2014) e para cultura de arroz cultivado e arroz vermelho (LAGO et al., 2009). Isso ocorre porque com o avanço das épocas de plantio as temperaturas

do ar tendem a aumentar e, conseqüentemente, as plantas tem mais disponibilidade de energia para crescer e se desenvolver.

Para duração das fases em dias os valores de coeficiente de variação (CV) (Tabela 1), encontram-se em uma faixa considerada de boa precisão (15% a 20%). Para o período do ciclo completo (EM–SE) os valores de CV encontram-se numa faixa entre 10% a 15% considerada ótima (FERREIRA, 1991). A ocorrência de valores altos de coeficiente de variação (CV) ocorre em função de que os plantios são realizados em épocas e anos diferentes, e há uma variação dos elementos meteorológicos como, temperatura do ar e precipitação de um ano para outro, além disso, no ano de 2015 ocorreu um El Niño forte, influenciando fortemente a temperatura do ar e precipitação (CPTEC, 2015).

Os valores de Tb para as fases de EM–R1 e R1–SE, para as duas cultivares estão apresentados na Tabela 2. Os valores de Tb variaram entre os métodos, cultivares e fases de desenvolvimento. Para a fase EM–R1 da cultivar Ito, os valores entre os métodos variaram de 0,5 a 13,0°C, e para a cultivar Chonan de 0,5 a 13,5°C. Para a fase R1–SE os valores variaram entre <0°C a >20,0°C para ambas as cultivares. Essa diferença entre os métodos também foi encontrada para o arroz cultivado, que na fase emergência – diferenciação da panícula (EM – R1) teve Tb variando de 10,3°C a 21°C (LAGO et al., 2009).

Tabela 2. Valores de temperatura base inferior (°C) calculados por diferentes metodologias para as fases de emergência – diferenciação do bulbo (EM-R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1-SE) para as cultivares de alho Ito e Chonan, em Curitiba, SC, Brasil.

Métodos	ITO		CHONAN	
	EM – R1	R1 – SE	EM – R1	R1 – SE
Tradicionais				
DPgdd	13,0	>20,0	13,5	>20,0
DPdia	3,0	< 0,0	1,5	< 0,0
CVgdd	3,0	< 0,0	1,5	< 0,0
Cvdia	2,5	< 0,0	0,5	< 0,0
CR	3,5	>20,0	3,0	>20,0
DR	3,9	>20,0	3,7	>20,0
Modificados por Yang				
DPgdd	12,8	19,9	13,7	>20,0
CVgdd	2,7	>20,0	0,9	>20,0
CR	3,4	>20,0	2,7	>20,0
Unidades fototérmicas				
UF's	0,5	11,0	2,5	5,5

DPgdd: método do menor desvio-padrão em graus-dia; DPdia: método do menor desvio-padrão em dias; CVgdd: método do coeficiente de variação em graus-dia; Cvdia: método do coeficiente de

variação em dias; CR: método do coeficiente de regressão; DR: método do desenvolvimento relativo; UF's = unidades fototérmicas

Os resultados obtidos pelo método tradicional e modificado de DPgdd diferiu, consideravelmente, das estimativas dos demais métodos, estimando valores de Tb entre 12,8°C e >20°C. Resultados superestimados de Tb obtidos pelo método de DPgdd também foram encontrados para genótipos de arroz irrigado e biótipos de arroz vermelho (LAGO et al., 2009), para duas cultivares de oliveira (SOUZA e MARTINS, 2014), em alguns genótipos de sorgo (BANDEIRA et al., 2016) e também para três cultivares de milho (ANDRADE et al., 2005).

Essa diferença na estimativa da Tb pelo método de DPgdd, pode ser explicada a partir da metodologia aplicada, que difere em relação aos demais (YANG et al., 1995). Outra explicação seria o fato dos métodos estatísticos (DPdia, CVgdd, CVdia, CR e DR) estarem fundamentados no sistema linear dos graus-dias, levando em consideração somente a duração das fases e a temperatura do ar. Assim, quando existir uma alta correlação entre a duração da fase de desenvolvimento e a temperatura do ar, o valor obtido de Tb será mais próximo ou preciso ao valor fisiológico de Tb.

A superestimativa da Tb também pode ser explicada devido à baixa correlação da duração da fase EM-R1 com a temperatura média do ar. A cultivar que apresentou os menores valores de coeficiente de determinação (r^2) e correlação (r) foi a que apresentou os valores de Tb mais distantes dos valores esperados para a cultura (Tabela 3). Isso foi ainda mais pronunciado na fase R1–SE, em que quase não houve relação entre a temperatura média do ar e a duração da fase, fazendo com que os valores obtidos em todos os métodos apresentassem valores com pouco significado biológico, com exceção das UF's.

Essa baixa correlação admite que outros fatores influenciam o desenvolvimento, por exemplo, a radiação solar, temperatura e umidade do solo, fotoperíodo, entre outros (RAHIM e FORDHAM, 1990; KAMENETSKY et al., 2004; RIZZALLI et al., 2002), o que difere do encontrado por Mathew et al (2011), que afirma que a fase vegetativa é mais dependente da temperatura do ar. Baixa correlação entre a temperatura do ar e a duração das fases também foi evidenciada por Massignam e Angelocci (1993), na fase de floração – colheita, para as cultivares de girassol em que obtiveram valores de r variando de 0,348 a 0,506.

Tabela 3. Valores de coeficientes de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r) entre a temperatura média do ar e a duração média das fases emergência – diferenciação do bulbo (EM-R1) e diferenciação do bulbo – senescência (R1-SE), para as cultivares Ito e Chonan em Curitiba, SC, Brasil.

Fases	ITO		CHONAN	
	r^2	R	r^2	r
EM - R1	0,22	-0,46	0,14	-0,37
R1 - SE	0,06	0,25	0,08	0,28

O fotoperíodo é considerado, biologicamente, um indutor do desenvolvimento reprodutivo em alho (MATHEW et al., 2011). Diante dessa constatação buscou-se uma metodologia mais adequada para determinação da Tb, baseada na variável de unidades fototérmicas (UF's). Essa metodologia utiliza a temperatura média do ar e o fotoperíodo, como elementos que atuam de forma conjunta no desenvolvimento de plantas. Através da determinação das UF's para cada época determinou-se a correlação entre as UF's e a duração das fases (Figura 2).

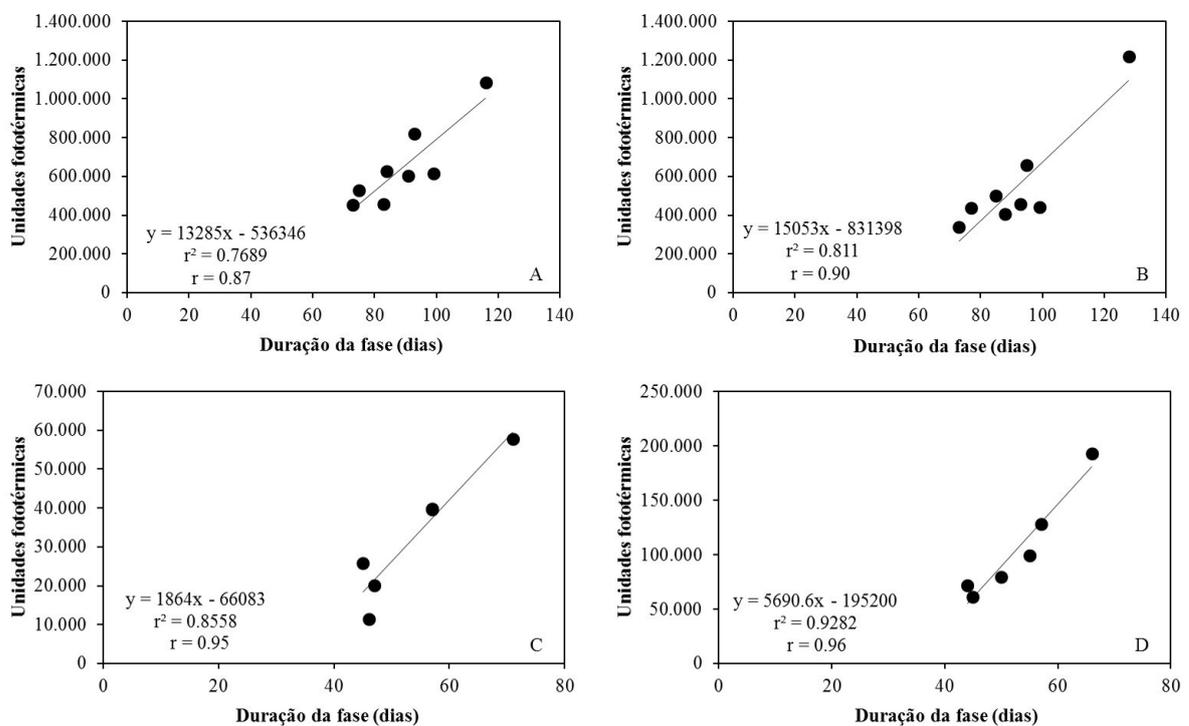


Figura 2. Duração da fase emergência – diferenciação do bulbo para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e da diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em função da variável unidades fototérmicas, em Curitiba, SC, Brasil.

Observou-se através dessa análise que existe uma alta correlação entre a duração das fases com as UF's para ambas as cultivares. O coeficiente de correlação entre a duração da fase EM–R1 foi de 0,87 para a cultivar Ito e 0,90 para a cultivar Chonan. Enquanto que para a fase R1–SE apresentou valores de 0,95 e 0,96 para a cultivar Ito e Chonan, respectivamente. Essas correlações, consideradas altas, ressaltam a influência da temperatura juntamente com o fotoperíodo na duração das fases fenológicas do alho.

Na Figura 3 estão apresentadas as temperaturas basais inferior obtidas através do método das UF's. Os valores de Tb encontrados para a cultivar Ito na fase EM–R1 e R1–SE são de 0,5°C e 11°C, respectivamente. Para a cultivar Chonan os valores foram de 2,5°C e 5,5°C, para a fase EM– R1 e R1–SE, respectivamente. Verifica-se que os valores para a fase EM–R1 são próximos aos encontrados pelas metodologias tradicionais de soma térmica, o mesmo já não acontece com a fase R1–SE, em que é possível determinar de forma mais coerente o valor da Tb através do método de UF's.

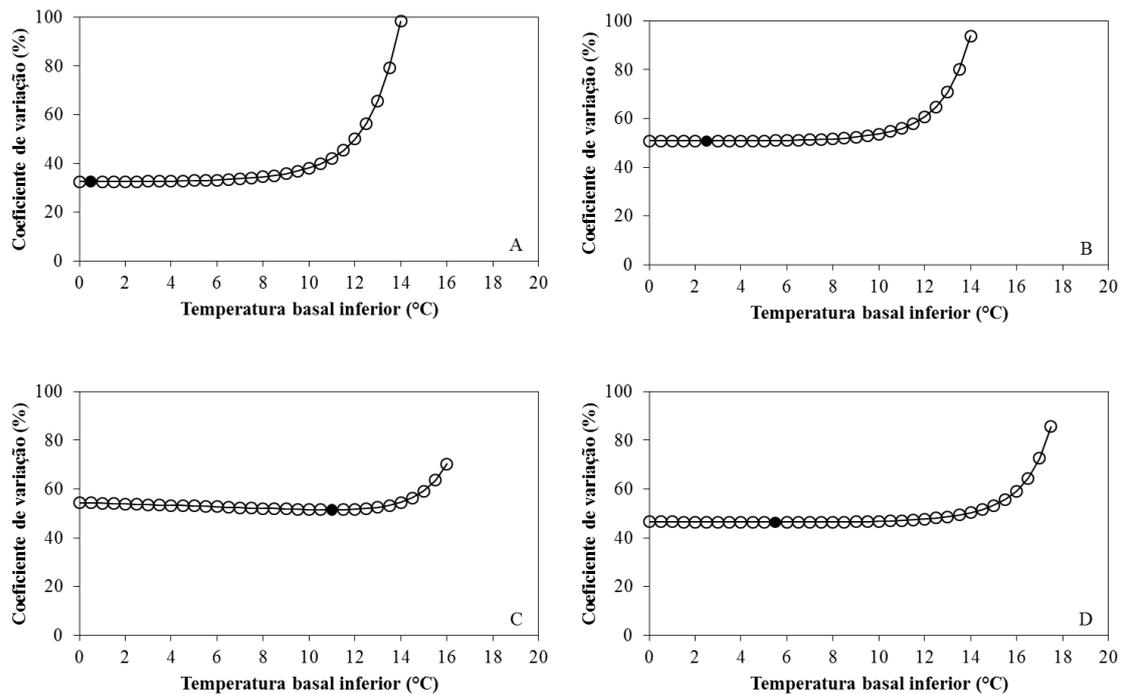


Figura 3. Método de unidade fototérmicas para determinação da temperatura base inferior da fase emergência – diferenciação do bulbo para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e da diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em Curitiba, SC, Brasil.

Para a cultura do alho identificou-se que o melhor método para determinação da Tb foi o de unidades fototérmicas por ser uma variável que combina a ação da temperatura do ar e do

fotoperíodo. Aferiu-se assim que os valores encontrados nesta metodologia são considerados como os valores T_b para cada fase de desenvolvimento para as cultivares Ito e Chonan.

Levando em consideração as T_b obtidas, foi possível determinar a temperatura base superior (TB) da cultura do alho, que estão apresentadas na Figura 4. É possível observar que a TB para a cultivar Ito na fase EM–R1 foi estimada em 28°C, enquanto que para a Chonan o valor foi de 30°C. Para a fase R1–SE, as TB encontradas foram de 30°C e 32°C, para as cultivares Ito e Chonan, respectivamente. Devido a TB ser uma temperatura elevada e raramente alcançada a campo, não é frequente a sua determinação em trabalhos de estimativa de temperaturas basais. Fato este que difere das condições climáticas observadas durante este experimento, em que a TB foi alcançada em ambas as fases de desenvolvimento. Isso indica que o conhecimento da TB é importante para a caracterização do desenvolvimento de plantas de alho cultivadas em condições climáticas que apresentem temperaturas mais quentes, assim, frequentemente ultrapassará a TB, restringindo o desenvolvimento da cultura.

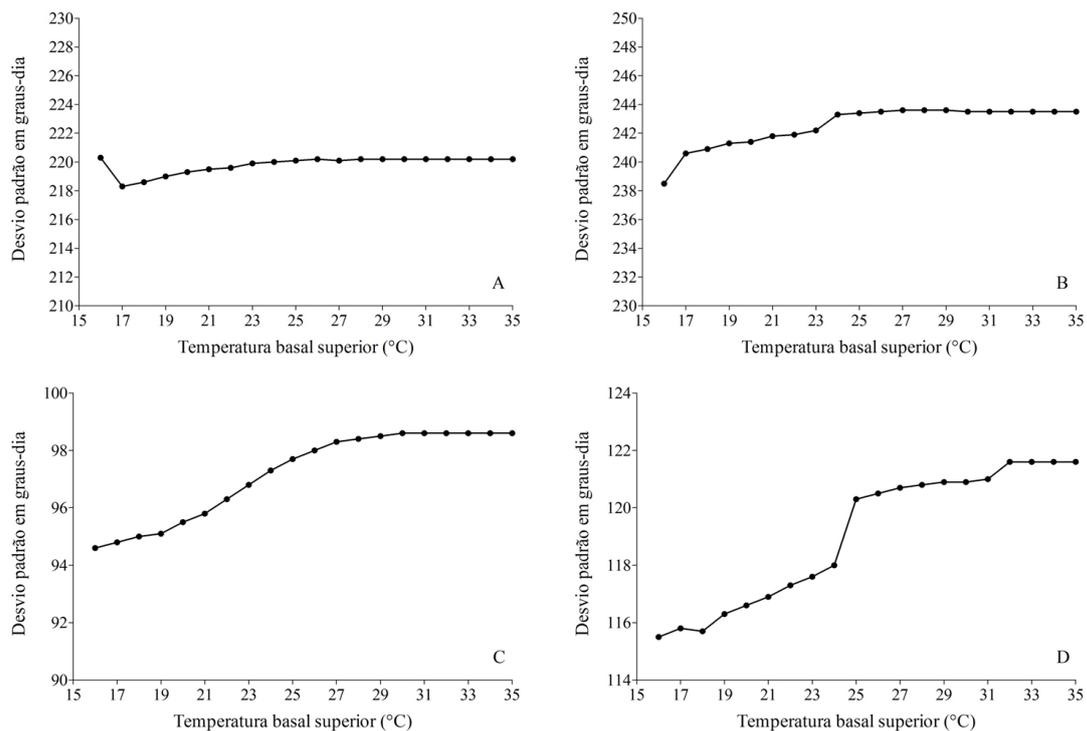


Figura 4. Método de desvio padrão em graus-dia para determinação da temperatura base superior da fase emergência – diferenciação do bulbo para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e da fase diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em Curitiba, SC, Brasil.

No que se refere à determinação da temperatura base inferior e superior para a cultura do alho, não existem muitos estudos, entretanto, de acordo com BRAGA E BIASI (1987), a

T_b para a cultivar Chonan é de 9,0°C para todo o ciclo, na região de Caçador, SC. Esse valor apresenta semelhança ao valor encontrado para a fase R1–SE para cultivar Ito utilizando as metodologias de DP_{dia}, CV_{gdd}, CV_{dia}, CR e DR. Para Brewster e Rabinowitch (1990), a temperatura base inferior foi considerada como 0°C, esse valor aferido pelos autores está similar aos encontrados no presente trabalho para a fase EM–R1. Com relação a temperatura base superior, adotou-se com base na revisão de literatura, o valor de 30°C (BRAGA e BIASI, 1987), próximo aos valores encontrados no presente estudo para TB.

A duração total do ciclo de desenvolvimento e das fases EM–R1 e R1–SE foram contabilizados em termos de soma térmica considerando as T_b encontradas. Para a fase emergência – diferenciação do bulbo a T_b foi de 0,5°C e 2,5°C para a cultivar Ito e Chonan, respectivamente. Para a fase desenvolvimento do bulbo – senescência os valores foram de 11°C para a cultivar Ito e 5,5°C para a cultivar Chonan. A soma térmica variou entre as cultivares e entre as épocas de plantio (Figura 5). É possível observar que independente da época e da cultivar, a planta obteve uma maior soma térmica acumulada para o período de desenvolvimento vegetativo (EM–R1). Para a cultivar Ito, a época 4 (12/09/2014) foi a que apresentou um ciclo de desenvolvimento mais longo (1.992,1°C dia) e o menor ciclo foi na época 3, plantio realizado em 28/07/2014 com acúmulo de 1.524,8°C dia. A mesma tendência observou-se para a cultivar Chonan, maior acúmulo na época 4 (2.167,1°C dia) e menor na época 3 (1.626,3°C dia). Devido a cultura do alho ser responsiva ao fotoperíodo pode-se justificar essa diferença de soma térmica, uma vez que fotoperíodo pode modificar a soma térmica (STRECK et al., 2003).

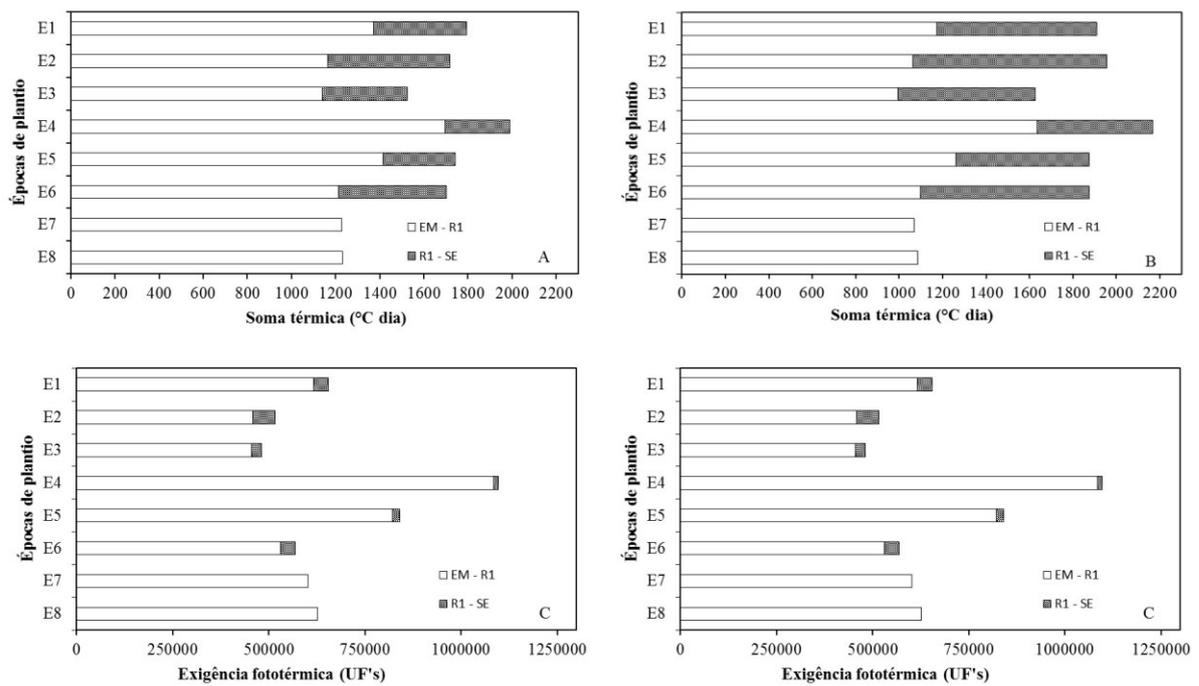


Figura 5. Soma térmica acumulada nas fases de emergência – diferenciação do bulbo e diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (A) e Chonan (B), e exigência fototérmica nas fases de emergência – diferenciação do bulbo e diferenciação do bulbo – senescência para a cultivar Ito (C) e Chonan (D), em Curitiba, SC, Brasil.

A exigência fototérmica na fase de desenvolvimento vegetativo (EM-R1) foi em média de 649.349,4 UF's para a cultivar Ito e de 557.258,7 UF's para a cultivar Chonan. Essa diferença encontrada entre as épocas de plantio para a exigência fototérmica nos indica ainda que outros fatores influenciam o desenvolvimento da cultura, mas essa possibilidade deve ser estudada com mais detalhes em futuros trabalhos.

4 CONCLUSÕES

O método de Unidade Fototérmicas, é uma alternativa que permite estimar a Tb de plantas de alho Ito e Chonan, pois combina a ação da temperatura do ar e do fotoperíodo.

As temperaturas basal inferior e superior estimadas para a cultivar Ito na fase emergência – diferenciação do bulbo são de 0,5°C e 2 8°C e na fase diferenciação do bulbo – senescência são de 11 °C e 30 °C.

As temperaturas basal inferior e superior estimadas para a cultivar Chonan na fase emergência – diferenciação do bulbo são de 2,5°C e 30°C e na fase diferenciação do bulbo – senescência são de 5,5°C e 32°C.

A soma térmica acumulada média, da emergência até a senescência é de 1.745,7°C dia para cultivar Ito e 1.901,5°C dia para a Chonan.

A exigência fototérmica média, da emergência a senescência é de 693.242,7 UF's para a cultivar Ito e 688.378,4 UF's para a Chonan.

Base temperatures for garlic at different development phases

Melina Inês Bonatto

Abstract

Among the environmental conditions that influence the growth and development of garlic plants include the air temperature and photoperiod. The development of plants is limited by the lower (T_b) and higher (T_B) basal body temperature suitable for each genotype at each stage of its cycle. The basal temperatures represent the temperature below and above which the plant development is zero, or it happens in a very reduced form. Base temperatures vary between plants and between genotypes within the same species, and also according to the age and phenologic stage of the plant. This study aimed to estimate the base temperatures of noble garlic plants in various stages of development with the application of statistical methods that take into account the air temperature and photoperiod. From the definition of the basal temperatures, it is objected, also, to determine the thermal and photothermal requirement of garlic plants throughout the development cycle. Field experiments were conducted in three years (2014/2015/2016) with different planting times each year in Curitiba, SC. Two cultivars of noble garlic, Ito and Chonan, were used. The plant development cycle was divided into two phases: emergency - differentiation bulb (EM-R1) and differentiation of bulb - senescence (R1-SE). The T_b was estimated using ten statistical methods. The T_B was estimated by the standard deviation method in degree days. For garlic cultivation it was identified that the best method for determining T_b is the photothermal units, since it combines the air temperature and photoperiod. The lower threshold temperature for the estimated phase EM-R1 and R1-SE for cultivating Ito was 0.5°C and 11°C respectively. To cultivate Chonan in EM-R1 T_b phase was 2.5°C and 5.5°C for the R1-SE phase. The upper threshold temperature for EM-R1 phase was estimated at 28°C for Ito, while for Chonan the value was 30°C . For R1-SE stage it was 30°C and 32°C , for Chonan cultivars and Ito, respectively. Considering the complete cycle (EM-SE) plant, the thermal requirement for cultivating Ito was $1.745,7^\circ\text{C day}$ and $1.901,5^\circ\text{C day}$. The average photothermal requirement was $693,242.7 \text{ UF}$ to cultivate Ito and $688,378.4 \text{ UF}$ to Chonan.

Key-words: *Allium sativum* L. Photothermal unities. Thermal unit. Phenology

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Ricardo Guimarães; SEDIYAMA, Gilberto Chohaku; ZOLNIER, Sérgio; COSTA, Luis Cláudio. Avaliação de métodos para estimativa da temperatura-base para as culturas de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 316-325, 2005.
- ANDREUCCI, M. P.; MOOT, D. J.; BLACK, A. D.; SEDCOLE, R. A comparison of cardinal temperatures estimated by linear and nonlinear models for germination and bulb growth of forage brassicas. **European Journal of Agronomy**, v. 81, p. 52-63, 2016.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basic for computing heat unit. **Proceedings off the American Society for Horticultural Sciences**. v.76, p. 682-692, 1960.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, v.74, p.430-445, 1959.
- ATASHI, Sadegh; AKBARPOUR, Vahid; MASHAYEKHI, Kambiz; MOUSAVIZADE, Seyyed Javad. Garlic physiological characteristics from harvest to sprouting in response to low temperature. **Journal of Stored Products and Postharvest Research**, v. 2, p. 285-291, 2011.
- BANDEIRA, Andrieli Hedlund; MEDEIROS, Sandro Luis Petter; EMYGDIO, Beatriz Marti; BIONDO, Jean Cecchim; SILVA, Nayra Grazielle da. Temperatura base inferior e exigência térmica de genótipos de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p. 240-250, 2016.
- BONHOMME, Raymond. Bases and limits to using ‘degree. day’ units. **European Journal of Agronomy**, v. 13, p. 1-10, 2000.
- BRAGA, Hugo José; BIASI, José. Determinação das temperaturas - base e graus - dia de três cultivares alho de ciclo precoce, médio e tardio. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 5, 1987, Belém, PA. O clima e o desenvolvimento rural brasileiro: coletânea de trabalhos apresentados. Belém: Embrapa-CPATU, p. 91-93. 1987.
- BREWSTER, James L.; RABINOWITCH, Haim D. Onions and Allied Crops. Three volumes. Boca Raton, Florida: CRC Press (1990). Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=VFGYQcYkCYoC&oi=fnd&pg=PA147&dq=Brewster+%26+Rabinowitch,+1990&ots=3gNTDe2-A8&sig=k1vO0jX2_Cc0EWSqXlPzwi1SZQ#v=onepage&q=Brewster%20%26%20Rabinowitch%2C%201990&f=false>. Acesso em: 08 set. 2015.
- BRUNINI, O.; LISBÃO, R. S.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B.; PEDRO JÚNIOR, M. J. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**. Campinas. v.35, n.19, p. 213-219, 1976.
- BURIOL, Galileo Adeli; MANARA, Nublea Tereza. F.; MANARA, Wilson. Temperatura base dos subperíodos emergência-floração e floração-maturação de quarto linhagens de

lentilha (*Lens culinaris medic*). **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.8, n.2, p.175-184, 1978.

CORTÉS, C. Fabeiro; OLALLA, F. Martín de Santa; URREA, R. López. Production of garlic (*Allium sativum L.*) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 59, p. 155 -167, 2003.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Fenômeno El Niño se Intensifica sobre o Oceano Pacífico Equatorial. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

DEL POZO Alejandro L.; GONZÁLEZ, María Inés. A. Developmental responses of garlic to temperature and photoperiod. **Agricultura Técnica**, vol. 65, n. 2, p. 119-126, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Parana, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Editores técnicos: Wreg. M.S.; Steinmetz. S.; Reisser. J. C.; Almeida. I.R. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas. 2011.

FERREIRA, Paulo Vanderlei. **Estatística experimental aplicada a agronomia**. Maceió: EDUFAL. 1991. 440p.

FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.

GILMORE. E. C.; ROGERS. J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**. v. 50, n.10, p. 611-615, 1958.

GOMES, Raphael de Souza Rosa; CARVALHO, Paula Valéria de; OLIVEIRA, Renan Gonçalves de; ZARISTA, Saiani; LOBO, Francisco de Almeida. Software for calculating the baseline temperature minima using the method of photothermal units. **Ambiência**, v. 10, n. 3, p. 677–684, 2014.

HOOVER, Maurice W. Some effects of temperature on the growth of southern peas. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, v. 66, p. 308-312, 1955.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 27 set. 2016.

KAMENETSKY, Rina; SHAFIR, Idit London; ZEMAH, Hanita; BRAZILAY, Amalia; RABINOWITCH, H. D. Environmental control of garlic growth and florogenesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, p.144-151, 2004.

LAGO, Isabel; STRECK, Nereu Augusto; CARVALHO, Melissa Pisaroglo de; FAGUNDES, Lovane Klein; PAULA, Gizelli Moiano de; LOPES, Sidinei José. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v. 56, p. 288-295, 2009.

LIMA, Edson Pereira; SILVA, Élio Lemos da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 266–273, 2008.

LOPEZ-BELLIDO, F. J.; LOPEZ-BELLIDO, R. J.; MUÑOZ-ROMERO, V.; FERNANDEZ-GARCIA, P.; LOPEZ-BELLIDO, L. New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum*). **Annals of Applied Biology**, v. 169, n. 3, p. 423–439, 2016.

LUCINI, Marco Antônio. **Manual prático de produção de alho**. 2. ed. Curitiba: 2004, 138p.

LUO, Qunying. Temperature thresholds and crop production: a review. **Climatic Change**, p.583–598, 2011.

MAGOON, C. A.; CULPEPPER, C. W. Response of sweet corn to varying temperatures from time of planting to canning maturity, US Dept. Agric. Tech. Bull, p. 312, 1932 apud YANG, Senshan; LOGAN, Joanne; COFFEY, David L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 61-74, 1995.

MASSIGNAM, Angelo Mendes; ANGELOCCI, Luiz Roberto. Relações entre temperatura do ar, disponibilidade hídrica no solo, fotoperíodo e duração de subperíodos fenológicos do girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 63-69, 1993.

MATHEW, Deepu; FORER, Yitzhak; RABINOWITCH, Haim D.; KAMENETSKY, Rina. Effects of long photoperiod on the reproductive and bulbing processes in garlic (*Allium sativum* L.) genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, p.166-173, 2011.

MÜLLER, Liziany; MANFRON, Paulo Augusto; MEDEIROS, Sandro Luís Petter; STRECK, Nereu Augusto; MITTELMAN, Andréa; DOURADO NETO, Durval; BANDEIRA, Andriéli Hedlund; MORAIS, Katiule Pereira. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diplóides e tetraplóides de azevém. **Ciência Rural**, v.39, p.1343-1348, 2009.

NUTTONSON, M. Y. Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the phenothermal requirements of wheat. Am. Inst. Crop Ecol. Washington, 1958 apud YANG, Senshan; LOGAN, Joanne; COFFEY, David L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 61-74, 1995.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronomica ceres. 1981. 425p.

PEDRO JÚNIOR, Mário José; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de; MORAES, Adriana Vieira de Camargo; FELÍCIO, João Carlos; CASTRO, Jairo Lopes de. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para culturas de triticale. **Bragantia**. v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.

PILAU, Felipe Gustavo; BATTISTI, Rafael; SOMAVILLA, Lucindo; SCHWERZ, Luciano. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crame. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 958–964, 2011.

RAHIM, M. A.; FORDHAM, R. Effect of shade and environmental conditions on the initiation and development of garlic cloves (*Allium sativum* L.) **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 45, p. 21-30, 1990.

RIZZALLI, R. H.; VILLALOBOS, F. J.; ORGAZ, F. Radiation interception, radiation-use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 33-43. 2002.

ROWSE, H. R.; FINCH-SAVAGE, W. E. Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. **New Phytologist**, v. 158, n. 1, p. 101–108, 2003.

SOUZA, Plínio Marcos Bernardo de; MARTINS, Fabrina Bolzan. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p.307-313, 2014.

SOUZA, Adilson Pacheco de; SILVA, Andréa Carvalho da; LEONEL, Sarita; ESCOBEDO, João Francisco. Temperaturas basais e soma térmica para a figueira podada em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.31. n.2. p.314-322. 2009.

STRECK, Nereu Augusto; WEISS, Albert; XUE, Q.; BAENZIGER, P. Stephen. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.115, p.139-150, 2003.

VILLA NOVA, N. A.; CARRETEIRO, M. V.; SCARDUA, R. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1983, Campinas. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p.31-48.

YANG, Senshan; LOGAN, Joanne; COFFEY, David L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 61-74, 1995.