

Fenologia e acúmulo térmico em videiras viníferas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul

Tiago Camponogara Tomazetti⁽¹⁾, Márcia Denise Rossarolla⁽¹⁾, André Ricardo Zeist⁽²⁾, Clevison Luiz Giacobbo⁽³⁾, Leocir José Welter⁽⁴⁾ e Cleber Maus Alberto⁽⁵⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Campus Florianópolis, Rodovia Admar Gonzaga, nº 1.346, Bloco B, Itacorubi, CEP 88034-001 Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: tiago.tomazetti@posgrad.ufsc.br, marcia.rossarolla@posgrad.ufsc.br ⁽²⁾Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus Cedetec, Rua Simeão Camargo Varela de Sá, nº 03, CEP 85040-080 Guarapuava, PR, Brasil. E-mail: andre.zeist@bol.com.br ⁽³⁾Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Chapecó, Rodovia SC 484, km 02, Bairro Fronteira Sul, CEP 89001-001 Chapecó, SC, Brasil. E-mail: clevison.giacobbo@uffs.edu.br ⁽⁴⁾Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, CEP 89520-000 Curitibanos, SC, Brasil. E-mail: leocir.welter@ufsc.br ⁽⁵⁾Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui, Rua Luiz Joaquim de Sá Brito, s/nº, Bairro Promorar, CEP 97650-000 Itaqui, RS, Brasil. E-mail: cleberalberto@unipampa.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a exigência térmica, obtida por diferentes métodos de cálculo, para caracterizar a fenologia das videiras (*Vitis vinifera*) 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', cultivadas na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. O desenvolvimento fenológico foi acompanhado durante cinco safras – 2005/2006 a 2009/2010. As temperaturas mínimas e máximas do ar foram coletadas diariamente e foram testados oito métodos de soma térmica: M1.1, M1.2 e M1.3, que utilizaram somente a temperatura base inferior (10°C); M2.1 e M2.2, que consideraram também a temperatura ótima de desenvolvimento de 25°C; e M3.1, M3.2 e M3.3 que, além das anteriores, utilizaram 35°C como temperatura base superior do desenvolvimento. Estes métodos foram comparados pelo erro-padrão das estimativas de soma térmica. O teste SNK foi utilizado para a comparação da exigência térmica entre as cultivares. O método M3.3 foi o que melhor simulou o desenvolvimento em 'Tannat' e 'Merlot' (1.823,1 e 1.780,8 graus-dia respectivamente). No entanto, o menor desvio foi obtido em 'Cabernet Sauvignon' e 'Ruby Cabernet', pelo método M3.1 (1.958,9 e 1.944,8 graus-dia respectivamente). Os métodos que empregaram as três temperaturas cardinais apresentaram maior precisão. 'Tannat' e 'Merlot' são as cultivares de videira que apresentam a menor exigência térmica para completar o ciclo.

Termos para indexação: *Vitis vinifera*, desenvolvimento vegetal, graus-dia, soma térmica, temperatura, viticultura.

Phenology and thermal accumulation in grapevines in the Fronteira Oeste region of Rio Grande do Sul, Brazil

Abstract – The objective of this work was to evaluate the thermal requirement, obtained by different thermal time calculation methods, to characterize the grapevine (*Vitis vinifera*) phenology of 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet', and 'Merlot' grown in the Fronteira Oeste region, of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The phenological development was followed for five seasons – 2005/2006 to 2009/2010. Minimum and maximum air temperatures were recorded daily, and the following eight thermal time methods were tested: M1.1, M1.2, and M1.3, which use only the down threshold temperature (10°C); M2.1 and M2.2, which also consider 25°C as the optimum temperature for development; and M3.1, M3.2, and M3.3, which, besides using the prior temperatures, consider 35°C as the upper threshold temperature of development. These methods were compared using the standard error (SE) estimates of accumulated heat. The SNK test was used to compare the thermal requirement between cultivars. M3.3 was the method that best simulated 'Tannat' and 'Merlot' development (1,823.1 and 1,780.8 degree-day respectively). However, the least deviation was obtained in 'Cabernet Sauvignon' and 'Ruby Cabernet' using the M3.1 method (1,958.9 and 1,944.8 degree-day respectively). Methods employing the three cardinal temperatures showed greater accuracy. 'Tannat' and 'Merlot' are the cultivars that show the lowest thermal requirement to complete the cycle.

Index terms: *Vitis vinifera*, plant development, degree-day, thermal time, temperature, viticulture.

Introdução

O cultivo de videiras é uma atividade passível de ser praticada em diversas regiões do mundo, em razão

da adaptação das espécies a vários tipos de clima e solo. Contudo, a produção de vinhos é restrita a regiões com condições edafoclimáticas adequadas, para a obtenção de alto nível de sólidos solúveis e

baixa acidez total, ideais para a produção da bebida (Ferreira et al., 2004).

Para produzir uvas com índices de maturação adequados, a videira vinífera necessita de inverno frio, primavera com temperaturas amenas e verão quente e seco (Santos et al., 2011). Essas condições podem ser encontradas na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil – região promissora para cultivo de videiras destinadas à produção de vinhos finos. No entanto, para o cultivo em novas áreas de produção vitivinícola, é necessária a determinação dos estágios fenológicos, dos índices de crescimento e produção, e das variações meteorológicas ao longo dos anos (Borghazan et al., 2011), pois as condições climáticas do ambiente interferem na fenologia da planta (Chavarria et al., 2009; Sato et al., 2011).

Nesse contexto, há carência de estudos que caracterizem o comportamento fenológico de variedades viníferas cultivadas na região, onde há novos vinhedos instalados com variedades europeias (*Vitis vinifera*), para a produção de vinhos finos, entre as quais destaca-se o cultivo de cultivares de tintos como 'Cabernet Sauvignon', 'Merlot', 'Tannat' e 'Ruby Cabernet', além de outras voltadas à produção de espumantes, como a 'Chardonnay'.

A cultivar 'Cabernet Sauvignon' é a videira europeia mais difundida em todo o globo, contudo, pouco se sabe sobre sua origem; estudos relatam que seu surgimento ocorreu na região de Bordeaux na França, e dados moleculares evidenciam que ela surgiu, provavelmente, de um cruzamento entre a 'Cabernet Franc' e a 'Sauvignon Blanc' (Bowers & Meredith, 1997). Atualmente, muitos programas de melhoramento utilizam esta cultivar para cruzamentos, visando a qualidade do vinho e a ampla adaptabilidade a diversas regiões produtoras. Entretanto, assim como para as demais variedades finas, o ambiente apresenta forte influência sobre o comportamento produtivo e a qualidade desta cultivar (Cáceres et al., 2012); por isso, ressalta-se a importância de estudos que caracterizem a adaptabilidade da cultivar à região produtora.

A 'Merlot' é uma das variedades mais cultivadas mundialmente, no entanto, há pouca informação científica a respeito de sua origem – provavelmente Sudoeste da França, junto a um grupo de outras cultivares locais e também globalmente dispersas, como 'Carmenère' e 'Merlot Blanc' (Boursiquot et al., 2009). A 'Merlot' apresenta boa tolerância a condições

ambientais adversas, como o estresse hídrico que, conforme a intensidade e demais condições ambientais, pode influenciar a qualidade de seu vinho, em consequência da produção de compostos do metabolismo secundário e concentração de compostos primários (Herrera et al., 2015).

As cultivares 'Cabernet Sauvignon' e 'Merlot', 'Ruby Cabernet' e 'Tannat' têm poucos dados científicos que rastreiam com exatidão sua origem genética, contudo, dados moleculares tomados em um amplo grupo de genótipos, avaliados por meio de loci microssatélites mostram que a 'Tannat' se originou, provavelmente, a partir da seleção de variedades silvestres (Péros et al., 2011). Por sua maior rusticidade e menor grau de domesticação, em comparação às demais cultivares, a 'Tannat' apresenta maior produção de metabólitos secundários, como taninos, polifenóis e antocianinas, mesmo em condições ideais de desenvolvimento, o que impacta a qualidade de seu vinho e agrega valor farmacológico à variedade (González-Neves et al., 2012).

Cultivares viníferas caracterizam-se por sua alta sensibilidade a adversidades biológicas (Merz et al., 2014) e à elevada influência das condições ambientais sobre sua fisiologia e comportamento produtivo (Rosa et al., 2014). Fatores diversos que afetam sua fenologia devem ser caracterizados para cada região produtora.

O conhecimento da duração das fases fenológicas é uma exigência da viticultura moderna (Jubileu et al., 2010). Estes autores destacam a aplicabilidade destes estudos em pesquisas, para o manejo da cultura com a finalidade de interferir nas datas de ocorrência dos eventos fenológicos. A caracterização fenológica permite o planejamento otimizado dos tratamentos culturais e do manejo dos vinhedos nas diversas fases do seu ciclo (Santos et al., 2007; Chavarria et al., 2009). Contudo, para realizar a caracterização fenológica, são necessários subsídios científicos que permitam a adoção das metodologias e análises adequadas.

Um fator importante a ser conhecido é a quantidade de energia de que as plantas necessitam para completar seu ciclo de desenvolvimento. Essa quantidade constante de energia é denominada unidade térmica ou soma térmica, normalmente expressa em graus-dia (°C dia). A soma térmica é um método muito utilizado para contabilizar o desenvolvimento de culturas, pois leva em conta o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento vegetal, a qual é um dos principais

fatores ecológicos que governam o desenvolvimento de plantas (Streck et al., 2005).

Para a estimativa da soma térmica diária, os métodos de cálculo podem ser agrupados em duas categorias, uma está relacionada ao uso das temperaturas cardinais do desenvolvimento da planta, e outra ao emprego das temperaturas do ar. Na primeira categoria, os métodos podem ser agrupados quanto ao uso somente da temperatura base inferior, ou podem considerar o emprego da temperatura ótima ou, ainda, a temperatura base superior para o desenvolvimento das plantas. Na segunda categoria, os métodos podem ser agrupados de acordo com o emprego somente da temperatura média do ar ou, ainda, considerar as temperaturas mínimas e máximas do período (Rosa et al., 2009). Para estudos que visam investigar o comportamento fenológico, é necessário conhecer o melhor método para cálculo da soma térmica a ser empregado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a exigência térmica, obtida por diferentes métodos de cálculo, para caracterizar a fenologia das videiras (*Vitis vinifera*) 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', cultivadas na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em vinhedo comercial, da vinícola Campos de Cima, no município de Maçambará, RS, a 29°03'7"S, 55°40'51"W, à altitude de 130 m. De acordo com o sistema proposto por Köppen, o clima da região é classificado como Cfa – subtropical, sem estação seca definida –, com precipitação média anual de 1.700 mm e temperatura média anual de 19 °C. O solo da região é de textura argilosa, pertence à unidade de mapeamento de São Borja, RS, e é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico, originário do basalto, e com profundidade superior a 150 cm. Este solo apresenta saturação por bases inferior a 50% e teores de Fe₂O₃ de 150 g kg⁻¹, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

Avaliou-se o ciclo de desenvolvimento fenológico das quatro seguintes cultivares de videira: 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', enxertadas sobre 'Paulsen 1103', conduzidas em sistema de espaldeira, com três fios de arame a 1,20 m do solo, espaçados em 30 cm cada, com espaçamento

entre fileiras de 4 m e entre plantas de 1,25 m, na mesma fila (2.000 plantas ha⁻¹).

O acompanhamento fenológico ocorreu entre as safras 2005/2006 a 2009/2010, em 15 plantas selecionadas aleatoriamente para cada cultivar. Considerou-se mudança do estágio fenológico quando mais de 50% dos indivíduos (mínimo de 8 plantas) completaram o período; a data de ocorrência dos estágios fenológicos está apresentada na Tabela 1. Nas avaliações, caracterizaram-se os seguintes períodos: o vegetativo, do início da brotação ao início da floração (IB–IF); reprodutivo, do início da floração ao início da maturação (IF–IM); maturação, do início da maturação à colheita (IM–C); e ciclo completo, considerado do início da brotação à colheita (IB–C). O início da maturação foi considerado no momento em que as bagas estavam no “*veraison*”, conforme descrito por Parker et al. (2013); este momento foi adotado pela peculiar alteração metabólica que ocorre na baga, quando cessa o crescimento e se inicia o processo de maturação. A colheita foi realizada conforme critérios

Tabela 1. Data dos estágios fenológicos observados nas videiras 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', nas safras 2005/2006-2009/2010, na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul.

Cultivar	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010
Início da brotação					
'Cabernet Sauvignon'	6/set.	5/set.	13/set.	15/set.	1/set.
'Tannat'	6/set.	14/set.	15/set.	3/set.	11/set.
'Ruby Cabernet'	9/set.	3/set.	14/set.	29/ago.	15/set.
'Merlot'	10/set.	12/set.	17/set.	14/set.	4/set.
Início da floração					
'Cabernet Sauvignon'	23/out.	25/out.	18/out.	28/out.	16/out.
'Tannat'	23/out.	15/out.	23/out.	31/out.	24/out.
'Ruby Cabernet'	21/out.	22/out.	20/out.	25/out.	23/out.
'Merlot'	20/out.	28/out.	25/out.	29/out.	18/out.
Início da maturação					
'Cabernet Sauvignon'	28/dez.	5/jan.	10/dez.	1/jan.	20/dez.
'Tannat'	2/jan.	4/jan.	30/dez.	4/jan.	20/dez.
'Ruby Cabernet'	29/dez.	2/jan.	29/dez.	2/jan.	22/dez.
'Merlot'	2/jan.	15/jan.	6/jan.	28/dez.	13/dez.
Colheita					
'Cabernet Sauvignon'	19/fev.	11/mar.	5/mar.	15/fev.	28/fev.
'Tannat'	19/fev.	27/fev.	24/fev.	8/fev.	9/fev.
'Ruby Cabernet'	11/fev.	11/mar.	13/mar.	8/fev.	28/fev.
'Merlot'	11/fev.	11/mar.	9/mar.	1/fev.	3/fev.

adotados para a produção de vinhos finos, quando as bagas apresentam coloração intensa e teor de sólidos solúveis totais superior a 21 °Brix.

A duração das fases do desenvolvimento foi determinada por meio da soma térmica (graus-dia) necessária à mudança das fases do ciclo de desenvolvimento. Testaram-se oito métodos de cálculo da soma térmica diária (STd). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro cultivares de videira, em cinco anos de observação. As observações consistiram de acompanhamento visual do estágio fenológico das plantas, realizado diariamente a partir da data de poda.

A temperatura média diária do ar foi determinada por média aritmética entre a temperatura máxima e mínima diária do ar. As temperaturas foram obtidas com termômetro de máxima e mínima, instalado no local de produção. Para determinar a soma térmica diária, utilizaram-se os métodos empregados nos estudos de Gilmore & Rogers (1958), Villa Nova et al. (1972) e Streck et al. (2007a, 2007b), agrupados de acordo com o emprego somente da temperatura base inferior de desenvolvimento (M1.1, M1.2 e M1.3), temperatura base inferior e temperatura ótima (M2.1 e M2.2) e das três temperaturas cardinais – base inferior, ótima e base superior (M3.1, M3.2 e M3.3) – conforme descritos a seguir:

M1.1, pela equação $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, se $T_{méd} < Tb$, então $T_{méd} = Tb$; M1.2, pela equação $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, se $T_{mín} \leq Tb$, então $T_{mín} = Tb$; M1.3, pela equação $STd = \{[(T_{mín} - Tb) + [(T_{máx} - T_{mín})/2]] \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{mín} > Tb$; $STd = \{[(T_{mín} - Tb)^2]/[2(T_{máx} - T_{mín})]\} \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{mín} < Tb$ e $STd = (0) \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{máx} < Tb$;

M2.1, pela equação $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, se $T_{méd} < Tb$, então $T_{méd} = Tb$; se $T_{méd} > Tot$, então $T_{méd} = Tot$; M2.2, pela equação $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, se $T_{mín} \leq Tb$, então $T_{mín} = Tb$; se $T_{máx} > Tot$, então $T_{máx} = Tot$;

M3.1, pela equação $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, quando $Tb < T_{méd} \leq Tot$ e $STd = \{(Tot - Tb) \cdot [(TB - T_{méd}) / (TB - Tot)]\} \times 1 \text{ dia}$ quando $Tot < T_{méd} \leq TB$, se $T_{méd} < Tb$, então $T_{méd} = Tb$; se $T_{méd} > TB$, então $T_{méd} = TB$; e M3.2, pela equação $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, quando $Tb < T_{méd} \leq Tot$ e $STd = \{(Tot - Tb) \cdot [(TB - T_{méd}) / (TB - Tot)]\} \times 1 \text{ dia}$ quando $Tot < T_{méd} \leq TB$, se $T_{mín} < Tb$, então $T_{mín} = Tb$; se $T_{máx} > TB$, então $T_{máx} = TB$.

Em adição aos sete métodos citados na literatura, avaliou-se o desempenho de um oitavo método

(M3.3), proposto no presente estudo, que considera as três temperaturas cardinais, assim como a temperatura máxima, mínima e média diária do ar, pelo fato de os demais métodos serem desenvolvidos e originalmente empregados em modelos de desenvolvimento de espécies anuais, com exceção do método M1.1, que é comumente utilizado para videiras que, entretanto, somente considera a temperatura base inferior do desenvolvimento e a temperatura média diária do ar. O método M3.3 é descrito a seguir

M3.3, pela equação $STd = [(T_{máx} - Tb)^{0,5}] \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{méd} < Tot$ e $T_{mín} < Tb$; $STd = (0) \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{máx} < Tb$; $STd = (T_{méd} - Tb) \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{méd} < Tot$ e $T_{mín} > Tb$; $STd = \{(Tot - Tb) \cdot [(TB - T_{méd}) / (TB - Tot)]\} \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{méd} > Tot$ e $T_{máx} < TB$; $STd = \{(TB - Tot) \cdot [(TB - T_{méd}) / (TB - Tot)]\} \times 1 \text{ dia}$, quando $T_{méd} > Tot$ e $T_{máx} > TB$, se $T_{máx} > TB$, então $T_{máx} = TB$;

em que: $T_{mín}$ é a temperatura mínima; $T_{máx}$ é a temperatura máxima; e $T_{méd}$ é a temperatura média diária do ar; Tb , Tot e TB são as temperaturas cardinais mínimas ou base inferior, ótima, e máxima ou base superior para o desenvolvimento da videira, respectivamente. Adotou-se a temperatura de 10°C como Tb (Santos et al., 2007); 25°C, para a Tot ; e 35°C, para a TB .

A soma térmica diária foi acumulada entre os dias do estágio de desenvolvimento, o que resultou na soma térmica acumulada (STa , graus-dia), obtida pela fórmula $STa = \sum STd$ (Mendonça et al., 2012). Os métodos de STd utilizados foram comparados pelo erro-padrão da média (EP), nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. A exigência térmica, necessária para completar o ciclo das cultivares, e os dias do calendário civil foram submetidos à análise da variância e comparados pelo teste SNK ($\alpha = 0,05$), com auxílio do programa WinStat (Machado & Conceição, 2005).

Resultados e Discussão

Nos cinco anos de realização do experimento, as temperaturas mínimas e máximas absolutas oscilaram entre 2,0°C (7/9/2008) e 40,0°C (12/1/2006), respectivamente. Temperaturas abaixo da Tb foram registradas em todas as safras, entre o início da brotação e início da floração, e na safra 2007/2008, entre o início da floração e o início da maturação. As temperaturas mais elevadas foram comuns entre o início da floração

e a colheita, com médias próximas à da Tot e máximas próximas à da TB (Tabela 2).

Os resultados dos acúmulos térmicos em todas as cultivares, para cada período avaliado em todos os métodos testados (Figura 1), mostram que o período IB-IF apresenta a menor variação entre os métodos, ao passo que os períodos IF-IM e IM-C apresentam maior variabilidade do acúmulo térmico, entre os métodos avaliados, o que se atribui ao fato de as temperaturas diárias do ar atingirem frequentemente a Tot e a TB, diferenciando o acúmulo térmico simulado pelos diferentes métodos.

Para o ciclo completo das cultivares 'Cabernet Sauvignon' e 'Ruby Cabernet', o método M3.1 apresentou o melhor ajuste da soma térmica, evidenciada pelo menor EP. Para a 'Cabernet

Tabela 2. Temperaturas (°C) medidas durante os períodos de avaliação fenológica das videiras 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', cultivadas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil.

Temperatura do período	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010
Início da brotação ao início da floração					
Mínima	6,0	3,0	7,0	2,0	4,0
Média	20,2	21,0	22,0	21,1	18,9
Máxima	35,0	35,0	32,0	30,0	34,0
Início da floração ao início da maturação					
Mínima	15,0	12,0	9,0	15,0	10,0
Média	25,8	25,2	25,7	26,3	22,3
Máxima	36,0	39,0	38,0	40,0	35,0
Início da maturação à colheita					
Mínima	19,0	10,0	16,0	14,0	10,0
Média	28,9	26,5	26,7	25,3	22,5
Máxima	40,0	36,0	38,0	38,0	38,0

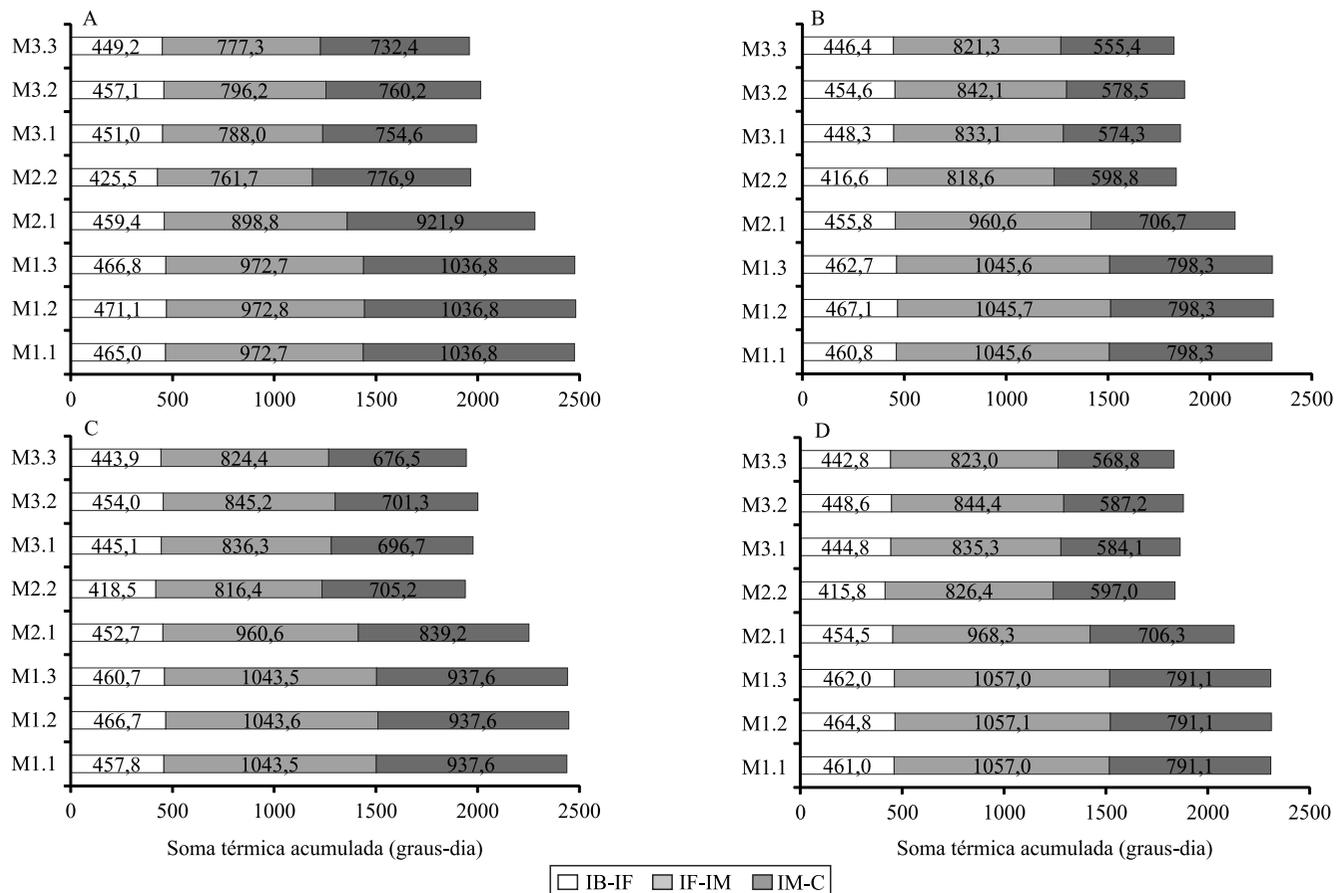


Figura 1. Soma térmica acumulada, necessária para completar o ciclo do início da brotação ao início da floração (IB-IF), início da floração ao início da maturação (IF-IM) e início da maturação à colheita (IM-C), obtida por diferentes métodos de cálculo para as videiras (A) 'Cabernet Sauvignon', (B) 'Tannat', (C) 'Ruby Cabernet', e (D) 'Merlot', cultivadas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, durante as safras 2005/2006 a 2009/2010.

Sauvignon', foram necessários 1.994 graus-dia de acúmulo térmico, contabilizados pelo M3.1, com EP de 69,6 graus-dia. Para 'Ruby Cabernet', foram necessários 1.978 graus-dia de acúmulo térmico, contabilizados pelo mesmo método, com EP de 94,7 graus-dia. As mesmas cultivares apresentaram exigência térmica de 1.959 e 1.994 graus-dia, com EP de 74,5 e 96,7 graus-dia, respectivamente, quando empregado o M3.3 para cálculo do acúmulo térmico no ciclo completo.

Para as cultivares 'Tannat' e 'Merlot', o método M3.3 apresentou o melhor ajuste dos resultados, com menor EP para o ciclo completo. Por este método, o acúmulo térmico necessário para o ciclo completo da 'Tannat' é de 1.823 graus-dia, com EP de 45,1 graus-dia e, para a 'Merlot', o acúmulo térmico necessário para este mesmo período é de 1.781 graus-dia, com EP de 83,5 graus-dia. Entre os métodos citados na literatura, o que apresentou os

melhores resultados para estas cultivares foi o M3.1, por cujo cálculo, a 'Tannat' necessita do acúmulo de 1.856 graus-dia para completar seu ciclo, com EP de 47,0 graus-dia, e a 'Merlot', do acúmulo térmico de 1.809 graus-dia, com EP de 85,8 graus-dia, para este mesmo período.

Para as cultivares testadas, os métodos M3.1, M3.2 e M3.3 proporcionaram menor EP, principalmente pelo fato de estes métodos considerarem as três temperaturas cardinais. Os métodos M2.1 e M2.2 mostraram-se intermediários para a estimativa do acúmulo térmico, pois estes métodos consideram somente a T_b e a T_{ot} e, por não considerarem a T_B , perdem a precisão, principalmente no final do ciclo da cultura, que ocorre em dias de temperaturas mais elevadas.

Os métodos M1.1, M1.2 e M1.3 foram os que apresentaram menor precisão, o que se atribui também ao fato de tais métodos considerarem somente a T_b para o desenvolvimento das videiras (Figura 2).

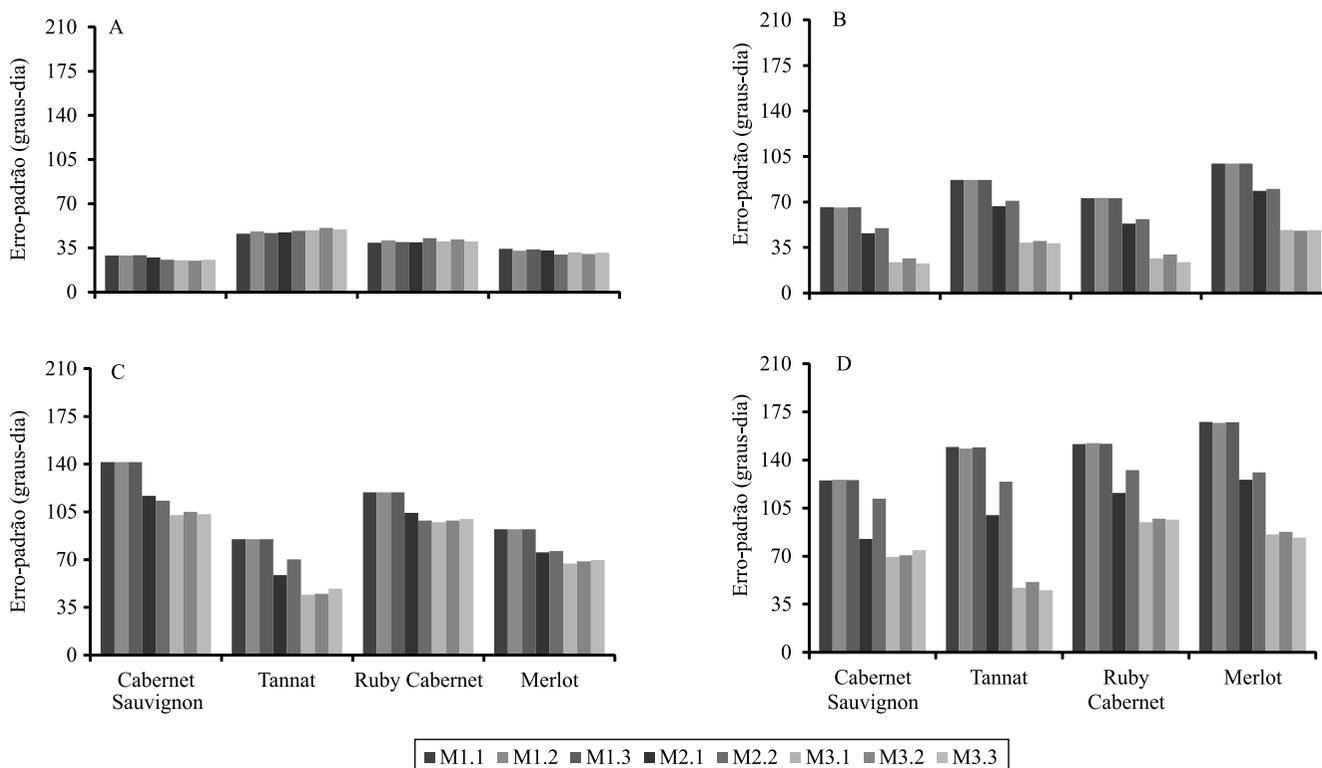


Figura 2. Erro-padrão, obtido por meio de diferentes métodos de cálculo, para caracterizar os seguintes ciclos das videiras: (A) início da brotação ao início da floração; (B) início da floração ao início da maturação; (C) início da maturação à colheita; e (D) início da brotação à colheita.

A baixa eficiência dos métodos M1.1 e M1.2 para representar o acúmulo térmico também é relatada por Rosa et al. (2009), que testaram estes métodos na simulação do desenvolvimento de cultivares de trigo. Contudo, há carência de estudos que utilizem comparação com o método M1.3, embora ela seja empregada frequentemente em estudos fenológicos com frutíferas, principalmente videiras (Santos et al., 2007; Chavarria et al., 2009). O método M1.3, por empregar somente a Tb, apresentou resultados similares ao M1.1 e M1.2, com baixa precisão (elevado EP), em comparação aos métodos que utilizam também a Tot (M2.1 e M2.2) e a TB (M3.1, M3.2 e M3.3). Estes resultados evidenciam que a utilização dos métodos M1.1, M1.2 e M1.3 deve ser evitada para a representação do ciclo da videira, principalmente nos estágios finais do ciclo, quando temperaturas mais elevadas interferem em reações metabólicas e causam a redução do desenvolvimento das plantas (Streck & Alberto, 2006). Estes resultados são similares aos encontrados para as culturas do trigo e do arroz irrigado, em que o emprego de métodos que contabilizam as temperaturas mínima e máxima diária do ar e das temperaturas cardinais também melhorou a simulação do desenvolvimento fenológico (Streck et al., 2007c; Rosa et al., 2009).

Ao empregarem o M 1.3, para o cálculo da soma térmica em videira 'Cabernet Sauvignon', cultivada no Noroeste do Paraná, Roberto et al. (2005) encontraram exigência térmica de 1.221,25 graus-dia, resultado semelhante ao obtido por Santos et al. (2007), que utilizaram o mesmo método de cálculo, para o cultivo de 'Cabernet Sauvignon' e 'Tannat' no Norte do Paraná, e observaram exigência de 1.295,8 e 1.375,5 graus-dia, respectivamente. No entanto, Borghezian et al. (2011) não observaram diferença entre o ciclo da 'Merlot' e 'Cabernet Sauvignon', cultivadas no Município de São Joaquim, Estado de Santa Catarina.

Estes resultados divergem dos obtidos no presente estudo, quanto à 'Cabernet Sauvignon', que apresentou exigência de 2.476,3 graus-dia, quando contabilizada por meio do método M1.3. Esta divergência evidencia que a fenologia pode variar em consequência das condições climáticas de cada região produtora (Neis et al.; 2010). Cabe ressaltar que, além da soma térmica, outros fatores podem interferir no desenvolvimento das plantas,

como a incidência de radiação solar, o fotoperíodo e a altitude, em razão da camada atmosférica que os raios solares atravessam para incidir sobre as plantas (Vieira et al., 2011).

Os resultados obtidos mostram maior precisão da soma térmica quando esta é obtida pelos métodos que utilizam as três temperaturas cardinais. Assim, estes métodos devem ser utilizados em estudos de simulação do desenvolvimento para a videira, principalmente na utilização destes modelos em cenários de mudança climática, pois os cenários futuros preveem o aquecimento da temperatura média do ar em diversas regiões do globo (Hardy, 2003). Nesses estudos, os métodos que consideram a Tot e a TB apresentam maior aplicabilidade, em razão do padrão mais realístico de acúmulo térmico simulado.

Observou-se que não há diferença de exigência térmica para as cultivares testadas nos períodos compreendidos entre o IB-IF e o IF-IM; porém, as cultivares 'Cabernet Sauvignon' e 'Ruby Cabernet' apresentam maior exigência térmica entre o IM-C, elevando também a exigência térmica para completar o ciclo entre o IB-C. Independentemente do método utilizado, estas cultivares são mais tardias do que a 'Tannat' e a 'Merlot', quando estas são cultivadas na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul (Tabela 3).

Tabela 3. Média da soma térmica obtida por diferentes métodos, para as videiras 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', cultivadas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil⁽¹⁾.

Método	'Cabernet Sauvignon'	'Tannat'	'Ruby Cabernet'	'Merlot'
M1.1	2.474,5aA	2.304,7aB	2.438,9aA	2.253,5aB
M1.2	2.480,7aA	2.311,1aB	2.447,9aA	2.257,2aB
M1.3	2.476,3aA	2.306,6aB	2.441,7aA	2.254,5aB
M2.1	2.280,1aA	2.123,1aB	2.252,5aA	2.073,8aB
M2.2	1.964,1aA	1.834,0aB	1.940,1aA	1.788,6aB
M3.1	1.993,5aA	1.855,7aB	1.978,0aA	1.809,3aB
M3.2	2.013,5aA	1.875,1aB	2.000,4aA	1.825,1aB
M3.3	1.958,9aA	1.823,1aB	1.944,8aA	1.780,8aB

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não se diferenciam, pelo teste SNK, a 5% de probabilidade.

Conclusões

1. As videiras 'Cabernet Sauvignon', 'Tannat', 'Ruby Cabernet' e 'Merlot', cultivadas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, necessitam de 1.959, 1.823, 1.945 e 1.781 graus-dia, respectivamente, obtidos pelo método M3.3, para realizar o ciclo completo entre o início da brotação e a colheita.

2. As cultivares 'Tannat' e 'Merlot' apresentam maior precocidade e necessitam de menor acúmulo térmico, para completar o ciclo completo entre o início da brotação e a colheita, do que a 'Cabernet Sauvignon' e a 'Ruby Cabernet', para todos os métodos avaliados.

3. Os métodos M3.1, M3.2 e M3.3 apresentam maior precisão na estimativa da soma térmica diária, acumulada para todas as cultivares estudadas, pelo fato de estes métodos empregarem as três temperaturas cardinais de desenvolvimento da planta.

4. O período entre o início da maturação e a colheita apresenta maior variabilidade de soma térmica necessária, para todos os métodos de soma térmica diária empregados.

Agradecimentos

À Vinícola Campos de Cima, pela permissão e apoio na realização deste trabalho em sua área de produção.

Referências

BORGHEZAN, M.; GAVIOLI, O.; PIT, F.A.; SILVA, A.L. da. Comportamento vegetativo e produtivo de videira e composição da uva em São Joaquim, Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.398-405, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400009.

BOURSIQUOT, J.-M.; LACOMBE, T.; LAUCOU, V.; JULLIARD, S.; PERRIN, F.-X.; LANIER, N.; LEGRAND, D.; MEREDITH, C.; THIS, P. Parentage of Merlot and related winegrape cultivars of southwestern France: discovery of the missing link. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.15, p.144-155, 2009. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2008.00041.x.

BOWERS, J.E.; MEREDITH, C.P. The parentage of a classic wine grape, Cabernet Sauvignon. **Nature Genetics**, v.16, p.84-86, 1997. DOI: 10.1038/ng0597-84.

CÁCERES, A.; PEÑA-NEIRA, A.; GALVEZ, A.; OBREQUE-SLIER, E.; LÓPEZ-SOLÍS, R.; CANALS, J.M. Phenolic compositions of grapes and wines from cultivar Cabernet Sauvignon produced in Chile and their relationship to commercial value. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.8694-8702, 2012. DOI: 10.1021/jf301374t.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. dos; MANDELLI, F.; MARODIN, G.A.B.; BERGAMASCHI, H.; CARDOSO, L.S. Caracterização fenológica e requerimento térmico da cultivar Moscato Giallo sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.119-126, 2009. DOI: 10.1590/S0100-29452009000100018.

FERREIRA, M.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; SANTOS, A.O.; HERNANDES, J.L. Modificação parcial do ambiente de cultivo da videira 'Cabernet Sauvignon' sobre diferentes porta-enxertos: efeito sobre a produção e o teor de sólidos solúveis. **Bragantia**, v.63, p.439-445, 2004. DOI: 10.1590/S0006-87052004000300014.

GILMORE, E.C.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, p.611-615, 1958. DOI: 10.2134/agronj1958.00021962005000100014x.

GONZÁLEZ-NEVES, G.; FERRER, M.; GIL, G. Differentiation of Tannat, Cabernet Sauvignon and Merlot grapes from Uruguay according to their general composition and polyphenolic potential. **Comunicata Scientiae**, v.3, p.41-49, 2012.

HARDY, J.T. Future climate change: the twenty-first century and beyond. In: HARDY, J.T. **Climate change: causes, effects, and solutions**. Chichester: J. Wiley, 2003. p.55-74.

HERRERA, J.C.; BUCCHETTI, B.; SABBATINI, P.; COMUZZO, P.; ZULINI, L.; VECCHIONE, A.; PETERLUNGER, E.; CASTELLARIN, S.D. Effect of water deficit and severe shoot trimming on the composition of *Vitis vinifera* L. Merlot grapes and wines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.21, p.254-265, 2015. DOI: 10.1111/ajgw.12143.

JUBILEU, B. da S.; SATO, A.J.; ROBERTO, S.R. Caracterização fenológica e produtiva das videiras 'Cabernet Sauvignon' e 'Alicante' (*Vitis vinifera* L.) produzidas fora de época, no norte do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.451-462, 2010. DOI: 10.1590/S0100-29452010005000051.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. **WinStat: sistema de análise estatística para Windows**. Versão Beta. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2005. Não paginado.

MENDONÇA, H.F.C.; CALVETE, E.O.; NIENOW, A.A.; COSTA, R.C. da; ZERBIELLI, L.; BONAFÉ, M. Estimativa do filocrono de morangueiro em sistemas consorciado e solteiro em ambientes protegidos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, p.15-23, 2012. DOI: 10.1590/S0100-29452012000100005.

MERZ, P.R.; MOSER, T.; HÖLL, J.; KORTEKAMP, A.; BUCHHOLZ, G.; ZYPRIAN, E.; BOGS, J. The transcription factor VvWRKY33 is involved in the regulation of grapevine (*Vitis vinifera*) defense against the oomycete pathogen *Plasmopara viticola*. **Physiologia Plantarum**, v.153, p.365-380, 2014. DOI: 10.1111/ppl.12251.

NEIS, S.; SANTOS, S.C.; ASSIS, K.C. de; MARIANO, Z. de F. Caracterização fenológica e requerimento térmico para a videira Niagara Rosada em diferentes épocas de poda no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.931-937, 2010. DOI: 10.1590/S0100-29452010005000081.

PARKER, A.; CORTÁZAR-ATAURI, I.G. de; CHUINE, I.; BARBEAU, G.; BOIS, B.; BOURSIQUOT, J.-M.; CAHUREL, J.-Y.; CLAVERIE, M.; DUFOURCQ, T.; GÉNY, L.; GUIMBERTEAU, G.; HOFMANN, R.W.; JACQUET, O.;

- LACOMBE, T.; MONAMY, C.; OJEDA, H.; PANIGAI, L.; PAYAN, J.-C.; LOVELLE, B.R.; ROUCHAUD, E.; SCHNEIDER, C.; SPRING, J.-L.; STORCHI, P.; TOMASI, D.; TRAMBOUZE, W.; TROUGHT, M.; LEEUWEN, C. van. Classification of varieties for their timing of flowering and veraison using a modelling approach: a case study for the grapevine species *Vitis vinifera* L. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.180, p.249-264, 2013. DOI: 10.1016/j.agrformet.2013.06.005.
- PÉROS, J.-P.; BERGER, G.; PORTEMONT, A.; BOURSQUOT, J.-M.; LACOMBE, T. Genetic variation and biogeography of the disjunct *Vitis* subg. *Vitis* (Vitaceae). **Journal of Biogeography**, v.38, p.471-486, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2010.02410.x.
- ROBERTO, S.R.; SATO, A.J.; BRENNER, É.A.; JUBILEU, B. da S.; SANTOS, C.E. dos; GENTA, W. Caracterização da fenologia e exigência térmica (graus-dias) para a uva 'Cabernet Sauvignon' em zona subtropical. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, p.183-187, 2005. DOI: 10.4025/actasciagron.v27i1.2144.
- ROSA, A.M.; PESCADOR, R.; SILVA, A.L. da; BRIGHENTI, A.F.; BRUNETO, G. Fertilidade e reservas de carbono e nitrogênio em gemas de ramos das viníferas 'Cabernet Sauvignon' e 'Nebíolo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p.576-585, 2014. DOI: 10.1590/0100-2945-198/13.
- ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1374-1382, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009001100002.
- SANTOS, A.O.; HERNANDES, J.L.; PEDRO JUNIOR, M.J.; PEREIRA, S.E. Composição da produção e qualidade da uva em videira cultivada sob dupla poda e regime microclimático estacional contrastante. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.1135-1154, 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011000400012.
- SANTOS, C.E. dos; ROBERTO, S.R.; SATO, A.J.; JUBILEU, B. da S. Caracterização da fenologia e da demanda térmica das videiras 'Cabernet Sauvignon' e 'Tannat' para a região norte do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, p.361-366, 2007. DOI: 10.4025/actasciagron.v29i3.288.
- SATO, A.J.; JUBILEU, B. da S.; ASSIS, A.M. de; ROBERTO, S.R. Fenologia, produção e composição do mosto da 'Cabernet sauvignon' e 'Tannat' em clima subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.491-499, 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011005000079.
- STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1351-1359, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000900002.
- STRECK, N.A.; MICHELON, S.; BOSCO, L.C.; LAGO, I.; WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; PAULA, G.M. de. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da escala de COUNCE para cultivares sul-brasileiras de arroz irrigado. **Bragantia**, v.66, p.357-364, 2007c. DOI: 10.1590/S0006-87052007000200020.
- STRECK, N.A.; MICHELON, S.; ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; BOSCO, L.C.; PAULA, G.M. de; CAMERA, C.; SAMBORANHA, F.K.; MARCOLIN, E.; LOPES, S.J. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v.37, p.323-329, 2007a. DOI: 10.1590/S0103-84782007000200005.
- STRECK, N.A.; PAULA, F.L.M. de; BISOGNIN, D.A.; HELDWEIN, A.B.; DELLAI, J. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.1-11, 2007b. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.09.012.
- STRECK, N.A.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; SCHNEIDER, F.M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, v.35, p.1275-1280, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000600008.
- VIEIRA, H.J.; BACK, Á.J.; SILVA, A.L. da; PEREIRA, E.S. Comparação da disponibilidade de radiação solar global e fotoperíodo entre as regiões vinícolas de Campo Belo do Sul-SC, Brasil e Pech Rouge, França. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.1055-1065, 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011000400003.
- VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1972. 8p. (Caderno de ciências da terra, 30).

Recebido em 7 de março de 2015 e aprovado em 3 de setembro de 2015