


Article

Determinação das Temperaturas Cardinais de Frutos de Cajueiros Utilizando um Modelo Não Linear de Desenvolvimento

Victor Arlindo Taveira de Matos^{1#} , Thiago Franco Duarte², Fernando Pivetta^{2,3},
José Holanda Campelo Júnior^{2,3}

¹*Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus São Vicente, Campo Verde, MT, Brasil.*

²*Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, MT, Brasil.*

³*Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.*

Recebido em: 16 de Setembro de 2019 - Aceito em: 26 de Março de 2020

Resumo

O objetivo nesse estudo foi determinar as temperaturas cardinais de três clones de cajueiro anão utilizando um modelo não-linear de desenvolvimento para estimar a etapa fenológica de amadurecimento dos seus frutos. Entre agosto de 2010 e agosto de 2012, identificou-se semanalmente até dez frutos jovens por clone, acompanhando-os até amadurecerem. A taxa de desenvolvimento dos frutos foi obtida com o modelo de Wang e Engel, utilizando três aproximações da temperatura do ar de Santo Antônio de Leverger/MT (15°51' S e 56°04' O, 140 m). Os frutos marcados durante os meses de maio a julho requereram um tempo maior, aproximadamente 44 dias para amadurecerem devido aos menores valores de temperatura do ar ocorridos nesse período, com uma média compensada de 23,0 °C. Contudo, os frutos marcados entre agosto e outubro, período com maior média compensada do ar, de aproximadamente 26,6 °C necessitaram de um tempo menor, 37 dias. As temperaturas cardinais variaram de: 14,0 a 17 °C, 27,5 a 32,5 °C e 33,0 a 41,5 °C para a temperatura base inferior, ótima e base superior, respectivamente.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale*, L., Wang e Engel, Temperatura do ar, Temperatura basal.

Determination of the Cardinal Temperatures of Cashew Tree Using a Nonlinear Development Model

Abstract

The aim of this study was to determine the cardinal temperatures of three cashew tree clones using a nonlinear development model for estimate the phenological stage of ripening of their fruits. Between August 2010 and August 2012, up to ten young fruits per clone were identified weekly, accompanying them until they ripened. Fruit development rate was obtained with the Wang and Engel model, using three approximations of the air temperature of Santo Antônio de Leverger / MT (15° 51' S and 56°04' W, 140 m). Fruits marked from May to July required a greater time, nearly 44 days to reach maturity due to lower air temperature values during this period, with a compensated average of 23 °C. However, fruits marked between August and October, the period with the largest average compensated air, of approximately 26.6 °C required a shorter time, 37 days. Cardinal temperatures ranged from 14.0 to 17 °C, 27.5 to 32.5 °C and 33.0 to 41.5 °C for the minimum, optimal and maximum base temperatures, respectively.

Keywords: *Anacardium occidentale*, L., Wang and Engel, air temperature, base temperature.

1. Introdução

De acordo com a FAO (2017), o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de frutas, ao alcançar uma produção de 37,9 milhões de toneladas. Entre as frutíferas nacionais, destaca-se o cajueiro (*Anacardium occidentale*

L.) com uma produção de aproximadamente 141.418 toneladas de castanha na safra 2018 (IBGE, 2019).

A castanha minimamente processada é o produto mais aproveitado e de maior valor na cajucultura (Gamarra-Rojas *et al.*, 2017). Contudo, a utilização do pedúnculo vem ganhando destaque e pode se tornar uma alternativa,

[#]Autor de correspondência: Victor Arlindo Taveira de Matos. E-mail: victor.matos@svc.ifmt.edu.br.

pois além de ser consumido *in natura*, é uma matéria-prima de baixo custo para a indústria de alimentos. Um dos empecilhos para utilização comercial do pedúnculo é a sua elevada perecibilidade, além disso por ser não-climático o mesmo só deve ser colhido quando estiver maduro (Souza *et al.*, 2018).

A temperatura é uma consequência do balanço de radiação e difere de acordo com o mesmo (que varia em cada localidade). Então, de acordo com o local e seu padrão de temperatura, o vegetal responderá de uma forma específica (Hatfield *et al.*, 2015). As respostas à temperatura diferem entre as espécies de culturas ao longo do seu ciclo de vida e são principalmente as respostas fenológicas, ou seja, estágios de desenvolvimento das plantas.

A utilização de um modelo de somatório térmico que leve em consideração o efeito da temperatura do ar sobre o tempo de maturação de frutos e pedúnculos pode se tornar uma alternativa para estimar a época de colheita em relação a um número de dias pré-estabelecidos.

Em estudos baseados no desenvolvimento de espécies vegetais, modelos não lineares têm-se demonstrado mais adequados para estimar o desenvolvimento de plantas perenes, como o cafeeiro (Souza *et al.*, 2014) e frutíferas, como o cacau (Muniz *et al.*, 2017), pois incluem melhores ajustes e fornecem estimativas dos parâmetros com interpretação biológica, contribuindo para entendimento a respeito do crescimento e desenvolvimento das plantas.

Modelos não-lineares de desenvolvimento biológico, como o de Wang e Engel (1998), podem uma alternativa para estimar o tempo fisiológico de frutos e pedúnculos de cajueiro. Porém, a utilização deste modelo está restrita a determinação das temperaturas-base inferior (a qual abaixo dela o fruto não se desenvolve) e superior (a qual, acima dela o fruto não se desenvolve) e uma temperatura ótima de desenvolvimento, situada entre este intervalo.

O modelo de Wang e Engel tem sido utilizado na determinação de estágios fenológicos das plantas, assim como na previsão da taxa de aparecimento de folhas, desenvolvimento da área foliar, taxa de crescimento da planta, em culturas anuais como o trigo (Wang e Engel, 1998) e plantas perenes como a oliveira (Martins *et al.*, 2014) sugerindo a viabilidade de sua aplicação em outras culturas.

O objetivo neste estudo foi determinar as temperaturas cardinais de três clones de cajueiro anão: 'FAGA 1', 'FAGA 10' e 'FAGA 11' utilizando um modelo não-linear de desenvolvimento para estimar a etapa fenológica de amadurecimento dos seus frutos.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no município de Santo Antônio de Leverger - MT, com as seguintes coordenadas geográficas: 15°51'S, 56°04'O e 140 m de altitude. O cli-

ma local segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca, temperatura média anual de 26,1 °C, precipitação média de 1267 mm, umidade relativa do ar média de 66 % (Ferreira *et al.*, 2016), com solo classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico êutrico, A moderado, fase cerrado, relevo plano.

Foram utilizados três clones que fazem parte da coleção de cajueiros da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso: 'FAGA 1', 'FAGA 10' e 'FAGA 11', plantados no ano de 2003 com espaçamento de 7 × 8 m. Cada clone teve 10 plantas selecionadas.

Nos períodos de agosto a novembro de 2010, abril a novembro de 2011 e abril a agosto de 2012, semanalmente foram marcados aleatoriamente até dez frutos por clone entre as plantas selecionadas de acordo com a disponibilidade de frutos jovens. Obrigatoriamente estes frutos jovens deveriam apresentar comprimento longitudinal do pedúnculo situado entre 9 e 15 mm.

Cada fruto marcado foi medido semanalmente quanto ao comprimento longitudinal e transversal da castanha e do pedúnculo, com o auxílio de um paquímetro, até completar a etapa de amadurecimento. O ponto de colheita foi determinado pela mudança de coloração do pedúnculo de verde para amarelo e do aspecto externo da castanha que ficava mais rígida e aparentava estar "seca" (Lopes *et al.*, 2011). A unidade experimental consistiu em cada fruto marcado que alcançou a etapa de amadurecimento, sendo assumido que o fruto e pedúnculo amadureceram no mesmo período.

Durante os meses situados entre agosto a novembro de 2010 e maio a outubro de 2011, as plantas foram irrigadas com micro aspersores utilizando um turno de rega semanal de aproximadamente 334 L planta⁻¹. No ano de 2012, em decorrência do período chuvoso ter se estendido até o mês de julho não utilizou-se a irrigação.

O modelo de Wang e Engel (1998) foi utilizado para estimar um estágio fisiológico. Caracterizou-se um novo estágio fisiológico quando o somatório das taxas diárias de desenvolvimento dos frutos ($\sum r$) fossem igual a 1 ou o mais próximo deste valor. Assim, neste estudo, quando ocorreu esta situação o fruto estivesse fisiologicamente maduro. A taxa diária de desenvolvimento do fruto foi determinada utilizando a Eq. (1):

$$r = r_{\max} \times f(T) \quad (1)$$

em que r : Taxa diária de desenvolvimento; r_{\max} : Taxa máxima diária de desenvolvimento vegetal do fruto, obtida pelo inverso do menor número de dias exigidos para um fruto completar sua etapa de maturação (sendo igual a 1÷35 para a 'FAGA 1' e 1÷36 para a 'FAGA 10' e a 'FAGA 11'); $f(T)$: Função da temperatura, obtida com auxílio da Eqs. (2) ou (3), de acordo com a temperatura do ar observada no local de estudo (°C):

Se $T_b \leq T_{med} \leq TB$:

$$f(T) = \frac{2(T_{med} - T_b)^\alpha (T_o - T_b)^\alpha - (T_{med} - T_b)^{2\alpha}}{(T_o - T_b)^{2\alpha}} \quad (2)$$

$$\text{Se } T_{med} < T_b \text{ ou } T_{med} > TB : f(T) = 0 \quad (3)$$

em que T_b : Temperatura-base inferior ($^{\circ}\text{C}$); TB : Temperatura-base superior ($^{\circ}\text{C}$); T_o : Temperatura-ótima de desenvolvimento ($^{\circ}\text{C}$); T_{med} : Temperatura média compensada (TMc), média simples (TMs) ou horária (Th) do ar; α : Parâmetro da equação calculada em função das temperaturas-base, determinado utilizando a Eq. (4):

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln} \left[\frac{(TB - T_b)}{(T_o - T_b)} \right] \quad (4)$$

Quando utilizada a temperatura média compensada do ar, a T_{med} foi determinada utilizando a Eq. (5):

$$TMc = \frac{TM + Tm + T12 + (2 \times T24)}{5} \quad (5)$$

em que TMc : Média compensada da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); TM : Temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); Tm : Temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); $T12$: Temperatura do ar às 12 horas UTC ($^{\circ}\text{C}$); $T24$: Temperatura do ar às 24 horas UTC ($^{\circ}\text{C}$).

Quando utilizada a temperatura média simples do ar, a T_{med} foi determinada utilizando a Eq. (6):

$$TMs = \frac{TM + Tm}{2} \quad (6)$$

em que TMs : Média simples da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); TM : Temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); Tm : Temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A temperatura horária do ar foi obtida admitindo-se que a menor temperatura do dia ocorria às 8 horas do horário local (12 UTC) e a maior às 16 horas do horário local (20 UTC) e que a variação entre elas era linear, ocorrendo um uniforme acréscimo a cada hora, das 8 até às 16 horas do mesmo dia e um decréscimo por hora acrescentada, entre às 16 horas da tarde do dia e às 8 horas da manhã do dia seguinte. Em virtude disto, neste caso a cada hora do dia era obtida uma taxa horária de desenvolvimento que, ao completar 24 horas, era somada a fim de se obter a taxa diária de desenvolvimento.

O presente trabalho foi desenvolvido considerando que o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento não é linear. É possível encontrar na literatura vários trabalhos em que o desenvolvimento foi considerado linear e esse efeito foi quantificado como uma medida de quanto a temperatura do ar se manteve abaixo da temperatura basal

superior e acima da temperatura basal inferior e expresso em $^{\circ}\text{C}$ dia, sendo comumente denominado de grau-dia (Matos *et al.*, 2014).

A metodologia de interpolação linear entre as temperaturas foi utilizada exclusivamente para estimar as temperaturas horárias e utilizá-las na análise do efeito não linear da temperatura sobre o desenvolvimento. Ela teve por base a formulação utilizada para estimar graus-dia, a partir das temperaturas máxima, mínima, basal superior e basal inferior. Essas fórmulas de cálculo se originaram em análises realizadas segundo os princípios de semelhança de triângulos, sobre as figuras de triângulos, trapézios e retângulos, construídas em gráficos cartesianos que relacionavam Temperatura x Tempo, nos quais as quatro temperaturas delimitavam essas formas geométricas. Em todos esses casos a variação de temperatura ao longo do dia correspondia a um triângulo escaleno, representando, portanto, uma interpolação linear das temperaturas entre a mínima e máxima do dia e entre a máxima do dia e a mínima do dia seguinte. A desigualdade dos lados do triângulo escaleno se deve à diferença de extensão dos períodos de elevação e redução da temperatura em 24 horas (Ometto, 1981; Caicedo *et al.*, 2012).

Para validação do procedimento de estimativa das temperaturas horárias comparou-se os valores medidos diariamente e os respectivos valores estimados dos horários padrões de observação da estação meteorológica convencional (12, 18 e 24 UTC), de 01/08/2010 a 31/08/2012. Os critérios de validação foram o erro de tendência médio, a raiz quadrada do erro quadrado médio e o índice de concordância (d) (Willmott *et al.*, 1985).

Após o acompanhamento de cada fruto que alcançou a maturação, foi determinada a temperatura-base inferior (T_b), a temperatura ótima de desenvolvimento (T_o) e a temperatura-base superior (TB) para cada clone utilizando o modelo de Wang e Engel (1998).

Os intervalos de variação de temperatura estabelecidas para a determinação das temperaturas-base foram escolhidas de acordo com as condições meteorológicas observadas no local durante o estudo. Assim, as temperaturas-base simuladas situaram-se entre a menor e a maior média da temperatura do ar para a TMc e TMs , e a menor e a maior temperatura observada quando trabalhada a Th . Portanto, o intervalo de temperatura simulado para a T_b , T_o e TB situaram-se entre 14,0 e 33,0 $^{\circ}\text{C}$ quando utilizada a média compensada, 14,0 e 33,5 $^{\circ}\text{C}$ quando utilizada a média simples da temperatura do ar e entre 7,0 e 41,5 $^{\circ}\text{C}$ quando o modelo foi trabalhado com a temperatura horária.

Os dados diários de temperatura máxima e mínima diária, temperatura às 12 e 24 horas UTC, precipitação e umidade relativa do ar foram obtidos por meio do registro das observações meteorológicas de rotina efetuadas na Estação Agrometeorológica Padre Ricardo Remetter, que integra a rede do 9 $^{\circ}$ DISME/INMET, instalada a aproximadamente 1 km do local do experimento.

A simulação das temperaturas-base foi realizada por meio de cálculos utilizando software Microsoft Excel®. Respeitando as restrições impostas aos limites de temperatura do ar média ou horária, foi iniciado um processo iterativo das temperaturas-base simuladas, sendo selecionadas aquelas que apresentassem o menor coeficiente de variação (*CV*) para completar o somatório da taxa de desenvolvimento dos frutos maduros.

O coeficiente de variação vem sendo empregado para validar os resultados dos estudos do efeito da temperatura sobre a fenologia desde Arnold (1959) e continua sendo aplicado em outros trabalhos com frutíferas (Rodrigues et al., 2013).

A variabilidade dos resultados alcançados com a aplicação do modelo foi obtida comparando-se o *CV* do somatório da taxa de desenvolvimento dos frutos até o amadurecimento, com o *CV* do número de dias exigidos para completar a etapa de maturação dos frutos.

Foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman para avaliar as correlações entre o número de dias exigido para completar a etapa de amadurecimento e o valor das temperaturas médias em cada uma dessas etapas, obtido por meio da Eq. (7):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{N(N^2 - 1)} \quad (7)$$

em que ρ = coeficiente de correlação de Spearman; d = é o valor da diferença entre os postos ordenados; N = número de observações.

3. Resultados e Discussão

Os cajueiros floresceram durante todo o período de coleta de dados e apresentaram frutos jovens que eram marcados semanalmente, porém nos meses de abril a junho, nas primeiras semanas em que foram marcados, a maioria dos frutos jovens apresentaram sintomas de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Pez. e Sacc.), ficaram com uma coloração escura na castanha e posteriormente caíram.

Destaca-se que o fungo causador da antracnose sobrevive como saprófito nos tecidos mortos da planta podendo ser disseminado por respingos de chuva (Gama-Rojas et al., 2017). Como os meses de abril, maio e junho apresentaram os maiores valores de umidade relativa do ar (Fig. 1a) este foi o principal fator que influenciou no maior número de casos de antracnose, pois esse período não coincidiu com a faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento do fungo, de 25,0-28,0 °C (Sharma e Kulshrestha, 2015). Em contrapartida, o período em que a umidade relativa do ar ficou próxima de 60 %, nos meses de agosto e setembro, apresentou a menor perda de frutos jovens por antracnose.

A temperatura do ar média compensada e a média simples situaram-se acima de 21,0 °C durante todo o período de coleta de dados, sendo observados os maiores valores de temperatura do ar nos meses de setembro, outubro, novembro e abril e os menores nos meses de maio a julho (Fig. 1b e Fig. 1c).

Durante a condução do experimento 52 frutos completaram a etapa de amadurecimento e tiveram sua data de colheita identificada. As diferentes condições meteorológicas entre as datas de marcação dos frutos acabaram promovendo uma variação no número de dias exigidos para alcançar a etapa de amadurecimento dos frutos de cajueiro.

Os frutos marcados durante os meses que apresentaram as menores temperaturas do ar, de maio a julho,

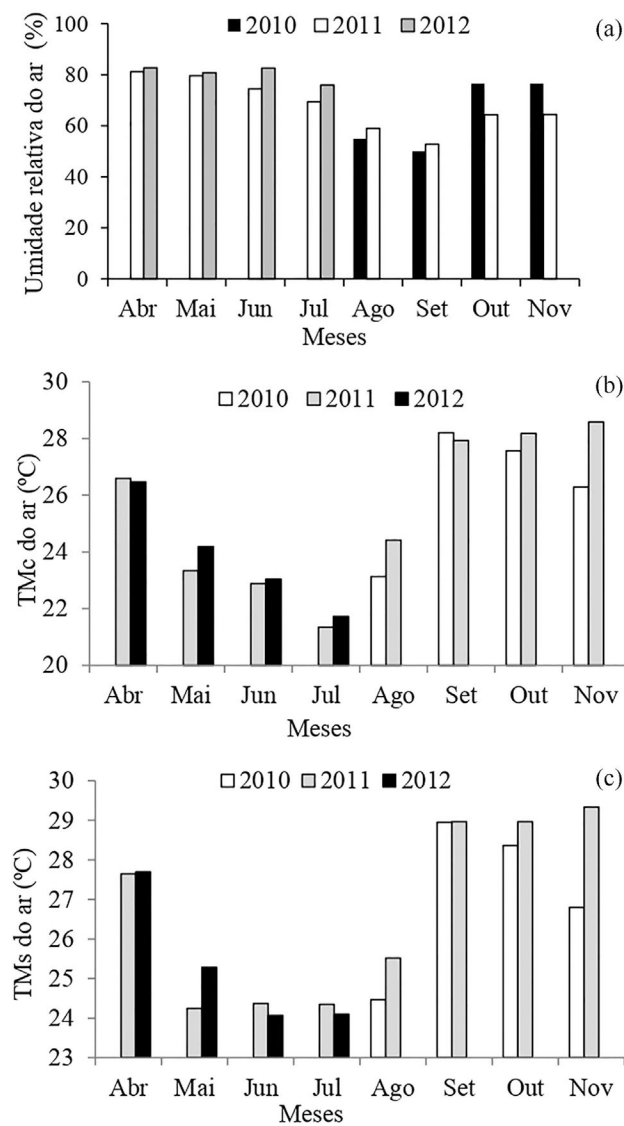


Figura 1 - Média da umidade relativa do ar (a), temperatura do ar média compensada – TMc (b) e temperatura do ar média simples – TMs (c) em Santo Antônio de Leverger – MT, de 2010 a 2012.

com uma média compensada de 23,0 °C e uma média simples de 24,4 °C necessitaram de um maior número de dias para alcançarem a maturação, 44 dias, enquanto os marcados de agosto até outubro, onde se situaram as maiores temperaturas do ar, com uma média compensada de 26,6 °C e uma média simples de 27,5 °C necessitaram de um tempo menor, 37 dias (Tabela 1).

A temperatura do ar é considerada o elemento meteorológico que mais afeta a taxa de desenvolvimento de plantas anuais e perenes por moderar as reações bioquímicas da fotossíntese e fotorrespiração, além de regular o equilíbrio entre a transpiração e o consumo de água no solo (Freitas *et al.*, 2017). Um dos prováveis fatores que provocou o aumento do número de dias para completar a maturação dos frutos de cajueiro identificados no período de menor temperatura do ar está relacionado a uma redução da taxa da atividade fotossintética das plantas nesse período.

Sampayo-Maldonado *et al.* (2019) observaram que temperaturas mais altas reduziram o tempo para iniciar a germinação de sementes de Cedro do Brejo (*Cedrela odorata* L.), contudo os autores ressaltaram que temperaturas superiores a 45 ± 2 °C acabaram prejudicando a germinação por afetar o efeito metabólico das sementes, interrompendo o seu crescimento embrionário e inativando-as.

Também foi observada uma relação inversa entre a temperatura do ar e o desenvolvimento de mudas de duas espécies de plantas nativas do Brasil *Citharexylum myrianthum* e *Bixa orellana* (Ferreira *et al.*, 2019) e para ocorrer a formação do filocrono foliar de duas espécies de eucalipto (Freitas *et al.*, 2017), em que quanto maior foi a temperatura do ar nos locais de estudo, menor foi a duração das etapas de desenvolvimento destas plantas.

O desenvolvimento das plantas depende da temperatura do ar, assim cada espécie vegetal requer uma quantidade específica de unidades de calor para passar de um estágio de desenvolvimento para outro, sendo observado por Salinas, Huesob e Cuevas (2019) uma redução do número de dias para os frutos de mamão-papaya (*Carica papaya* L.) passarem do florescimento até a maturação de colheita quando a temperatura do ar no local de cultivo foi mais elevada. Isso também ocorreu nesse estudo, sendo justificado em decorrência do aumento da temperatura do ar promover um maior acréscimo de unidades de calor por dia, reduzindo o número de dias necessário para os frutos do cajueiro estarem fisiologicamente maduros.

A característica do aumento da temperatura reduzir o tempo de desenvolvimento dos frutos de cajueiros pode apresentar um efeito benéfico por diminuir o tempo de exposição dos frutos a pragas e patógenos presentes na área de cultivo durante esse período. Contudo, deve-se ressaltar que o desenvolvimento das plantas em ocorre apenas quando a temperatura do ar do ambiente está situada entre as temperaturas cardinais da cultura.

A análise da validação da estimativa das temperaturas médias horárias no presente trabalho apresentou os seguintes resultados: erro de tendência médio = -0,7 °C; raiz quadrada do erro quadrado médio = 4,6 °C; e o índice de concordância $d = 0,87$. Os resultados foram compatíveis com os relatados por Ramos *et al.* (2011) e Akinnubi e Adeniyi (2017), em condições tropicais, recomendando a sua utilização nesse estudo.

As estimativas de temperaturas horárias podem ser obtidas de diferentes modos, destacando que alguns autores sugerem o uso de funções trigonométricas, outros as obtêm utilizando modelos distintos para os períodos diurno e noturno e o resultado destas estimativas é analisar o efeito da temperatura na fotossíntese, na respiração e na transpiração (Ephrath *et al.*, 1996; Ramos *et al.*, 2011; Oliveira-Júnior *et al.*, 2015). Os resultados apresentados pelos autores indicam a existência de dependência temporal entre as medidas horárias de temperatura, destacando que os modelos apresentam exatidão e correlação variáveis, em função dos tipos de medida utilizados na validação, do local e da época do ano.

As temperaturas-base determinadas pelo modelo de Wang e Engel (1998) estão apresentadas na Tabela 2.

O modelo de Wang e Engel utilizando a TMc apresentou a maior acurácia com o menor CV para completar a maturação dos frutos para os três clones estudados, sendo observado o menor valor para o clone 'FAGA 10'. Ao realizar um estudo com algodoeiro no mesmo município deste experimento, Pereira *et al.* (2010) também encontraram os melhores resultados na estimativa do plastocrono do algodoeiro pelo modelo de Wang e Engel, quando utilizaram a média compensada da temperatura do ar, comparada à média simples.

Quando utilizada a TMs, o modelo de Wang e Engel apresentou menor acurácia, sendo o maior CV determinado para a 'FAGA 11'. A menor acurácia da TMs pode estar associada ao fato de que no local de estudo, durante a maior parte em que o experimento foi conduzido, para um mesmo dia, ocorriam valores distantes entre a temperatura mínima e máxima do ar, chegando a alguns casos, apresentarem amplitude de 15,0 °C.

Contudo, ao relacionar o CV encontrado para o modelo de Wang e Engel com os obtidos para o número de dias do calendário civil, observou-se que o modelo apresentou maior acurácia para estimar a etapa de amadurecimento dos frutos dos três clones, chegando em alguns casos, como o da 'FAGA 1' e da 'FAGA 10', quando utilizada a TMc, a apresentar uma proporção de 3:1. Pode-se afirmar que não é recomendando prever a colheita do caju utilizando uma média pré-estabelecida do número de dias, corroborado pelos maiores valores de CV para o número de dias em relação aos obtidos pelo modelo.

Aplicando o coeficiente de correlação de Spearman, observou-se uma correlação negativa significativa entre o número de dias exigido para completar a maturação dos

Tabela 1 - Período de observação, número de dias para completar a etapa de amadurecimento (N), temperatura do ar média diária da etapa (TM), média compensada (c), simples (s) e média de 24 horas (h), somatório da taxa diária de desenvolvimento acumulada ($\sum r$) pelo modelo de Wang e Engel quando utilizada a temperatura do ar média compensada (TMc), média simples (TMs) e horária (Th), em três clones de cajueiro anão estudados em Santo Antônio de Leverger - MT, de 2010 a 2012.

Clone	Marcação		N	TM (°C)			$\sum r$		
	Inicial	Maduro		c	s	h	TMc	TMs	Th
'FAGA 1'	20/08/2010	24/09/2010	36	26,9	27,9	27,9	0,90	0,94	0,70
	15/04/2011	27/05/2011	43	24,7	25,6	25,7	0,96	0,96	0,81
	29/04/2011	10/06/2011	43	23,5	24,5	24,5	0,90	0,83	0,72
	24/06/2011	18/08/2011	56	23,1	24,4	24,5	0,93	1,10	0,88
	01/07/2011	18/08/2011	49	23,6	24,8	24,9	0,94	1,01	0,79
	15/07/2011	30/08/2011	47	24,4	25,5	25,5	0,94	1,00	0,78
	05/08/2011	16/09/2011	43	26,1	27,1	27,1	0,99	1,04	0,81
	18/08/2011	23/09/2011	37	26,6	27,5	27,5	0,85	0,91	0,72
	18/08/2011	29/09/2011	43	26,8	27,7	27,7	1,00	1,03	0,85
	26/08/2011	29/09/2011	35	28,0	28,9	29,0	0,91	0,94	0,76
	02/09/2011	07/10/2011	36	28,1	29,0	29,0	0,92	0,95	0,79
	16/09/2011	21/10/2011	36	28,4	29,3	29,4	0,92	0,95	0,83
	07/10/2011	11/11/2011	36	28,3	29,0	29,1	0,93	0,96	0,84
	28/05/2012	16/07/2012	50	22,5	24,2	24,1	0,92	0,92	0,80
'FAGA 10'	03/09/2010	08/10/2010	36	27,7	28,4	28,5	0,81	0,83	0,74
	17/09/2010	22/10/2010	36	28,5	29,2	29,3	0,81	0,78	0,77
	15/04/2011	24/05/2011	40	24,8	25,7	25,6	0,89	0,90	0,79
	29/04/2011	10/06/2011	43	23,5	24,5	24,5	0,83	0,84	0,76
	06/05/2011	17/06/2011	43	23,7	24,8	24,9	0,86	0,89	0,78
	26/08/2011	29/09/2011	35	28,0	28,9	29,0	0,89	0,93	0,76
	02/09/2011	07/10/2011	36	28,1	29,0	29,0	0,90	0,95	0,79
	09/09/2011	14/10/2011	36	28,2	29,2	29,2	0,89	0,94	0,82
	16/09/2011	21/10/2011	36	28,4	29,3	29,4	0,91	0,94	0,83
	14/10/2011	18/11/2011	36	28,2	28,8	29,0	0,91	0,96	0,85
	21/10/2011	25/11/2011	36	28,4	29,0	29,0	0,89	0,95	0,85
	07/05/2012	21/06/2012	46	24,1	25,0	25,1	0,97	0,99	0,86
	21/05/2012	02/07/2012	43	23,6	24,6	24,6	0,85	0,87	0,77
	11/06/2012	28/07/2012	48	22,6	24,5	23,6	0,83	0,88	0,79
25/06/2012	15/08/2012	52	22,7	24,0	23,8	0,91	0,97	0,85	
'FAGA 11'	20/08/2010	24/09/2010	36	26,9	27,9	0,91	0,91	0,96	0,73
	03/09/2010	08/10/2010	36	27,7	28,4	0,85	0,85	0,84	0,76
	10/09/2010	15/10/2010	36	28,4	29,1	0,85	0,85	0,84	0,77
	17/09/2010	22/10/2010	36	28,5	29,2	0,85	0,85	0,99	0,79
	15/10/2010	19/11/2010	36	26,9	27,4	0,89	0,89	0,87	0,79
	06/05/2011	17/06/2011	43	23,7	24,8	0,87	0,87	0,87	0,82
	15/07/2011	26/08/2011	43	23,9	25,1	0,87	0,87	0,89	0,79
	15/07/2011	30/08/2011	47	24,4	25,5	0,96	0,96	1,00	0,86
	16/09/2011	21/10/2011	36	28,4	29,3	0,95	0,95	0,98	0,85
	29/09/2011	04/11/2011	37	28,3	29,0	0,95	0,95	1,00	0,88
	21/10/2011	25/11/2011	36	28,4	29,0	0,93	0,93	0,99	0,87

frutos da 'FAGA 1' e a temperatura média do ar, nos três modos de obter a última (Tabela 2). No caso da 'FAGA 10', observou-se resultado semelhante apenas quando a *TMc* foi utilizada. Para a 'FAGA 11' não foram obtidos resultados significativos, independentemente da maneira usada para obter a média.

Comparando-se as temperaturas médias das etapas (Tabela 1), com as temperaturas-base da etapa de maturação dos frutos do cajueiro (Tabela 2), verificou-se que a temperatura média do ar se situou predominantemente entre a temperatura basal inferior (*Tb*) e a temperatura ótima, ou ligeiramente acima desta. Nessas circunstâncias, o procedimento previsto pelo modelo de Wang e Engel indicaria a mesma tendência, isto é, um aumento de temperatura resultaria em desenvolvimento mais rápido, ou menor número de dias para a maturação (Tabela 1).

Para 'FAGA 11', o menor valor do *CV* do número de dias indicou um maior grau de determinismo genético na duração da etapa estudada, como foi constatado por outros autores com outras espécies e etapas fenológicas. Nesse caso, embora os resultados obtidos com o modelo de Wang e Engel tenham proporcionado menor variabilidade, os intervalos de variação de temperatura e de número de dias podem não ter sido suficientemente amplos para se encontrar coeficientes de correlação de Spearman semelhantes aos dos outros dois clones. De qualquer modo, a redução dos coeficientes de variação proporcionada pelo uso do modelo em todos os casos, indica que não é adequado avaliar o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento dos frutos, considerando apenas o valor médio desta variável ambiental, durante toda a etapa.

Constatou-se que as *Tbs* determinadas neste estudo apresentaram valores situados entre 14,0 e 17,0 °C. Os valores ficaram próximos dos obtidos por Matos *et al.*

(2014), que determinaram as *Tbs* para cajueiro anão situando-se entre 10,0 e 15,2 °C utilizando um modelo linear de desenvolvimento associado ao método do menor coeficiente de variação da soma térmica em graus-dia.

Ao desenvolverem um estudo no estado do Texas, Estados Unidos, no qual determinaram a *Tb* para o aparecimento de nós em meloeiro, uma curcubitaceae tropical, Baker e Reddy (2001) encontraram uma *Tb* de 11,5 °C para a cultivar Gold Rush e 8,0 °C para a cultivar Mission. Desenvolvendo um estudo com manga da variedade Tommy Atkins, que assim como o caju pertence à família anarcadiaceae, Rodrigues *et al.* (2013) utilizaram um modelo linear de desenvolvimento e determinaram uma temperatura base inferior, igual a 13,0 °C.

Os valores da *To* encontradas neste estudo situaram-se na faixa de 27,5 a 32,5 °C. Segundo Carr (2014), a temperatura ótima para assimilação de CO₂ na cultura do cajueiro, fator que interfere diretamente na demanda hídrica da planta, encontra-se na faixa de 25,0 a 35 °C, estando próximos dos valores de *To* obtidos nesse estudo.

As *TBs* obtidas pelos clones de cajueiro abordados neste estudo apresentaram os valores situados entre 33,0 e 41,5 °C. Trabalhando com melão, Baker e Reddy (2001) encontraram *TB* de 40 °C. Para manga, Rodrigues, Souza e Lima (2013), encontraram uma *TB* de 32,0 °C.

Após obtenção das temperaturas-base, foi calculado o somatório das taxas diárias de desenvolvimento para cada clone (Tabela 1).

O somatório da taxa diária de desenvolvimento de cada fruto apresentou resultado igual e/ou próximo do valor de um (1), como era esperado, demonstrando que o modelo de Wang e Engel pode ser capaz de estimar o período de colheita dos frutos de cajueiro quando levada em consideração as temperaturas-base determinadas neste estudo.

Tabela 2 - Temperatura-base inferior (*Tb*), temperatura ótima de desenvolvimento (*To*), temperatura-base superior (*TB*), coeficiente de variação (*CV*) do somatório taxa de desenvolvimento de frutos de caju pelo modelo de Wang-Engel (*TD*), quando utilizada a temperatura do ar média compensada (*TMc*), média simples (*TMs*) e horária (*Th*), coeficiente de variação (*CV*) do número de dias para alcançar a maturação e coeficiente de correlação de Spearman (ρ) entre número de dias para alcançar a maturação e temperatura média dessas etapa de maturação de frutos de três clones de cajueiro anão, obtidos em Santo Antônio de Leverger - MT, de 2010 a 2012.

Clone	Wang & Engel	Temperaturas-base (°C)			CV (%)		ρ
		<i>Tb</i>	<i>To</i>	<i>TB</i>	<i>TD</i>	Dias	
FAGA 1	<i>TMc</i>	17,0	27,5	33,0	5,26		-0,83*
	<i>TMs</i>	14,0	28,5	33,5	6,53	15,11	-0,83*
	<i>Th</i>	14,0	32,5	41,5	5,98		-0,82*
FAGA 10	<i>TMc</i>	14,0	27,7	33,0	4,55		-0,73*
	<i>TMs</i>	14,0	28,7	33,5	6,02	15,27	-0,34
	<i>Th</i>	14,6	31,6	41,5	4,65		-0,36
FAGA 11	<i>TMc</i>	14,0	27,9	33,0	5,21		-0,45
	<i>TMs</i>	14,0	29,0	33,5	8,36	9,36	-0,47
	<i>Th</i>	14,5	31,1	41,5	5,50		+0,15

*Valores significativos a 5% de probabilidade.

4. Conclusões

As temperaturas cardinais para cajueiros anão dos clones: 'FAGA 1', 'FAGA 10' e 'FAGA 11' variam: de 14,0 a 17,0 °C para a temperatura base inferior, de 27,5 a 32,5 °C para temperatura ótima de desenvolvimento e de 33,0 a 41,5 °C para a temperatura base superior.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior - CAPES pela concessão das bolsas de Doutorado e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso - FAPEMAT pelos recursos obtidos pelo projeto.

Referências

- AKINNUBI R.T.; ADENIYI M.O. Modeling of diurnal pattern of air temperature in a tropical environment: Ile-Ife and Ibadan, Nigeria. **Modeling Earth System Environment**, v. 3, p. 1421–1439, 2017.
- ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 74, p. 430-445, 1959.
- BAKER, J.T.; REDDY, V.R. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. **Annals of Botany**, v. 87, n. 5, p. 605–613. 2001.
- CAICEDO, D.R.; TORRES, J.M.C.; CURE, J.R. Comparison of eight degree-days estimation methods in four agroecological regions in Colombia. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 299-307, 2012.
- CARR, M. The water relations and irrigation requirements of cashew (*Anacardium occidentale* L.): a review. **Experimental Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 24-39, 2014.
- EPHRATH J.E.; GOUDRIAAN J.; MARANI, A. Modelling diurnal patterns of air temperatures, radiation, wind speed and relative humidity by equations for daily characteristics. **Agricultural Systems**, v. 51, n. 4, p. 377-393, 1996.
- FERREIRA, A.L.S.; PASA, M.C.; NUNEZ, C.V. A etnobotânica na comunidade Barreirinho, Santo Antônio do Leverger - MT, Brasil. **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, p. 85, 2016.
- FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORÊNCIO, G.W.L.; SILVA, J.P.G.C.; PASIN, L.A.A.P. Cardinal temperatures and thermal requirements for the initial development of two Brazilian native species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e. 00525, 2019.
- FREITAS, C.H.; MARTINS, F.B.; ABREU, M.C. Temperaturas cardinais para o desenvolvimento foliar de mudas de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 5, p. 283-292, 2017.
- GAMARRA-ROJAS, G.; SILVA, N.C.G.; VIDAL, M.S. Contexto, (agri) cultura e interação no agroecossistema familiar do caju no Semiárido brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 34, n. 3, p. 315-338, 2017.
- HATFIELD, J.L.; PRUEGER, J.H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, v. 10, Part A, p. 4–10, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2018**. Lavoura Permanente. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>, acesso em 15 de set. 2019.
- LOPES, M.M.A.; MOURA, C.F.H.; ARAGÃO, F.A.S.; CARDOSO, T.G.; ENÉAS FILHO, J. Caracterização física de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce em diferentes estádios de maturação. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 914-920, 2011.
- MARTINS, F.B.; PEREIRA, R.A.A.; PINHEIRO, M.V.M.; ABREU, M.C. Leaf development in two olive cultivars estimated by two models. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 505-514, 2014.
- MATOS, V.A.T.; PIVETTA, F.; PAIVA SOBRINHO, S.; TISSIANI, A.S.O.; PEREIRA, A.P.M.S.; RAMOS, F.T.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Temperaturas basais e exigência térmica para a maturação de caju. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 969-977, 2014.
- MUNIZ, J.A.; NASCIMENTO, M.S.; FERNANDES, T.J. Non-linear models for description of cacao fruit growth with assumption violations. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2017.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; MENDES, L.S. Modelos de Zolnier e Campbell-Norman para estimativa da temperatura do ar no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 727-733, 2015.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 430 p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. FAO. FAOSTAT. **Divisão de estatística**. Disponível em <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>, acesso em 10 de set. 2019.
- PEREIRA, L.C.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; FERRONATO, A. Comparação de métodos para estimativa do plastocrono em algodoeiro em condições tropicais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 213-220, 2010.
- RAMOS, C.M.C.; SILVA, A.F.; SARTORI, A.A.C.; ZIMBACK, C.R.L.; BASSOI, L.H. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 959-965, 2011.
- RODRIGUES, J.C.; SOUZA, P.J.O.P.; LIMA, R.T. Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.
- SALINAS, I.; HUESOB, J.J.; CUEVAS, J. Fruit growth model, thermal requirements and fruit size determinants in papaya cultivars grown under subtropical conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 1022–1027, 2019.
- SAMPAYO-MALDONADO, S.; ORDOÑEZ-SALANUEVA, C.A.; MATTANA, E.; ULIAN, T.; WAY, M.; CASTILLO-LORENZO, E.; DÁVILA-ARANDA, P.D.; LIRASAADE, R.; TÉLLEZ-VALDÉZ, O.; RODRIGUEZ-AREVALO, N.I.; FLORES-ORTÍZ, C.M. Thermal time and cardinal temperatures for germination of *Cedrela odorata* L. **Forests**, v. 10, n. 841, p. 1-17, 2019.
- SHARMA, M.; KULSHRESTHA, S. *Colletotrichum gloeosporioides*: An anthracnose causing pathogen of fruits and vegetables. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v. 12, n. 2, p. 1233-1246, 2015.

- SOUSA, I.F.; KUNZLE NETO, J.E.; MUNIZ, J.A.; GUIMARÃES, R.M.; SAVIAN, T.V.; MUNIZ, F.R. Fitting non-linear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014.
- SOUZA, K.O.; XAVIER, C.V.; LOPES, M.M.A.; MOURA, C.F.H.; SILVA, E.O.; AYALA-ZAVALA, J.F.; MIRANDA, M.R.A. Preharvest treatment with 1-aminoethoxyvinylglycine and gibberellin on the quality and physiology of cashew peduncles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 684-692, 2018.
- WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v. 58, n. 1, p. 1-24, 1998.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. c5, p. 8995-9005, 1985.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.