



# Índice climático de qualidade para cafés naturais do tipo arábica

Ludmila Bardin-Camparotto<sup>1,2(\*)</sup>, Gabriel Constantino Blain<sup>1</sup> e Angélica Prela-Pantano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Agronômico de Campinas, Avenida Barão de Itapura, 1481, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP.

E-mail: ludmila\_bardin@yahoo.com.br, gabrielblain@gmail.com e aprela@gmail.com

<sup>2</sup>Bolsista do Consórcio Embrapa Café.

(\*)Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

## RESUMO

DOI: 00.0000/S0000-000X000000000000

### História do artigo:

Recebido em 28 de junho de 2018

Aceito em 20 de dezembro de 2018

### Termos para indexação:

cultivar Mundo Novo

chuva

época de maturação

graus-dia

temperatura do ar

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo agrometeorológico, denominado Índice Climático de Qualidade – ICQ, que considera as condições térmicas e hídricas ocorridas em fases fenológicas críticas da cultura com vistas a identificar os diferentes potenciais climáticos para a produção de cafés de qualidade no estado de São Paulo. No desenvolvimento e parametrização do ICQ, as temperaturas do ar foram avaliadas em relação ao seu efeito na duração do ciclo produtivo, entre a floração e a maturação (fator térmico), e a chuva em relação ao efeito de sua ocorrência na época da maturação (fator hídrico). Utilizando esses dois fatores e suas respectivas ponderações, obteve-se valores de ICQ variando na escala de qualidade entre zero (baixa qualidade) e um (qualidade superior), os quais foram espacializados para o estado de São Paulo. Os resultados indicaram locais com ICQ acima de 0,8, nas regiões da Alta Mogiana de Franca, Montanhas da Mantiqueira de São João da Boa Vista, Bragança Paulista e Central Paulista. Na região oeste do estado de São Paulo, o café amadurece precocemente condicionando valores de ICQ abaixo de 0,4, indicando baixo potencial climático. O desenvolvimento do ICQ possibilitou a indicação de áreas com diferentes potenciais climáticos visando à produção de bebidas de qualidade superior em São Paulo.

© 2018 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

*Coffea arabica* L. é uma das espécies de café com maior interesse por produtores, devido, principalmente, ao seu cultivo em larga escala comercial e características sensoriais. A sazonalidade térmica e/ou hídrica (Carvalho et al., 2014), o meio geográfico, a altitude, a latitude e a variação fotoperiódica (Fernandes et al., 2012; Alves et al., 2011)

são fatores determinantes na escolha de áreas de cultivos comerciais dos cafezais. A tendência do clima regional também pode ser avaliada para entender melhor seus impactos na fenologia das plantas, assim como realizado por Bardin-Camparotto et al., (2014) para a videira e Moreto et al. (2016) para a laranja “Valência”.

De maneira geral, a qualidade da bebida está estreitamente relacionada com a satisfação dos consumidores, e

seu valor econômico irá depender dessa qualidade (Pereira et al., 2010). A pós-colheita do café é fator essencial e determinante para que o produto final apresente características de qualidade, despertando assim interesse em sua comercialização. De acordo com Siqueira e Abreu (2006) e Coradi et al. (2008), a boa condução dos grãos durante a secagem e armazenamento dos grãos é uma etapa importante quando se trata de qualidade de bebida. Além disso, segundo Martinez et al. (2014), a incidência de micro-organismos nas fases de pré e pós-colheita também é um dos principais fatores que influenciam a qualidade do café. O processamento do café pode ser realizado pela via seca (preparo natural), método mais antigo de conduzir a secagem dos grãos para o beneficiamento, e via úmida (Santos et al., 2009). No Brasil, maior produtor mundial de café, 85% da produção é colhida e seca com casca (Brando & Staut, 2012). No entanto, a grande quantidade de grãos produzida nem sempre atende a critérios de qualidade de um mercado consumidor cada vez mais exigente.

De acordo com Fagan et al. (2011), a qualidade da bebida também está correlacionada com a duração da fase de maturação do fruto. Quando a maturação completa do café é atingida, é possível o início de um processo de fermentação, devido à presença de microorganismos na polpa, constituída principalmente de substâncias pécnicas e açúcares. Trabalhos como o de Barbosa et al. (2012) avaliaram a influência da temperatura na maturação do café, demonstrando que, em locais mais frios, a maturação é mais tardia e, com isso, a acumulação de precursores bioquímicos pode ser completada naturalmente, favorecendo a qualidade da bebida. A produção de cafés de qualidade no estado de São Paulo encontra-se em altitudes superiores a 1.000 m e em locais onde a colheita ocorre sob condições de baixa temperatura e umidade (Bardin-Camparotto et al., 2012). Elevados teores de umidade na colheita favorecem a proliferação de fungos, prejudiciais à qualidade natural da bebida.

A importância em identificar áreas com alto potencial climático para produção de bebidas de qualidade se deve ao crescente mercado consumidor de cafés especiais. Um exemplo, são os modelos agrometeorológicos utilizados na previsão de rendimento e qualidade, que relacionam as condições climáticas regionais com os requisitos das culturas (Moreto et al., 2016). No caso deste trabalho, a utilização de modelos agrometeorológicos, associados a sistemas de informações geográficas (SIG), irá auxiliar na indicação de áreas mais favoráveis à expansão da lavoura cafeeira de qualidade no estado de São Paulo.

Assim, a demanda por cafés de melhor qualidade indica a necessidade de desenvolvimento de modelo que relacione as necessidades climáticas do cafeeiro com regiões que apresentem potencial para produção de cafés de qualidade natural superior. A hipótese do trabalho baseia-se no fato que variações de fatores térmicos e hídricos que resultam

em diversos tipos climáticos e, conseqüentemente, em regiões com diferentes potenciais climáticos de qualidade natural de bebida, podem, por sua vez, ser indicadas por um índice climático de qualidade (ICQ). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver o ICQ visando identificar os diferentes potenciais climáticos para produção de bebidas de qualidade no estado de São Paulo.

## Material e métodos

O desenvolvimento do índice climático de qualidade (ICQ), visando à identificação de regiões com diferentes potenciais de qualidade natural de café arábica para o estado de São Paulo, foi baseado no modelo agrometeorológico desenvolvido por Rao et al. (1993) para a cultura da seringueira. Na interação entre a temperatura e a chuva para identificação dessas diferentes regiões, foram utilizados os fatores térmico (Ti) e hídrico (Chi) no modelo multiplicativo adaptado para a cultura do café, descrito na equação 1.

$$ICQ = Ti \cdot Chi \quad (1)$$

em que ICQ é o Índice Climático de Qualidade; Ti é o fator térmico estimado em função da duração do ciclo; e Chi é o fator hídrico, baseado no efeito de ocorrência de chuva durante a época da maturação.

Foram consideradas as seguintes premissas para desenvolvimento do ICQ: a) cultivar Mundo Novo, uma das mais utilizadas no estado de São Paulo; b) exigência térmica de 2.900 graus-dia (Nunes et al., 2010); c) período crítico da maturação plena (estádio cereja até a colheita), em função da região do estado (Camargo & Camargo, 2001).

No desenvolvimento do ICQ, foram utilizadas informações agrometeorológicas de 25 localidades do estado de São Paulo (Tabela 1). No cálculo do Ti, as temperaturas médias mensais foram avaliadas em relação ao seu efeito na duração do ciclo produtivo e, conseqüentemente, na determinação da época de maturação plena do café, fixando a data de florescimento em 15 de setembro (Zacharias et al., 2008). As épocas de maturação foram estimadas utilizando valores acumulados de graus-dia, da floração à maturação, calculados e espacializados por meio de sistemas de informação geográfica (SIG), de acordo com o método proposto por Bardin-Camparotto et al. (2012).

Considerando que o clima da região da Alta Mogiana (microrregião de Franca), situada na região nordeste do Estado de São Paulo e uma das mais tradicionais regiões produtoras de café arábica, apresenta condições ideais à produção de bebidas de café com qualidade superior (Ortolani et al., 2001), a duração do ciclo obtida para o município de Franca foi utilizada como referência. Assim, adotou-se o valor de 300 dias como a duração ideal para o período

florada-maturação. Determinou-se que, para locais onde a maturação plena atingisse um ciclo de 300 dias, o valor  $T_i$  é igual a 1,0. Ciclos superiores ou inferiores a essa duração ideal resultam em queda do valor de  $T_i$ .

Para que fosse possível a estimação de  $T_i$  para diferentes localidades, foi gerada uma curva (modelo de Fourier) relacionando a duração do ciclo e valores pré-estabelecidos de  $T_i$ . A curva foi gerada a partir de um ciclo mínimo de 180 dias até o máximo de 360 dias, apresentando o ponto crítico de máximo da função no ponto considerado ideal (300 dias). No presente estudo, essa função mostrou-se apropriada (Equação 2) para descrever a variação de  $T_i$  em relação à duração do ciclo. A estimação dos coeficientes do modelo proposto foi realizada com base no software R (R Development Core Team, 2013).

$$T_i = a_0 + a_1 \cdot \cos(x \cdot w) + b_1 \cdot \sin(x \cdot w) \quad (2)$$

em que  $T_i$  é o fator térmico;  $x$  é a duração do ciclo, em dias;  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_1$  e  $w$  são os coeficientes do modelo de regressão a serem estimados.

Neste trabalho, além da temperatura, foi considerado o efeito das condições hídricas na época da maturação. Adotou-se a demanda hídrica do café como sendo 3 mm/dia, ou seja, 90 mm/mês (Oliveira et al., 2003). Sabendo-se que para um suprimento hídrico adequado as chuvas devem ser ligeiramente superiores à evapotranspiração potencial (Pereira et al., 2008), assumiu-se um valor total de chuva igual a 100 mm para a época da maturação como sendo o limite máximo.

Para cálculo do  $Chi$ , foram utilizadas séries históricas de precipitação pluvial, do período de 1961-1990, pertencentes ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Assumiu-se que, se o valor de chuva for superior a 100 mm no mês de maturação,  $Chi$  será igual a zero, devido ao excesso hídrico. Para valores de chuva iguais e inferiores a 100 mm, foi aplicada a equação 3:

$$Chi = 1 - \left( \frac{\text{chuva}}{100} \right) \quad (3)$$

em que  $Chi$  é o fator hídrico e chuva é o valor total de precipitação pluvial no mês de maturação.

Foi estabelecido que, se o final do ciclo da maturação estimada ocorrer em data igual ou anterior ao 15º dia do respectivo mês, o valor da chuva corresponderá ao do mês em questão. Em caso contrário, o valor da chuva corresponderá ao do mês seguinte.

Verificou-se também a possibilidade de alteração na equação 1, com objetivo de obter valores de ICQ mais con-

sistentes. A fim de garantir que os possíveis valores de ICQ permaneçam no intervalo [0, 1], foram atribuídos os seguintes pesos aos fatores: 0,9  $T_i$  e 0,1  $Chi$ ; 0,8  $T_i$  e 0,2  $Chi$ ; 0,7  $T_i$  e 0,3  $Chi$ ; 0,6  $T_i$  e 0,4  $Chi$  e 0,5  $T_i$  e 0,5  $Chi$ . O modelo, neste caso, passou a ser aditivo sendo representado pela equação 4:

$$ICQ = a \cdot T_i + b \cdot Chi \quad (4)$$

em que ICQ é o Índice Climático de Qualidade;  $T_i$  é o fator térmico estimado em função da duração do ciclo;  $Chi$  é o fator hídrico;  $a$  e  $b$  são os respectivos fatores de ponderação.

Utilizando as equações 1 e 4, foram calculados os valores de ICQ para diferentes localidades do estado de São Paulo. A fim de seguir a escala inicial proposta por Rao et al. (1993), os resultados variaram entre 0,0 (pior qualidade) e 1,0 (melhor qualidade). Para verificar se os valores obtidos pelas equações 1 e 4 estavam coerentes com as condições de qualidade conhecidas dessas regiões, uma equipe de especialistas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), formada por pesquisadores atuantes nas áreas de café e agrometeorologia, atribuíram notas de qualidade, variando entre 0,0 e 1,0, às mesmas localidades. Essas comparações foram avaliadas utilizando os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do índice de concordância (Willmott, 1981).

A distribuição espacial do ICQ foi realizada utilizando os valores médios do índice ajustados por meio de uma equação de regressão linear múltipla (Equação 5), em função da altitude e latitude:

$$ICQ = a + b \cdot (\text{alt}) + c \cdot (\text{lat}) \quad (5)$$

em que ICQ é o valor do índice climático de qualidade;  $a$  e  $b$  são os coeficientes da equação de regressão,  $\text{alt}$  é a altitude (metros) e  $\text{lat}$  é a latitude (minutos). O teste F foi utilizado para avaliar a significância da equação de regressão, e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi utilizado para medir a qualidade de ajuste do modelo. Foi adotado o nível de significância de 10%.

Utilizando a equação desenvolvida e o modelo de elevação digital do terreno (MDE), com resolução espacial de 90 m, obtido por sensoriamento remoto orbital, por meio da missão "Shuttle Radar Topography Mission - SRTM" (SRTM, 2006), foi realizada a interpolação e espacialização dos dados do ICQ, com auxílio do sistema de informação geográfica (SIG) - ILWIS ([www.itc.nl/ilwis](http://www.itc.nl/ilwis)).

Após a espacialização dos dados do ICQ, foi elaborado um mapa com faixa de probabilidade superior a 50% de ocorrer temperatura mínima absoluta abaixo de 1°C, vi-

sando a eliminação de áreas com inaptidão ao cultivo de café devido ao alto risco de geadas. Essa probabilidade foi estimada em função das coordenadas geográficas (altitude, latitude e longitude) do estado de São Paulo, por meio da equação 6, de acordo com Astolpho et al. (2005).

(6)

$$P(\%) = 0,061 \cdot (\text{alt}) + 0,157 \cdot (\text{lat}) + 0,035 \cdot (\text{long}) - 325,13$$

em que P(%) é a probabilidade de temperatura mínima < 1°C; alt é a altitude (metros); lat é a latitude (minutos) e long é a longitude (minutos).

As regiões indicadas com alto risco de geada foram eliminadas do mapa de índice climático de qualidade final.

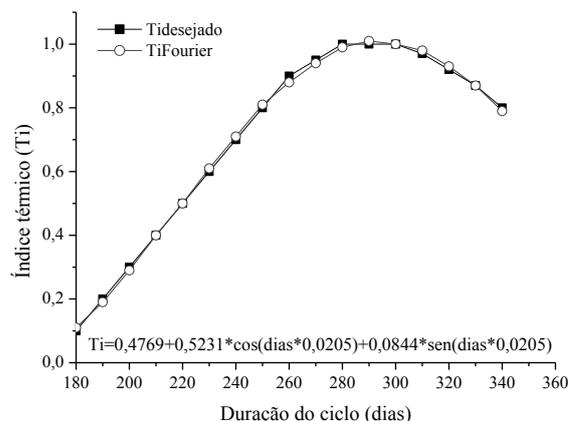
## Resultados e discussão

O ajuste do modelo de Fourier (Equação 2) em relação ao Ti desejado é apresentado na Figura 1, na qual pode ser observado que os valores mais baixos da duração do ciclo associam-se aos valores mais baixos de Ti. Para um ciclo com duração de 180 dias, o valor de Ti é igual a 0,1. O ciclo mais curto ocorre em locais com temperaturas mais elevadas. Durante o processo de secagem, neste caso, as fases de fermentação da polpa sucedem-se rapidamente, podendo atingir fases prejudiciais à qualidade de bebida. Neste trabalho, considerou-se para este ciclo do café (florada-maturação), o limite estatístico entre 180 e 340 dias.

Com aumento da duração do ciclo, os valores de Ti também se elevam. Porém, ciclos com número de dias superiores a 310 tornam-se longos, podendo ocorrer a sobreposição da colheita com período chuvoso e com a florada do ano seguinte. Ressalta-se que o fator térmico influi na duração da frutificação e na época de maturação. Quanto mais baixa e quente for a região, mais precoce será a maturação. Ao contrário, quanto mais alta e fria for a região, mais tardia será a maturação do café. De acordo com Pereira et al. (2008), em locais com temperatura média anual entre 18 e 22°C, favorece a obtenção de bebida.

Na Tabela 1, são apresentados, para as 25 localidades consideradas, os valores da duração do ciclo estimados, a chuva do mês em que ocorreu a época da maturação, obtido em função da duração do ciclo, os valores estimados dos fatores térmico (Ti) e hídrico (Chi), e do ICQ para a cultivar Mundo Novo. Observou-se que para as localidades de Franca e Pedregulho, os valores estimados de Ti foram iguais a 0,96 (284 dias) e 0,98 (288 dias), respectivamente, o que pode ser explicado pelas maiores altitudes e temperaturas mais amenas. Em regiões com temperaturas mais elevadas, os valores de Ti foram mais baixos, sendo iguais a 0,17 para Andradina, 0,30 para Adamantina e 0,32 para Presidente Prudente. Em Ribeirão Preto, o Ti estimado foi igual a 0,45,

**Figura 1.** Função trigonométrica utilizada para descrever a variação de Ti em relação à duração do ciclo do café (floração-maturação), para a cultivar Mundo Novo, considerando o limite entre 180 e 340 dias.



e, em Campinas, igual a 0,82. Na região litorânea, devido às altas temperaturas, os valores de Ti foram os mais baixos, sendo, para cultivar Mundo Novo, igual a 0,03 para Ubatuba e 0,13 para Pariquera-Açu. De modo geral, os resultados demonstraram que os valores estimados do fator térmico (Ti) foram mais elevados em locais com temperaturas mais amenas.

Considerando os valores de Chi (Tabela 1), observou-se que locais com chuvas acima de 100 mm no mês de maturação receberam notas iguais à zero (Ubatuba e Pariquera-Açu). Na região da Alta Mogiana, a temperatura mais fria prolonga a duração do ciclo e a maturação ocorre em períodos secos (junho-julho), favoráveis à boa qualidade natural de bebida. Para os municípios de Franca e Pedregulho, situados nessa região, os valores estimados de Chi foram iguais a 0,78 e 0,82, respectivamente. Em locais com altitudes mais baixas, como na região oeste do Estado, o café atinge a maturação precocemente, em março-abril (ciclo com 180/190 dias), meses ainda quentes e com índices de chuva ainda elevados. Dessa forma, os municípios dessa região apresentaram valores baixos de Chi, como 0,33 para Andradina, 0,45 para Adamantina e 0,37 para Presidente Prudente.

No cálculo dos valores de ICQ, a comparação entre valores apresentados pelos especialistas (ICQesp) e aqueles estimados pelo modelo, para diferentes localidades, são apresentadas na Figura 2. Observou-se que os maiores valores de R<sup>2</sup> (R<sup>2</sup>=0,82) e de d (d=0,95) ocorreram quando ambos os fatores de ponderação da equação 4 foram iguais a 0,5, sendo este o valor adotado na ponderação do modelo.

Os valores de ICQ calculados utilizando o fator de ponderação igual a 0,5 são apresentados na Tabela 1, na qual se observa que os valores de ICQ foram mais elevados para os municípios situados na região da Alta Mogiana: 0,87 (Fran-

**Tabela 1** - Duração do ciclo estimado (dias), quantidade de chuva mensal (mm) do mês em que ocorre a maturação plena, valores dos fatores térmico (Ti) e hídrico (Chi), valor do índice climático de qualidade (ICQ; modelo aditivo: 0,5 Ti e 0,5 Chi) e o intervalo de confiança (IC) de 95%, cultivar Mundo Novo, em diferentes localidades de São Paulo.

Localidades	Altitude (m)	Latitude (graus decimais)	Longitude	Ciclo (dias)	Chuva (mm)	Chi	Ti	ICQ
Franca	987	20,6	47,4	284	22	0,78	0,96	0,9
Pedregulho	1025	20,3	47,5	288	18	0,82	0,98	0,9
Bragança Paulista	834	23	46,6	284	30	0,7	0,96	0,8
Araraquara	699	21,8	48,2	245	36	0,64	0,66	0,7
Campinas	726	22,9	47,1	262	49	0,51	0,82	0,7
Espírito Santo do Pinhal	802	22,3	46,8	268	44	0,56	0,87	0,7
Amparo	714	22,6	46,9	256	55	0,45	0,77	0,6
Avaré	791	23,1	48,9	277	78	0,22	0,93	0,6
Marília	670	22,2	50	245	55	0,45	0,66	0,6
São José do Rio Pardo	726	21,5	46,8	247	41	0,59	0,68	0,6
Matão	586	21,6	48,4	226	48	0,52	0,47	0,5
Ribeirão Preto	599	21,2	47,8	225	54	0,46	0,45	0,5
Adamantina	459	21,7	51,1	211	55	0,45	0,3	0,4
Ipauçu	595	23	49,6	241	88	0,12	0,63	0,4
Mococa	607	21,5	47	228	64	0,36	0,48	0,4
Pindorama	588	21,2	48,9	223	59	0,41	0,43	0,4
Andradina	386	20,9	51,4	197	67	0,33	0,17	0,3
Dracena	418	21,5	51,6	205	69	0,31	0,24	0,3
Guaíra	486	20,2	48,5	203	70	0,3	0,22	0,3
Jales	494	20,3	50,6	204	74	0,26	0,23	0,3
Ourinhos	449	23	49,8	221	75	0,25	0,4	0,3
Presidente Prudente	444	22,1	51,4	213	63	0,37	0,32	0,3
São José do Rio Preto	494	20,8	49,4	208	67	0,33	0,27	0,3
Pariquera-Açu	68	24,7	47,9	192	109	0,00	0,13	0,1
Ubatuba	5	23,5	45,1	178	300	0,00	0,03	0,0

ca) e 0,90 (Pedregulho). Estes valores elevados indicam que as regiões com condição climáticas mais fria são favorecidas na época da maturação à obtenção de cafés com qualidade superior. As regiões do oeste de São Paulo apresentaram valores mais baixos de ICQ: 0,25 para Andradina, 0,38 para Adamantina e 0,34 para Presidente Prudente. Assim, o café pode não apresentar características necessárias para ser considerado superior, levando em consideração apenas as condições climáticas. As temperaturas mais elevadas contribuem para o encurtamento do ciclo e a maturação ocorre em meses climatologicamente mais chuvosos, o que proporciona umidade do ar mais elevada, levando a uma polpa com maior teor de água, considerado desfavorável à qualidade de bebida.

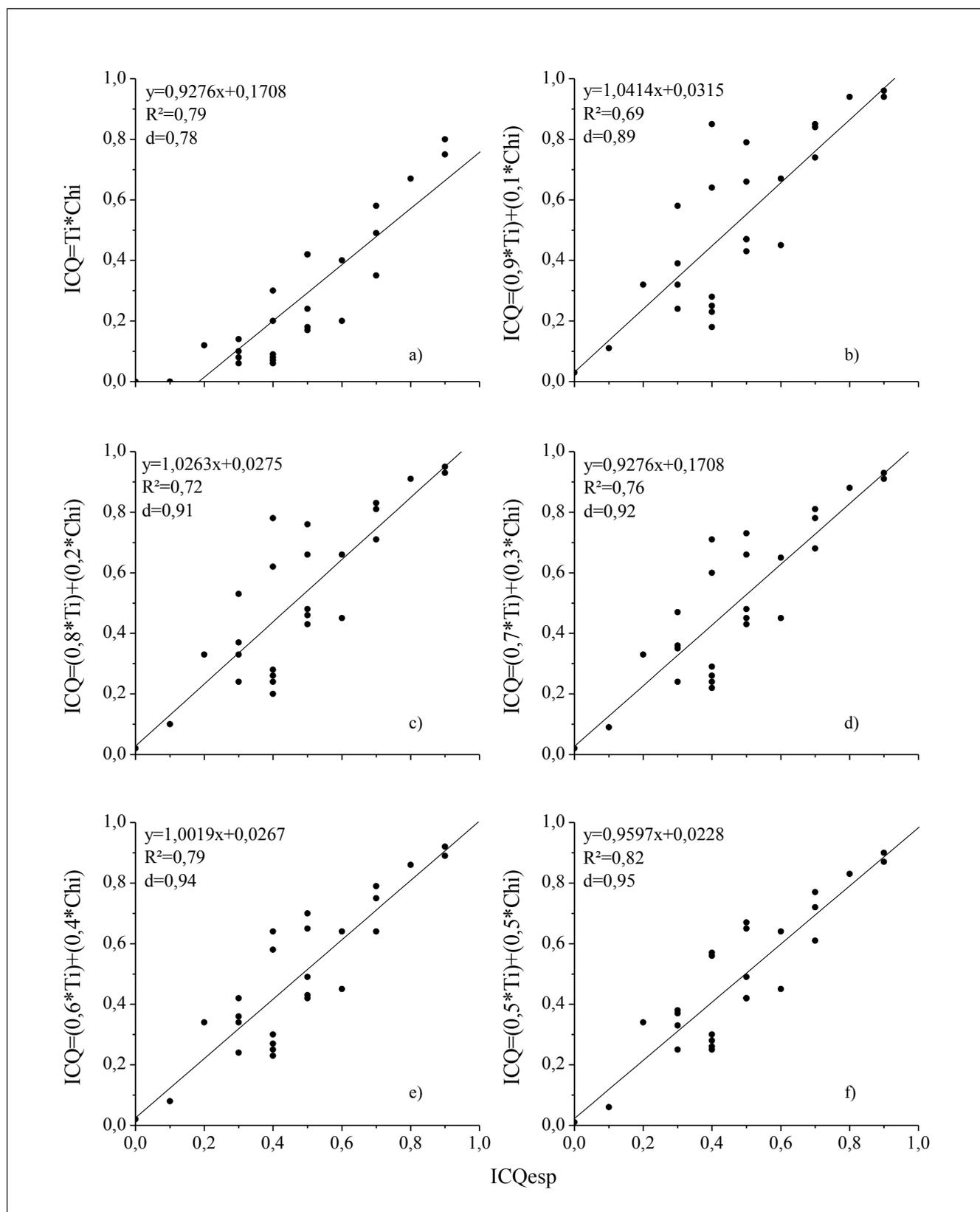
Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes de regressão utilizados na espacialização dos valores do ICQ, e suas significâncias. O valor de  $R^2$  obtido foi de 0,93 indicando que 93% das variações ocorridas no ICQ foram explicadas pelo modelo de regressão. Utilizando o SIG-ILWIS e a equação estimada do ICQ, foi gerado o mapa de qualidade de bebida natural do café arábica para o estado de São Paulo

(Figura 3), considerando a data de florescimento em 15 de setembro.

A qualidade final da bebida é influenciada pelos tratamentos culturais, cultivar, plantio, controle de pragas e doenças, tipo de colheita, processamento dos grãos, tipo de secagem, armazenagem, entre outros, conforme descrito em diversos trabalhos, tais como o de Pereira et al. (2008). Contudo, esse trabalho teve como enfoque principal delimitar áreas com diferentes potenciais climáticos à produção de cafés com qualidade natural de bebida. Assim, o mapa apresentado indicou uma estimativa do potencial de qualidade das principais áreas produtoras de café no Estado de São Paulo condicionado por fatores climáticos. Os resultados indicaram que o gradiente de continentalidade e as variações de altitude existentes em São Paulo resultam em diferentes condições térmicas e hídricas que interferem na fenologia do cafeeiro condicionando distintas classes de qualidade de bebida natural.

A região da Alta Mogiana possui temperatura amena e deficiência hídrica acentuada na época da maturação. Ressalta-se que a duração das fermentações da polpa do café

**Figura 2.** Representação gráfica, equação de regressão, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índice de concordância (d) entre valores estimados de ICQ e as notas subjetivas atribuídas por profissionais especialistas (ICQesp) para 25 locais do Estado de São Paulo, em cada ponderação avaliada.

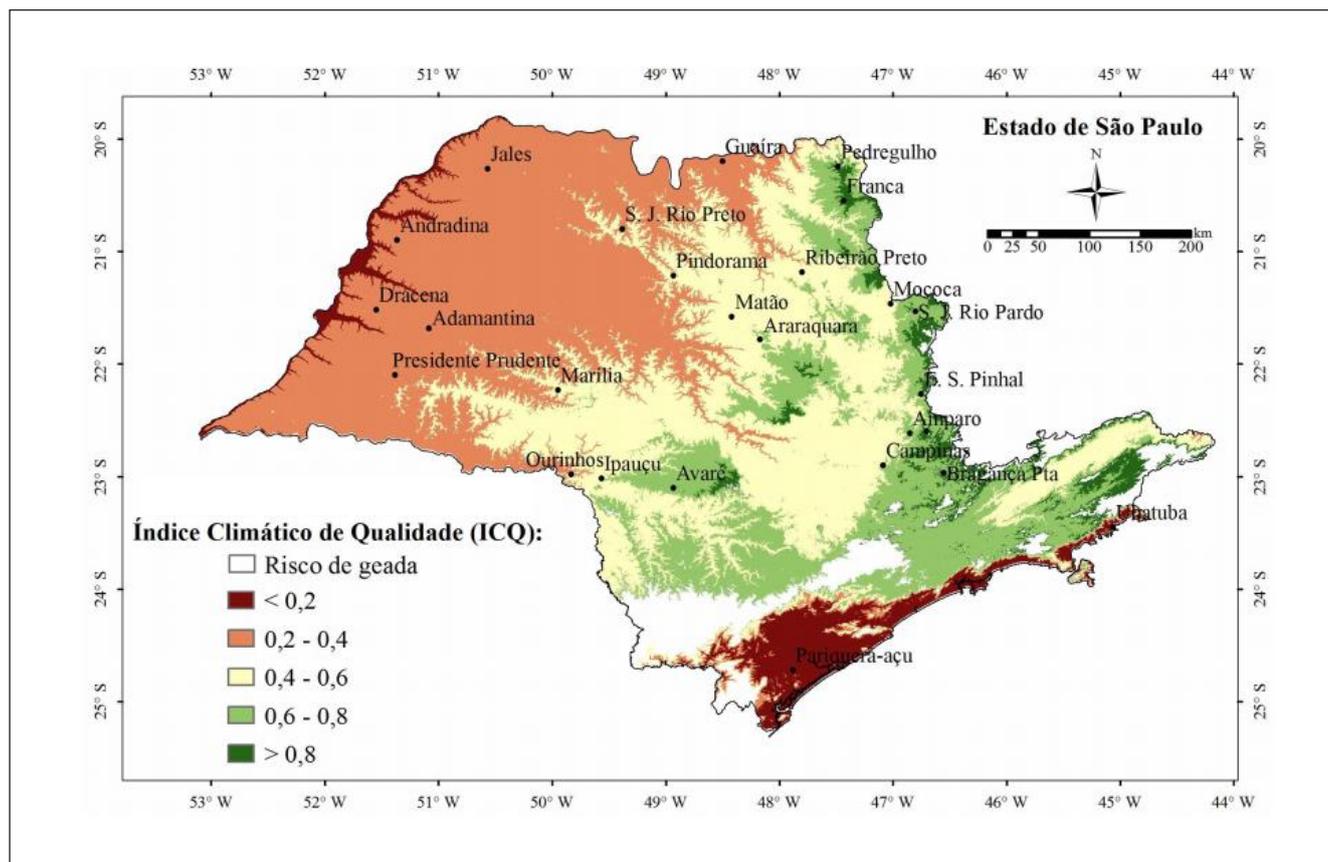


está ligada à temperatura e umidade do ambiente. Com isso, nesta região, a fermentação é mais lenta, em relação às demais áreas do Estado, com a maturação ocorrendo em meses mais frios e com baixos totais de precipitação. Nes-

sa fase, o ambiente seco favorece a desidratação da polpa do café, não havendo condições propícias à fermentações indesejáveis.

As elevadas altitudes observadas em municípios como

**Figura 3.** Espacialização dos valores do índice climático de qualidade (ICQ) para o estado de São Paulo, cultivar Mundo Novo, variando entre zero (baixa qualidade) e um (qualidade superior).



**Tabela 2.** Estimativas dos coeficientes da equação de regressão simples e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para avaliação do índice climático de qualidade (ICQ) considerando modelo aditivo (50% Ti e 50% Chi), em função da altitude e latitude para o estado de São Paulo.

Florescimento	Constante	Coeficiente angular da altitude	Coeficiente angular da latitude	$R^2$
15 de setembro	-0,6426*	0,000994*	0,000395*	0,93

\* = significativo a 10% de probabilidade de ocorrência do erro tipo I.

São João da Boa Vista, Divinolândia, São Sebastião da Gramma e Águas da Prata aumentam o risco de geada (ASTOLPHO et al., 2005). Entretanto, as temperaturas amenas e a deficiência hídrica observada na época da maturação condicionam a produção de bebidas com qualidade superior, assim como observado na região de Franca. Em algumas áreas das regiões da Alta e Média Mogiana, os valores estimados de ICQ foram superiores a 0,80, indicando que a região tem alto potencial climático para a produção de bebidas de qualidade natural superior. Os municípios de Cássia dos Coqueiros, São Sebastião da Gramma, Divinolândia e Águas da Prata possuem quase 100% de seus territórios com valores de ICQ acima de 0,8. A região de Bragança Paulista também possui temperatura amena e deficiência

hídrica na época de maturação, resultando em condições favoráveis à produção de bebida fina.

A região de Ourinhos e Avaré apresenta temperaturas mais elevadas, e, em geral, apresenta baixa deficiência hídrica. Com isso, são condicionadas as duas primeiras fases de fermentação, resultando na bebida caracterizada como “dura”. Essa é uma região normalmente produtora de cafés com qualidade dura a rio, e processos de colheita e de preparo influenciam a qualidade final da bebida. Com técnicas de colheita, preparo e secagem, é possível produzir cafés de tipo superior, mesmo em áreas tidas como produtoras de cafés inferiores. Em grande parte desta região, foram observados valores de ICQ entre 0,6 e 0,8, mas também foram observados em algumas áreas nos municípios de Itatinga e Pardinho, situados entre Avaré e Botucatu, com potencial favorável à produção de bebida de qualidade superior (ICQ > 0,8).

Já na região de Marília e Garça, as temperaturas são relativamente altas e a deficiência hídrica moderada na época de maturação, resultando em valores de ICQ abaixo de 0,6. Devido à alta temperatura, as fases de fermentação da polpa sucedem-se rapidamente, atingindo as fases prejudiciais à qualidade do café. Entretanto, a adoção de sistemas produtivos sob adensamento e irrigação tendem a melhorar o desempenho da região. As temperaturas elevadas observadas ao longo do ano na região da Alta Paulista de

Dracena condicionam uma maturação precoce. Com isto, nessas regiões, o café amadurece mais cedo e com o tempo quente e úmido, indicando baixo potencial climático (ICQ < 0,4), condicionando bebida natural de qualidade inferior.

A região central do estado (Araraquara, Campinas, Jaú, Limeira, Mogi-Mirim e Ribeirão Preto), geralmente quente e moderadamente úmida, favorece a fermentação da polpa relativamente rápida, levando à bebida “dura”. Entretanto, com o avanço do plantio da cana-de-açúcar na região, a tendência é que a lavoura desapareça da paisagem. Porém, os talhões remanescentes, que ainda garantem retorno financeiro, são os de maior produtividade entre os principais cinturões produtores no estado de São Paulo. Na Figura 3, observa-se também uma faixa inapta à produção de café devido à alta probabilidade de ocorrência de geadas.

A variação do ICQ observada em todas as regiões estudadas contribui com o planejamento do sistema produtivo do café. O uso de SIG permite a geração de mapas que facilitam a visualização da distribuição espacial do índice climático de qualidade, evidenciando áreas mais favoráveis à expansão da lavoura cafeeira no estado. Em adição, o aumento do cultivo do café em áreas com ICQ superior a 0,8 poderá promover o melhor suprimento do mercado interno e externo com cafés de alta qualidade natural, contribuindo para a manutenção da relevância sócio-econômica desta atividade agrícola no estado de São Paulo. Ressalta-se que, neste trabalho, não é apresentado uma classificação dos tipos de bebida, uma vez que o trabalho considera apenas as características climáticas das regiões e as características da bebida podem estar relacionadas diretamente com o manejo.

## Conclusões

O desenvolvimento e a espacialização do ICQ parametrizado para o café natural do tipo arábica possibilita a indicação de áreas com diferentes potenciais climáticos visando a produção de bebidas de qualidade superior no Estado de São Paulo.

Localidades como Franca e Pedregulho são classificadas como de maior potencial produtivo de cafés com qualidade superior e Ubatuba e Pariquera-açu como de pior potencial.

## Referências bibliográficas

ASTOLPHO, F.; CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JÚNIOR, M.; PALLONE FILHO, W. J.; BARDIN, L. Regionalização de riscos de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais para o Estado de São Paulo com base em modelos probabilísticos e digitais de elevação. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 139-148, 2005.

ALVES, H.; VOLPATO, M.M.L.; VIEIRA, T.G.C.; BORÉM, F.M.; BARBOSA, J.N. Características ambientais e qualidade de bebida dos café do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 1-12, 2011.

BARBOSA, J. P. R. A. D.; MARTINS, G. A.; FERREIRA, R. T.; PENNACCHI, J. P.; SOUZA, V. F.; SOARES, A. M. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, Lavras, v.7, p. 267-274, 2012.

BARDIN-CAMPAROTTO, L.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, J. F. L. de. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 594-599, 2012.

BARDIN-CAMPAROTTO, L.; BLAIN, G. C.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; HERNANDES, J. L.; CIA, P. Climate trends in a non-traditional high quality wine producing region. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p.327-334, 2014.

BRANDO, C. H. J.; STAUT, J. B. A. Coffee from Sao Paulo wins national quality contest. **Coffidential: P&A Coffee Newsletter**, Espirito Santo do Pinhas, v. 54, p. 1-4, 2012.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p.65-68, 2001.

CARVALHO, H. P.; CAMARGO, R.; GOMES, M. W. N.; SOUZA, M. F. Classification of the development cycle of coffee cultivars by means of thermal sum. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, p.237-244, 2014.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J.A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

FAGAN, E. B.; SOUZA, C. H. E.; PEREIRA, N. M. B.; MACHADO, V. J. Effect of time on coffee bean (*coffea sp*) growth in cup quality. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p.729-738, 2011.

FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M.; LACERDA, J. S.; NEVES, Y. P.; PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 838-848, 2014.

MORETO, V. B.; ROLIM, G. S.; ZACARIN, B. G.; LATADO, R. R. Agrometeorological models for forecasting the qualitative attributes of “Valencia” oranges. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n.3-4, p. 847-864, 2016.

NUNES, F. L. et al. Modelos agrometeorológicos de estimativa da duração do estágio floração-maturação para três cultivares de café arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1011-1018, 2010.

OLIVEIRA, P. M.; SILVA, A. M.; CASTRO NETO, P. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 273-282, 2003.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P. Regionalização da época de maturação e qualidade natural de bebida do café arábica no Estado de São Paulo. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE: CBAgro, p. 53-54, 2001.

PEREIRA, M. C. et al. Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea arabica* L.) in the region of upper Paranaíba. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 635-641, 2010.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 127 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

RAO, P. S.; JAYARATHNAM, K.; SETHURAJ, M. R. An index to assess areas hydrothermally suitable for rubber cultivation. **Indian Journal of Natural Rubber Research**, Bangalore, v. 6, v. 1, p. 80-91, 1993.

SANTOS, M. A.; CHALFOUN, S. M.; PIMENTA, C. J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição, físico química e química do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 213-218, 2009.

SIQUEIRA, H. H. de; ABREU, C. M. P. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, 2006.

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. <<http://srtm.usgs.gov>> Acesso em: 29 ago. 2006.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, Palm Beach, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

ZACHARIAS, A. O.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Modelo agrometeorológico de estimativa do início da florada plena do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 249-256, 2008.

## REFERENCIAÇÃO

BARDIN-CAMPAROTTO, L.; GABRIEL CONSTANTINO BLAIN, G. C.; PRELA-PANTANO, A. Índice climático de qualidade para cafés naturais do tipo arábica. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.26, n.1, p.257-266, 2018.



# Quality climatic index of arabica natural coffees

Ludmila Bardin-Camparotto<sup>1,2(\*)</sup>, Gabriel Constantino Blain<sup>1</sup> and Angélica Praela-Pantano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Agronômico de Campinas, Avenida Barão de Itapura, 1481, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP, Brazil.

E-mail: ludmila\_bardin@yahoo.com.br, gabrielblain@gmail.com and aprela@gmail.com

<sup>2</sup>Bolsista do Consórcio Embrapa Café.

(\*)Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 28 June 2018

Accepted 20 December 2018

### Index terms:

Mundo Novo cultivar

rainfall

ripening period

degree-days

air temperature

## ABSTRACT

The objective of this paper was to develop an agrometeorological model (ICQ) that take into account thermal and water factors occurred in critical phenological grow stages which aims to identify the different climatic potential for producing quality natural coffee in the State of Sao Paulo, Brazil. During the development and parameterization of the ICQ model, air temperatures were evaluated regarding their effect on the duration of the production cycle, between anthesis and full ripening stage (thermal factor); and rainfall in relation to the effect of its occurrence during the maturation growth stage (water factor). Using these two factors and their weights, values of the ICQ were obtained with quality scale ranging between zero (low) and one (high), which were spatially for all the state. The results indicated areas with ICQ above 0.8 in the regions of Alta Mogiana de Franca, Montanhas da Mantiqueira of São João da Boa Vista, Bragança Paulista and Central Paulista. In the western region of the state the coffee ripens early due to higher temperatures conditioning ICQ values < 0.4 indicating low climate potential to obtain natural coffees with high quality. The development of the ICQ model for natural arabica coffee made possible the indication of potential areas with different climatic order to produce top quality beverages in the State of Sao Paulo, Brazil.

© 2018 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

BARDIN-CAMPAROTTO, L.; GABRIEL CONSTANTINO BLAIN, G. C.; PRELA-PANTANO, A. Índice climático de qualidade para cafés naturais do tipo arábica. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.1, p.257-266, 2018.