

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
JOÃO GABRIEL LICO ABRAHÃO

ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE ATINGÍVEL PARA CULTURA DO CAFÉ NO
CERRADO MINEIRO

MONTE CARMELO – MINAS GERAIS
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
JOÃO GBRIEL LICO ABRAHÃO

ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE ATINGÍVEL PARA CULTURA DO CAFÉ NO
CERRADO MINEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino
Fraga Júnior

MONTE CARMELO – MINAS GERAIS
2021

JOÃO GABRIEL LICO ABRAHÃO

ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE ATINGÍVEL PARA CULTURA DO CAFÉ NO
CERRADO MINEIRO

Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 25 de novembro de 2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Orientador

Prof. Dr. Timóteo Herculino da Silva Barros
Membro da Banca

Prof. Msc. Vinícius de Oliveira Rezende
Membro da Banca

Monte Carmelo
2021

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a Deus que abriu as portas para tudo isso ser possível na minha vida.

Aos meus pais José Carlos Delmonaco Abrahão e Suzelaine De Paula Lico Abrahão por todo carinho e apoio dado em todos esses anos de faculdade.

A todos os Professores e Colegas da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Monte Carmelo que se tornaram amigos de verdade em toda essa caminhada.

Por fim, ao meu Professor/Orientador Eusímio Felisbino Fraga Júnior que me auxiliou no desenvolvimento das atividades necessárias e que se tornou um grande parceiro dentro da faculdade.

SUMÁRIO

RESUMO	5
1 INTRODUÇÃO	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

RESUMO

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Visando obter um conhecimento mais profundo sobre as respostas do cultivo ao ambiente, modelos de estimativa de produtividade são utilizados como ferramentas, possibilitando o estudo e o entendimento do sistema agrícola, ou seja, fazerem uma simulação para o produtor de quanto ele pode produzir naquela safra por exemplo. Dessa forma, o produtor tem em suas mãos uma ferramenta útil que pode prepará-lo para possíveis ganhos e perdas. Neste sentido o objetivo deste trabalho foi ajustar e testar um método novo e objetivo para cultura do café baseado no modelo agrometeorológico genérico de produção vegetal (MAGé) para estimar a produtividade atingível do cafeeiro através de modelo agrometeorológico para a região de Monte Carmelo, Minas Gerais. Para os cálculos que foram executados na planilha que demonstra a produtividade atingível do café foram utilizados dados meteorológicos disponibilizados pela Cooperativa Regional De Cafeicultores em Guaxupé instalada em Monte Carmelo. Esses dados foram: Temperatura máxima, temperatura mínima, Qg, precipitação, irrigação bruta, ETo e temperatura média para cada dia do ano durante o período de 2008 até 2019. Conclui-se então que o sistema de irrigação é um sistema que traz o aumento de produtividade ao produtor e que se utilizado de maneira correta obtém bons lucros. É importante ter conhecimento sobre um modelo agrometeorológico pois através dele você consegue calcular e comparar dados para alcançar uma maior produtividade. Por fim, em relação aos dados apresentados 2014 foi o ano mais produtivo e 2008 menos produtivo quando comparados aos doze anos representados na tabela.

Palavras chave: produtividade, estresse hídrico, agrometeorologia.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das atividades mais antigas e fundamentais da humanidade. Ao longo dos séculos, foram desenvolvidas diferentes técnicas de manejo em busca de um maior aproveitamento das terras, extração de substratos e produtos beneficiados provindos de origem vegetal. Embora o avanço tecnológico tenha desempenhado um importante papel no aumento da produtividade agrícola e eficiência de suas cadeias de produção, grande parte da agricultura mundial é dependente de fatores ambientais e meteorológicos (VIANNA et al., 2017).

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Visando obter um conhecimento mais profundo sobre as respostas do cultivo ao ambiente, modelos de estimativa de produtividade são utilizados como ferramentas, possibilitando o estudo e o entendimento do sistema agrícola.

A relação entre os diferentes tipos e níveis de produtividade de uma cultura agrícola e os fatores que a determinam define o que se denomina de quebra de produtividade. As estimativas de quebra de produtividade e suas principais causas figuram como uma das principais linhas de pesquisa da atualidade, envolvendo diferentes áreas do conhecimento agrônomo, como agrometeorologia, fitotecnia, fitossanidade, melhoramento genético, entre outras (SENTELHAS, 2016). A variabilidade climática faz da agricultura um dos setores econômicos de maior risco. De modo geral, em cultivos extensivos essas variáveis não podem ser controladas em larga escala, o que ressalta a importância de se conhecer e analisar detalhadamente o comportamento do clima e seu efeito sobre a atividade agrícola numa dada região para otimizar recursos e aumentar a produtividade dos empreendimentos (VIANNA et al., 2017).

Neste sentido, a junção ou conjunto de equações dedicadas a representar o desenvolvimento e crescimento vegetal baseando se nas condições de solo e clima é chamada de modelo agrometeorológico de produção vegetal, ou modelo de cultura baseado em processos. Esse tipo abordagem busca representar ou “simular” o crescimento e desenvolvimento de uma cultura em uma dada condição meteorológica e pedológica (VIANNA et al., 2017).

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi ajustar e testar um método e objetivo para estimar a produtividade atingível do cafeeiro através de modelo agrometeorológico para a região do cerrado mineiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GERAIS DO CAFÉ

O gênero *Coffea* é representado por mais de 100 espécies, destacando-se a *C. arabica* e *C. canephora* (DAVIS et al., 2006), devido às suas características comerciais. A safra brasileira de 2011 foi de 32,19 milhões de sacas de *C. arabica* e 11,30 milhões de *C. canephora*, em área total de 2,28 milhões de hectares, com 5,66 bilhões de cafeeiros em produção e formação (CONAB, 2012).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, tendo exportado, em 2011, mais de 30 milhões de sacas, equivalentes a 8,7 bilhões de dólares de divisas, sendo responsável por 3,4% do total das exportações brasileiras (BRASIL, 2012).

O café Arábica é originário das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, em altitudes de 1.500-2.800 m. Nestas regiões, a temperatura do ar apresenta pouca variação sazonal, com média anual variando entre 18°C e 22°C. A precipitação é bem distribuída, variando de 1.600 mm a 2.000 mm, com estação seca estendendo-se por três a quatro meses e coincidindo com o período mais fresco (CAMARGO, 2010). As temperaturas do ar entre 18°C e 23°C são próprias para a espécie (CAMARGO, 1985).

O cafeeiro Conilon foi observado em seu estado selvagem entre o Gabão e a embocadura do Rio Congo, tendo seu primeiro cultivo comercial ocorrido em 1870, em solos do Congo (DAVIS et al., 2006). É cultivado, predominantemente, em áreas de menor altitude, obtendo-se elevado crescimento, quando a média da temperatura mínima do ar é superior a 17°C e a média das temperaturas máximas inferior a 31,5°C (PARTELLI et al., 2010).

2.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS PARA A CULTURA DO CAFÉ

A cultura do café é, normalmente, afetada, nas suas fases fenológicas, pelas condições ambientais, como variação fotoperiódica, altitude e latitude, que originam diferentes condições meteorológicas, interferindo, principalmente, na distribuição pluviométrica e temperatura do ar, com reflexos não apenas na fenologia, mas, também, na produtividade e qualidade da bebida.

A fenologia do cafeeiro Arábica foi definida para as condições tropicais do Brasil e relacionada a condições agrometeorológicas de cada ano (CAMARGO; CAMARGO 2001). Esta esquematização é útil para racionalizar as pesquisas e observações na cafeicultura. Com isto, possibilita identificar as fases que exigem água disponível no solo e aquelas nas quais se torna conveniente ocorrer pequeno estresse hídrico, para condicionar uma abundante e uniforme florada. A Tabela 1 demonstra as principais cultivares de café Arábica plantadas no Cerrado.

Tabela 1. Principais cultivares de café Arábica plantadas no Cerrado.

Região	Cultivares
Quente (todos os meses do ano, com temperatura mensal média superior a 19°C)	Catuai Vermelho IAC 144, IAC 44 e IAC 99 Catuai Amarelo IAC 86, IAC 62 e IAC 47 Catucaí Vermelho MA 36/6, MA 20/15 e 785-15 Catucaí Amarelo MA 7/21 e MA - 25 L
Média (2 meses do ano, geralmente junho e julho, com temperaturas médias inferiores a 19°C)	Catuai Vermelho IAC 144, IAC 44, IAC 81, IAC 99 e IAC 15 Catuai Amarelo IAC 86, IAC 62, IAC 47, IAC 39 e IAC 100 Catucaí Vermelho MA 36/6, MA 785-15 e MA 20/15 Catucaí Amarelo MA 7/21 e MA 2 SL Tupi 1669 - 33 Acaia 474 - 19 Topázio Rubi
Fria (4 meses do ano, geralmente maio, junho, julho e agosto, com temperaturas médias inferiores a 19°C)	Mundo Novo IAC 379-19, IAC 515-3, IAC 515-11 e IAC 515-20 Acaia 474-19 Icatu Amarelo 3282, esta para sistemas que não sejam irrigados por pivô (convencional ou LEPA) Catuai Vermelho IAC 144, IAC 99, IAC 15 e IAC 51 Catuai Amarelo IAC 86, IAC 100 e IAC 47

Fonte: Santinato et al. (2008).

Segundo Camargo (1987), nas condições da região Centro-Sul, o déficit hídrico, na fase de chumbinho (outubro a dezembro), atrasa o crescimento dos frutos e reduz a produtividade. O tamanho final do grão cereja depende, acentuadamente, da precipitação ocorrida de 10 a 17 semanas após o florescimento, período, este, considerado de expansão rápida do fruto. A expansão celular, que delimita o tamanho do fruto, é sensível ao déficit hídrico (RENA; MAESTRI 1986).

Na fase de maturação e abotoação, de abril a junho, o déficit hídrico não afeta a maturação dos frutos já formados e nem a produtividade do ano, porém, prejudica a abotoação e a frutificação do ano seguinte. Já na fase de dormência dos botões florais, de julho a setembro, a deficiência hídrica pode ser até benéfica, pelo fato de condicionar florescimento abundante, após chuvas ou irrigações, resultando em frutificação e maturação uniformes, na safra seguinte (CAMARGO, 1987).

A temperatura, bem como o regime hídrico, constitui-se em um dos fatores mais importantes para definir a aptidão climática do cafeeiro, em cultivos comerciais. A aptidão térmica é dada por faixas de temperatura média anual (médias históricas), classificadas em ideal, apta e inapta para proceder ao zoneamento agroclimático do cafeeiro no Brasil, com base na experimentação e na prática de cultivo (SANTINATO et al., 2008).

Estudos de diferentes regiões cafeeiras do Brasil e do mundo indicam que o cafeeiro Arábica suporta até 150 mm ano⁻¹ de déficit hídrico, se este período não se prolongar até o mês de setembro. Portanto, para que suporte este déficit, há necessidade de irrigação (se não ocorrer chuva), no início de setembro, depois de um déficit hídrico de 70 a 109 dias, que irá favorecer, significativamente, a produção uniforme de frutos cereja (MERA et al., 2011). Também, devem ser observadas se as condições de solo (textura e profundidade) são adequadas, ou seja, se tratam-se de solos profundos e argilosos, já que, em solos rasos e arenosos, o cafeeiro não suporta este déficit, devido ao fato de a capacidade de água disponível no solo ser menor.

Figuroa et al., (2000) realizaram estudo na Guatemala, com a intenção de demonstrar que a qualidade do café Arábica seria determinada pelas condições climáticas, e estas, por sua vez, definidas pela altitude, latitude e regime de chuvas. Os autores relataram que os cafés Arábica lavados caracterizam-se por baixa acidez e aroma intenso, como é o caso dos originários da Guatemala, Costa Rica, Quênia, Etiópia e Tanzânia, porém, cada um apresenta características peculiares de cada país, dentro de suas zonas cafeeiras.

Sob o aspecto fisiológico, nas pré-floradas, quando os botões florais já alcançaram de 4,0 mm a 6,00 mm de comprimento, tem sido observado, em condições de campo, que a baixa umidade relativa do ar provoca desidratação dos botões do café Arábica, principalmente em regiões com temperatura entre 20°C e 23°C. Nestas condições, os botões

florais adquirem cor de “palha-de-arroz” e caem, com perdas elevadas de produtividade. Para estas situações, a irrigação (por aspersão ou localizada) poderá mitigar o problema, quando realizada desde o início da diferenciação floral, evitando estresses prolongados no período de repouso, ou dormência destes botões florais (MATIELLO et al., 2010).

O cafeeiro é uma planta com baixa capacidade de absorção de água. Com isto, em condições de baixa umidade relativa do ar, a velocidade de transpiração pode ser maior que a absorção de água, levando à desidratação, mesmo com água disponível no solo. Umidade relativa do ar abaixo de 50%, mesmo com água disponível no solo, pode causar a murcha das folhas do cafeeiro Arábica, notadamente em solos arenosos, em regiões de temperaturas altas (20-23°C), aliadas à ação do vento. Umidade relativa do ar entre 50% e 70% é considerada satisfatória e de 70% a 80% é considerada ideal. Por outro lado, a umidade relativa do ar muito alta pode facilitar o aparecimento de doenças fúngicas e bacterianas. A umidade do ar, da mesma forma que a temperatura, é um fator incontrollável, por ser macroclimático. Na região cafeeira do Cerrado, por ser de inverno seco, os problemas com o excesso de umidade, na fase de pós-colheita, são minimizados. Em síntese, pode-se dizer que a região cafeeira do Cerrado apresenta condições climáticas favoráveis à obtenção de altas produtividades de café (Tabela 2). Temperaturas médias na faixa ideal, maior diferença de amplitudes térmicas, regime hídrico definido, menor umidade relativa nas épocas críticas do florescimento, granação, maturação e colheita (Tabela 2), e, fundamentalmente, o alto número de horas de insolação, nos meses de abril, maio, junho e julho, característico da região, proporcionam condições para uma produção de café com bebidas de baixa acidez e alto sabor adocicado, com característica de achocolatado.

Carvalho et al., (2003) relataram que a escolha de determinada cultivar depende, também, do manejo realizado pelo cafeeicultor. Um dos tratos culturais que mais tem influenciado na produção do cafeeiro é a irrigação, e pouco se sabe sobre a resposta de diferentes cultivares, em função da aplicação de água. Neste sentido Drumond e Fernandes (2004), estudando o cafeeiro sob diferentes sistemas de irrigação, no Cerrado, concluíram que, nas condições de clima e solo de Uberaba (MG), a produtividade da lavoura de sequeiro é baixa, quando comparada com a lavoura irrigada. Nas áreas irrigadas, verificaram-se produtividades 75-137% superiores, em relação à testemunha.

Bonomo et al., (2008), avaliando o efeito da irrigação na produtividade e renda das cultivares de cafeeiro Catuaí IAC 44, Acaíá Cerrado MG 1474, Rubi MG 1192, Topázio MG 1190, Oeiras MG 6851 e Katipó, com a finalidade de identificar a potencialidade da produção de café Arábica nas condições de Cerrado, no sudoeste goiano, verificaram que a irrigação dobrou a produtividade dos cafeeiros, não sendo observadas diferenças significativas entre os métodos de irrigação empregados. A cultivar Katipó apresentou produtividade significativamente superior às demais, mostrando-se promissora para o cultivo na região. A cultivar Acaíá Cerrado MG 1474 foi a que apresentou menor produtividade. A tabela 2 apresenta as principais características climáticas do Cerrado, para a produção de café.

Tabela 2. Principais características climáticas do Cerrado, para a produção de café.

Variável	Descrição
Precipitação	Característica marcante de distribuição de chuvas concentradas no verão e bem menor no inverno, favorecendo a maturação e colheita do café.
Temperatura	Temperaturas médias de outono (março a junho) mais amenas do que as das demais regiões cafeeiras, favorecendo, desta forma, a maturação mais lenta dos frutos do cafeeiro. A localização mais continental da região do Cerrado mineiro condiciona uma maior amplitude térmica (diferença entre as máximas e mínimas), que favorece, também, a maturação do café.
Insolação	Maior quantidade de insolação, principalmente nos meses de outono e inverno, favorecendo, assim, a maturação e a colheita dos frutos. Desta maneira, evita-se a ocorrência de fermentações deletérias à qualidade da bebida.
Umidade relativa do ar	Valores de umidade relativa do ar mais reduzidos, se comparados às demais regiões cafeeiras tradicionais, demonstrando, assim, uma característica importante, principalmente no período de maturação e colheita. Esta baixa umidade do ar é benéfica para a obtenção de bebida de qualidade superior, permitindo, desta maneira, baixa acidez e sabor achocolatado.

Fonte: Santinato et al. (2008) e Matiello et al. (2010).

Vários trabalhos comprovam a significância da interação genótipo x ambiente, na tomada de decisão sobre qual cultivar deve ser plantada. Carvalho et al. (2006) avaliaram o comportamento de 12 progênies de cafeeiros, resultantes do cruzamento entre Mundo Novo e Catuaí, em diferentes regiões cafeeiras de Minas Gerais. As produtividades médias das progênies apresentaram ampla variação, nos diferentes locais, evidenciando a interação genótipo x ambiente e reforçando a necessidade de novos estudos.

2.3 A UTILIZAÇÃO DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PRODUTIVIDADE DE CAFÉ QUE PODEM SER UTILIZADOS NO CERRADO DE MINAS GERAIS

A utilização de modelos agrometeorológicos que monitoram os efeitos do clima durante os estádios fenológicos críticos do cafeeiro é importante para a estimativa de produtividade. No Brasil, alguns trabalhos sobre modelos agrometeorológicos aplicados para a estimativa da produtividade do cafeeiro podem ser encontrados, como Tosello e Arruda (1962), Camargo et al. (1984), Silva et al. (1987), Liu e Liu (1988), Weill (1990), Piccini et al. (1999), Carvalho et al. (2003) e Camargo et al. (2003).

Piccini et al. (1999) e Carvalho et al. (2003) testaram diferentes modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade de café, com base nos modelos matemáticos de Stewart et al. (1976), Doorebons e Kassar (1979) e de Rao (1988). Esses modelos sugerem que o consumo hídrico seja expresso pela razão entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração potencial (ET_p) ocorridos nos diferentes estádios fenológicos da cultura, quantificando assim o efeito da água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade final. Incluem, também a produtividade do ano anterior devido à interdependência de um ano sobre o subsequente, que causa a alternância ou bienalidade produtiva, resultante da ação da partição de elementos fotossintetizados entre as relações fonte-dreno, em vista de as fases reprodutiva e de crescimento vegetativo para o ano seguinte ocorrerem simultaneamente (BARROS, 1997).

Esses modelos, no entanto, penalizam a produtividade apenas pelo fator déficit hídrico que segundo Carvalho et al. (2003) e Camargo et al. (2003) não deve ser considerado isoladamente, pois outros fatores climáticos interferem na produtividade, especialmente temperaturas do ar adversas ocorridas nos diferentes estádios fenológicos da cultura. Assim, Camargo et al. (2003) propuseram um modelo matemático fenológico-agrometeorológico de monitoramento visando estimar a quebra de produtividade do café, embasado em componentes fenológicos, hídricos e térmicos. Os autores ressaltam a necessidade da parametrização dos coeficientes de sensibilidade e teste do modelo para diferentes regiões. A identificação e parametrização dos coeficientes de sensibilidade relacionados aos fatores

fenológicos, térmicos e do balanço hídrico são de fundamental importância para a obtenção de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade mais consistentes, os quais são dependentes dos níveis hierárquicos de estimativa de produtividade, como para planta, talhão, município ou região.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O rendimento do café deve levar em consideração as condições térmicas, hídricas e de crescimento da biomassa ocorrida ao longo do crescimento da cultura. Para tal, este trabalho de conclusão de curso utilizou de parâmetros já validados em documentos eletrônicos, através de pesquisas e comparação dos dados sobre o tema abordado.

Para os cálculos que foram executados na planilha que demonstra a produtividade atingível do café para o município de Monte Carmelo foram utilizados dados meteorológicos disponibilizados pela Cooperativa Regional De Cafeicultores em Guaxupé instalada em Monte Carmelo. Esses dados foram: Temperatura máxima, temperatura mínima, Q_g (radiação solar global), precipitação, irrigação bruta, E_{To} (evapotranspiração de referência) e temperatura média em graus celsius para cada dia do ano durante o período de 2008 até o fim de 2019.

A produtividade potencial foi estimada segundo o método da Zona Agroecológica (DOORENBOS; KASSAN, 1994), partindo do pressuposto que as exigências hídricas, nutricionais e fitossanitárias da cultura sejam atendidas, e que a produtividade será condicionada apenas pelo potencial genético da cultura, pela radiação solar, fotoperíodo e temperatura do ar (WIT, 1965).

A radiação PAR, que corresponde a radiação na faixa do espectro visível (400- 700nm), é determinada como aproximadamente a metade da radiação solar global (eq. 2), que por sua vez, pode ser inserida como dado de entrada ou estimada pelo método de Hargreaves-Samani (MONTEITH; UNSWORTH, 2012; SAMANI, 2000). Este método leva em conta a amplitude térmica (ΔT) e um fator de correção (a), sendo em torno de 0,16 para regiões situadas no interior do continente e 0,19 para localidades litorâneas ou próximas a grandes corpos d'água em que, Q_{g_i} e Q_{o_i} é, respectivamente, a radiação solar global e extraterrestre

(MJ m⁻² d⁻¹) do período i; ΔT_i é a diferença entre a temperatura máxima e mínima do período i; “a” é coeficiente de ajuste do método e; PAR_i é a radiação fotossinteticamente ativa do período i. Q_{oi} é determinado com base na latitude e dia do ano por meio de cálculos astronômicos de relação Terra-Sol (MONTEITH; UNSWORTH, 2012)

$$Q_{gi} = Q_{oi} \cdot a \cdot \sqrt{\Delta T_i} \quad (\text{Equação 1})$$

$$PAR_i = Q_{gi} \cdot 0,5 \quad (\text{Equação 2})$$

O modelo agrometeorológico computa a quantidade de radiação PAR absorvida pela cultura com base no seu índice de área foliar e coeficiente extinção. A quantidade de PAR absorvida pode ser determinada pela relação exponencial negativa entre a quantidade de radiação PAR efetiva (descontada a fração refletida) e o IAF da cultura, conforme a lei de Beer.

$$aPAR_i = PAR_i (1 - r) \cdot (1 - e^{-k \cdot iaf}) \quad (\text{Equação 3})$$

A simulação do crescimento da cultura em nível potencial inclui radiação e temperatura, enquanto que o CO₂ atmosférico, como dito anteriormente, é considerado constante e seu efeito é negligenciado. A biomassa total acumulada deve ser então corrigida por um fator denominado índice de colheita (IC), que corresponde à fração da biomassa total da planta que possui valor comercial (grãos, frutos, colmos, etc.). Para se obter o valor de produção final ainda é preciso incluir a umidade da biomassa, pois a RUE da cultura é determinada para base de matéria seca. Finalmente, a equação que descreve a taxa de crescimento da cultura no modelo é dada por:

$$\frac{dPpi}{dt} = \frac{RUE \cdot aPAR_i \cdot fT_i \cdot IC}{100 \cdot (1 - U)} \cdot NDP_i \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

$dPpi$ - É a taxa de crescimento potencial expressa em produtividade (t ha⁻¹) para o período i;

- RUE - É a eficiência do uso de radiação da cultura (gms MJ IPAR^{-1});
 IC - É o índice de colheita (0-1);
 U - É a fração de umidade da matéria-prima (0-1) e;
 APAR_i - A radiação PAR absorvida ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 fT_i - Fator de correção por temperatura (0-1)
 NDP_i - Número de dias do período i;
 100 - Valor 100 foi adicionado para conversão de unidades (g m^{-2} para t ha^{-1}).

O índice de colheita e a umidade da matéria prima, também são parâmetros que devem ser informados previamente pelo usuário no momento da simulação. Foi utilizado o índice de colheita de 0,499 e a umidade da matéria prima de 0,13.

De acordo com as datas de plantio e colheita os valores de crescimento são integrados ao longo do ciclo da cultura resultando no valor final de produtividade potencial.

A produtividade atingível é simulada de maneira similar (eq. 4), porém, adiciona-se o componente hídrico que é determinado em função do balanço hídrico sequencial do solo.

Para simular a disponibilidade de água no solo para a cultura, o modelo agrometeorológico utiliza o método de balanço hídrico sequencial de Thornthwaite e Mather (1955). Este método busca determinar a variação do armazenamento de água vertical do solo (ARM) com base no extrato hídrico (eq. 5), considerando precipitação e irrigação como principal entrada de água e a evapotranspiração e drenagem profunda como saída do solo.

$$\frac{dARM_i}{dt} = P_i + I_i - (ETR_i + EXC_i) \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

dARM_i - É a variação do armazenamento de água no solo (mm) no período i;

P - É a precipitação total (mm); I é a irrigação total (mm)

ETR - É a evapotranspiração real da cultura (mm)

EXC - É o excedente hídrico total (mm) do período, representando a percolação abaixo do sistema radicular, todos referentes ao período i (dt).

Para se determinar o armazenamento (ARM) é imprescindível conhecer a máxima quantidade de água que o solo pode armazenar sendo está efetivamente disponível para absorção pelas raízes. Esta quantidade, comumente denominada CAD (Capacidade de Água Disponível), é determinada pela diferença entre o ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de campo (CC) do solo. (MODELO AGROMETEOROLÓGICO GENÉRICO DE PRODUÇÃO VEGETAL (MAGé)).

O PMP é definido como o teor de água no solo no qual as plantas murcham e não mais recuperam a turgidez, mesmo que sejam colocadas em câmara escura e úmida (TAIZ, 2015), ou como o teor de água no solo cujo potencial mátrico seja inferior à -1,5 MPa, impossibilitando a absorção de água pelas raízes. A CC é o teor de água no solo no momento em que as forças do potencial mátrico do solo superam a força gravitacional, cessando a drenagem do solo, ou seja, qualquer volume de água adicionada a um solo na capacidade de campo é drenado para camadas mais profundas. Com base na análise física do solo, pode se determinar sua CAD pela seguinte equação (6):

$$CAD = (CC\% - PMP\%). ds. zr. 10 \text{ (Equação 6)}$$

Em que CAD é a capacidade de água disponível para planta (mm); CC% e PMP% são respectivamente a capacidade campo e ponto de murcha permanente do solo, em porcentagem com relação a massa da amostra (0-1); ds é a densidade do solo ($g\ cm^{-3}$) e; z_r é a profundidade efetiva (cm) do sistema radicular da cultura, onde se concentram 80% das raízes; 10 é o fator de conversão de volume (cm para mm). Quando os valores de CC e PMP são expressos em relação ao volume, não é necessário o uso da densidade do solo na equação 6.

No modelo agrometeorológico, o valor da CAD é considerado um parâmetro. Com isto, é possível simular a extração e reposição de água do solo de acordo com o balanço entre precipitação e evapotranspiração da cultura. A evapotranspiração da cultura, definida como o montante de água evaporada e transpirada pela cultura, é determinada pelo método proposto por Doorenbos e Kassam (1979), no qual a evapotranspiração da cultura (ET_c, ou ETP) é estimada com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e um coeficiente de ajuste (K_c),

conforme equação 7. A ET_c é o volume máximo de água evapotranspirada pela cultura sem restrições hídricas, nutricionais ou por pragas e doenças. Enquanto a ET_o é a evapotranspiração de uma extensa superfície com vegetação rasteira (normalmente gramado), cobrindo totalmente o solo, com altura de 8 a 15 cm e IAF próximo à 3, sem restrições hídricas, nutricionais ou por pragas e doenças (MODELO AGROMETEOROLÓGICO GENÉRICO DE PRODUÇÃO VEGETAL (MAGé)). Esta variável foi convencionalmente adotada como referência por ser o padrão de vegetação proposto em todas as estações meteorológicas e, portanto, pode ser considerada uma variável meteorológica que expressa o potencial de evapotranspiração para as condições meteorológicas vigentes.

$$ET_{C_i} = ET_{o_i} \cdot K_{c_f} \text{ (Equação 7)}$$

Em que ET_{c_i} e ET_{o_i} são, respectivamente, a evapotranspiração da cultura e de referência (mm) no período i ; K_{c_f} é o coeficiente de cultivo (adimensional) da cultura para fase desenvolvimento f . No modelo agrometeorológico é possível informar os valores de ET_{o_i} , caso esses valores não forem informados, é utilizado o método empírico de Camargo (1983) para estimar a ET_o em períodos de 10 ou 30 dias (eq. 3.11), e o método modificado de Priestley e Taylor (1972), para períodos diários (RITCHIE, 1998).

$$ET_o = \frac{F \times Q_o}{\lambda} \times 0,36 \times (3 \times T_{Max} - T_{Min}) \times NDP \text{ (Equação 8)}$$

Em que Q_o é a radiação solar global extraterrestre ($MJ m^{-2} d^{-1}$); T_{max} e T_{min} são, respectivamente, a temperatura máxima e mínima do período; λ é o calor latente de vaporização da água ($2,45 MJ kg^{-1}$); NDP é o número de dias do período e ; F é o fator de ajuste igual à 0,011 proposto por Camargo (1983). Vale ressaltar que inúmeros métodos para estimar a ET_o estão disponíveis na literatura (PEREIRA et. al, 1997), sendo a parametrização do método de Penman-Monteith considerado a metodologia padrão pela FAO (ALLEN et al., 1998). No entanto, o método de Camargo foi selecionado por ser relativamente simples, requerendo apenas a temperatura e latitude do local, além de ter sido desenvolvido para as

condições brasileiras. O Kc integra o efeito de diversos fatores na evapotranspiração de uma superfície, variando conforme o tipo de cultura, seu estágio de desenvolvimento e práticas de manejo (cobertura do solo, espaçamento). Sua determinação é dada pela razão entre ETc e ETo, portanto, as condições de sua determinação devem ser para a cultura sem restrições hídricas, nutricionais ou por pragas e doenças.

Uma função exponencial foi adotada para representar a extração de água do solo, ao passo que a reposição é direta, simplesmente somando-se o saldo positivo do balanço entre precipitação (P), irrigação (I) e evapotranspiração (ETc) ao armazenamento de água do solo (ARM). A extração de água no solo é computada em períodos em que ocorre saldo negativo ($P + I - ETc < 0$), sendo o ARM função do negativo acumulado (eq. 9). Quando o saldo hídrico é positivo ($P + I - ETc \geq 0$), o montante é somado diretamente ao ARM e o negativo acumulado é recalculado conforme equação 10 e 11. A evapotranspiração real (ETr) é então calculada de acordo com a disponibilidade hídrica do solo (ARM). Quando o saldo hídrico do período é maior ou igual a evapotranspiração da cultura, a ETr é considerada igual à ETc. Em contrapartida, quando o saldo hídrico é negativo, a ETr é o valor mínimo entre a CAD e a soma da precipitação, irrigação e alteração no armazenamento (eq. 12).

$$ARM_i = CAD \cdot e^{-\left(\frac{NAC_i}{CAD}\right)} \quad \text{Quando } (P + I - ETc < 0) \quad (\text{Equação 9})$$

$$ARM_i = P_i + I_i - ET_{c_i} \quad \text{Quando } (P + I - ETC > \text{ou} = a 0) \quad (\text{Equação 10})$$

$$NAC_i = CAD \cdot \ln\left(\frac{ARM_i}{CAD}\right) \quad \text{Quando } (P + I - ETC > \text{ou} = a 0) \quad (\text{Equação 11})$$

$$ET_{r_i} = \min(CAD \cdot P_i + I_i + (ARM_i - ARM_{i-1})) \quad \text{Quando } (P + I - ETC < 0) \quad (\text{Equação 12})$$

Em que ARM_i é o armazenamento de água (mm) disponível para cultura no período i; CAD é a capacidade de armazenamento disponível do solo (mm); NAC_i é o negativo acumulado (mm) do período i; P e I são respectivamente a precipitação e a irrigação total do período i (mm) e; ETr_i é a evapotranspiração real da cultura (mm). Desta forma, é possível

simular o volume de água consumido pela cultura em nível potencial (ET_c) e com restrição hídrica (ET_r). Em 1979, Doorenbos e Kassan propuseram uma equação simples que relaciona a redução relativa da taxa de crescimento da cultura com seu consumo hídrico relativo (eq. 13). A redução relativa é função da evapotranspiração potencial e real da cultura e de um coeficiente de sensibilidade ao 18 estresse hídrico, denominado K_y . Desta forma pode se estimar a taxa de crescimento a nível atingível de uma cultura pela equação 14.

$$\left(1 - \frac{P_a}{P_p}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right) \quad (\text{Equação 13})$$

$$\frac{D_{pai}}{dt} = \frac{dP_{pi}}{dt} \cdot \left\{1 - k_y f \left(1 - \frac{ET_{ri}}{ET_{ci}}\right)\right\} \quad (\text{Equação 14})$$

Em que P_{ai} e P_{pi} são, respectivamente, as taxas de crescimento atingível e potencial da cultura ($t \text{ ha}^{-1}$) no período i ; ET_{ri} e ET_{ci} são, respectivamente, a evapotranspiração real e potencial da cultura no período i ; $k_y f$ é o coeficiente de sensibilidade de estresse hídrico (adimensional) da cultura para o estágio de desenvolvimento f . De forma similar ao K_c , o K_y varia conforme a cultura e seus respectivos estágios de desenvolvimento.

De forma geral, pode se interpretar os valores de K_y como: $K_y > 1$, cultura com alta sensibilidade ao estresse hídrico; $K_y = 1$, redução da taxa de crescimento da cultura é proporcional a redução do seu consumo hídrico e ; $K_y < 1$, cultura com maior tolerância ao estresse hídrico e melhor capacidade de se recuperar de períodos de estresse hídrico (SMITH; STEDUTO, 2012)

Para alcançar o objetivo proposto, inicialmente foram coletados dados históricos da Cooperativa Regional de Cafeicultores (Cooxupé) com intuito de observar alguns aspectos do município de Monte Carmelo como por exemplo altitude, temperaturas mínima, máxima e média, precipitação, umidade do local e velocidade do vento.

O segundo passo para elaborar o trabalho de conclusão de curso foi analisar a planilha MODELO AGROMETEOROLÓGICO GENÉRICO DE PRODUÇÃO VEGETAL (MAGé) proposta por Vianna et al. (2007) e baseado nisso elaborar uma planilha que estabelecer a produtividade atingível de café para o município de Monte Carmelo.

Por fim, de posse das informações disponíveis, foram analisados diversos artigos com intuito de captar dados confiáveis próprios para a região analisada. Após tudo isso, chegamos a um resultado adequado que será apresentado durante esse trabalho de conclusão de curso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a organização dos dados e resolução das fórmulas realizadas na planilha criada, obtivemos os seguintes resultados de produtividade atingível e potencial, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Resultados de produtividade atingível e potencial de 2008 até 2019.

Ano	Produtividade Potencial (sc/ha)	Produtividade Atingível (sc/ha)
2008	122,7	61,9
2009	151,0	80,1
2010	159,5	88,1
2011	158,6	85,9
2012	160,0	77,0
2013	157,6	74,4
2014	161,9	90,1
2015	160,6	70,3
2016	162,6	76,4
2017	161,0	83,9
2018	158,1	80,2
2019	161,7	80,7

Com a análise desses resultados pode-se perceber que 2014 e 2016 apresentaram maiores produtividade potencial comparado com os outros anos. Foram 161,9 sacas/hectare em 2014 e 162,6 sacas/hectare em 2016 considerando a produtividade média potencial anual. Além disso, pode-se observar também que 2014 a produtividade atingível foi de 90,1 sacas/hectare que é um valor superior a todos os outros anos.

No entanto, não basta apenas saber qual ano foi mais produtivo e sim explorar os fatores que influenciam na variabilidade temporal da produtividade. Para isso, analisou-se três informações importantes que foram precipitação, ETo e DEF com o objetivo de verificar se houve impacto das mesmas na produtividade, conforme as Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Acumulado anual de precipitação, ETo e DEF ao longo de 12 anos.

Ano	Precipitação média (mm)	ETo (mm)	DEF (mm)
2008	1652,8	1315,6	567,2
2009	1093,2	1231,0	549,5
2010	1377,6	1360,2	691,7
2011	1922,3	1352,8	664,3
2012	1418,2	1372,3	547,9
2013	1762,0	1343,4	505,1
2014	1432,6	1418,6	709,1
2015	1917,4	1422,3	489,5
2016	2431,4	1164,7	374,7
2017	1512,8	1421,2	674,5
2018	1488,6	1397,9	561,8
2019	1648,0	1473,1	618,5

Tabela 4: Média diária de precipitação, Eto e DEF ao longo de 12 anos.

Ano	Precipitação média (mm)	ETo (mm)	DEF (mm)
2008	4,53	3,60	1,55
2009	2,99	3,37	1,50
2010	3,77	3,77	1,89
2011	5,27	3,70	1,82
2012	3,88	3,76	1,50
2013	4,83	3,68	1,38
2014	3,92	3,89	1,94
2015	5,25	3,90	1,34
2016	6,66	3,19	1,03
2017	4,14	3,89	1,85
2018	4,10	3,83	1,54
2019	4,51	4,03	1,69

Nas tabelas 3 e 4 é possível analisar que no ano de 2015 houve maior ETo, ou seja, conseqüentemente maior demanda hídrica. Já em 2016 a média da ETo foi menor (3,19 milímetros) o que indicando menor exigência do cafeeiro.

Quanto a precipitação pode-se perceber claramente que em 2016 a precipitação média foi maior em 1338.2 milímetros quando comparado com 2009 que foi a menor precipitação dos doze anos demonstrados, ou seja, choveu mais em 2016. Já em 2009 foi o ano que menos choveu com número médio de 2,99 milímetros diários foi a menor precipitação nesses doze anos. O DEF foi menor em 2016 quando comparado com todos anos demonstrados na tabela e maior em 2014 quando comparado também com todos os anos da tabela. Por fim, em 2016 o Def médio diário foi de 1,03 milímetros e 2014 foi de 1,94 milímetros.

Porém, não pode se considerar somente esses fatores. Isso porque, a chuva por exemplo pode ter sido bem distribuída em outros anos e devido a isso a produtividade pode ter sido maior.

Além disso, leva-se em conta um outro fator apresentado na Tabela 5 que é a quantidade de dias que em cada ano não houve chuva, ou seja, o valor foi zero.

Tabela 5: Quantidade de dias sem chuva para cada um dos doze anos analisados.

Ano	Dias sem chuva
2008	154
2009	141
2010	121
2011	140
2012	134
2013	149
2014	121
2015	157
2016	154
2017	123
2018	152
2019	132

Com análise dessa tabela pode-se perceber que em 2015 houve muitos dias sem chuva. Foram, cento e cinquenta e sete dias exatamente. Desse modo, esse ano se destacou entre os 12 anos como o ano que ficou mais dias sem chuva. Nessa tabela (Tabela 5) também pode-se perceber por que 2008 foi o ano menos produtivo entre todos os outros. Isso ocorreu, pois em 2008 houve cento e cinquenta e quatro dias sem chuva e essas chuvas foram mal distribuídas entre os meses do ano. Já em 2014 por exemplo houve muito menos dias sem

chuva quando comparado aos anos que produziram menos, foram cento e vinte um dias. Esses dias sem chuva foram significativos e influenciaram na produtividade ao final dos resultados da planilha.

Com objetivo de demonstrar em números o que o produtor está deixando de ganhar ao não fazer uso da irrigação foi calculado a produtividade potencial média e produtividade atingível média da tabela acima.

Para calcular a média da produtividade potencial somou-se todos os valores de produtividade estimada que foram apresentados na Tabela 1. Após dividiu-se por doze obtendo-se os resultados de produtividade média potencial e atingível de 156,275 sacas/hectare e 79,083 sacas/hectare, respectivamente.

Relacionando as duas estimativas observa-se que a ausência de restrição hídrica pode incrementar em média 97,6% na produtividade atingível para o município de Monte Carmelo.

Considerando a produtividade média real obtido no trabalho de [Arruda e Grande \(2003\)](#) podemos projetar o incremento em sacas beneficiadas por hectare ao impor os ganhos estimados observado no modelo estudado. Os autores encontraram produtividade potencial e real de 33,12 sacas/hectare e 27,39 sacas/hectare, respectivamente. Dessa forma o incremento médio foi de 20,92% ao deixar de irrigar.

Também foi possível analisar o resultado correlacionando com produtividade média real de café para a safra 2020/2021. Segundo o Conab (2021) a estimativa foi de 31,25 sacas/hectare para a região do Cerrado Mineiro. Sendo assim, pode-se fazer a estimativa do incremento em produtividade ao suprir a deficiência hídrica, proporcionando uma produtividade esperada real de 61.75 Sacas/hectare (31,25 + 97,6%).

Exercitando o benefício financeiro ao suprir a deficiência hídrica, o cafeicultor teria 43.069,8 reais, considerando o valor na saca de café de 1435,66 reais, segundo o indicador [Café Arábica – Cepea/Esalq \(2021\)](#).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se então que modelos agrometeorológicos podem ser aplicados para região do cerrado mineiro com objetivo de aumentar produtividade de uma área. O sistema de irrigação pode trazer um aumento de produtividade ao produtor e que se utilizado de maneira correta obtém bons lucros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage** Paper No. 56, FAO, n. 56, p. 300, 1998.

BARROS, I. Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas. 1997. 82 f. **Dissertação (Mestrado)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BONOMO, R. et al. Produtividade de cafeeiros Arábica irrigados no Cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 233-240, 2008.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1., 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 53-90.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café Arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 831-839, 1985.

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.

CAMARGO, M. B. P. The impact of climatic variability and climate change on Arabica coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

CAMARGO, M.B.P.; SANTOS, M.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; FAHL, J.I.; BRUNINI, O.; MEIRELES, E.J.L.; BARDIN, L. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsidio à previsão de safra de café (*Coffea arabica* L.): resultados preliminares. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 3., 2003. Porto Seguro. Anais...Porto Seguro: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 75-76.

CARVALHO, G. R. et al. Seleção de progênies oriundas do cruzamento entre Catuaí e Mundo Novo em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 583-590, 2006.

CARVALHO, H. P. et al. Avaliação de cultivares e linhagens de café (*Coffea arabica* L.) nas condições de Cerrado em Uberlândia - MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 59-68, 2003.

CARVALHO, L.G.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R.; RAMOS ALVES, H.M. Avaliação de um modelo agrometeorológico para previsão de produtividade de café em três localidades da região sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.343-352, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2020, segunda estimativa. 2021.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

de WIT, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies.** Wageningen, Pudoc, 1965. 57p. (Agricultural Research Report, n.663).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water.** [S.l: s.n.], 1979. v. 33.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO – Irrigação e Drenagem,** n. 33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyi, H.R et al. – UFPB).

DRUMOND, L. C. D.; FERNANDES, A. L. T. **Utilização da aspersão em malha na cafeicultura familiar.** Uberaba: Ed. da Universidade de Uberaba, 2004.

FIGUEROA, P. et al. Influencia de la variedad y la altitud en las características organolepticas y físicas del café. In: **SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFEICULTURA,** 19., 2000, San José. Memoria... San José: ICAFE, 2000. p. 493-497.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações.** Varginha: Fundação Procafé, 2010.

MERA, A. C. et al. Regimes hídricos e doses de fósforo em cafeeiro. **Bragantia,** Campinas, v. 70, n. 2, p. 302-311, 2011.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of Environmental Physics: Plants , Animals , and the Atmosphere.** 4th Editio ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2012.

PARTELLI, F. L. et al. Seasonal vegetative growth of different age branches of Conilon coffee tree. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 31, n. 3, p. 619-626, 2010b.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997.

PICINI, A.G.; CAMARGO, M.B.P.; ORTOLANI, A.A.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P.B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia,** Campinas, v.58, n.1, p.157-170, 1999.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation, using large scale parameters. **Monthly Weather Review,** v. 100, n. 2, p.81-92, 1972.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. **Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Eds.). Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafos, 1986. p. 13-85.

RITCHIE, J. T. Soil water balance and plant water stress. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Org.). **Understanding Options for Agricultural Production.** Dordrecht: Springer Netherlands, 1998. p. 41–54.

SAMANI, Z. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering,** v. 126, n. 4, p. 265, 2000.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café.** 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L. A.; DUARTE, Y. C. N.; VISSÉS, F. de A.; YIELD GAP – conceitos, definições e exemplos – **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 155**, 2016.

SMITH, M.; STEDUTO, P. **The original FAO water. Yield response to water**, p. 1–10, 2012.

TAIZ, L. et al. **Plant Physiology and Development**. 6st. ed. [S.l.]: Sinauer Associates, Inc., 2015.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, R.J. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications of Climatology, v.8, n.1)

VIANNA, M. S.; MARIN, F. R.; PILAU, F. G. **Modelo agrometeorológico genérico de produção vegetal (MAGé)**. Piracicaba: ESALQ, 2017.

ARRUDA, B. F.; **GRANDE, A. M. FATOR DE RESPOSTA DA PRODUÇÃO DO CAFEIRO AO DEFICIT HÍDRICO EM CAMPINAS**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2003.