



RAFAEL DIAS DO NASCIMENTO

**QUANTIFICAÇÃO DE FLORADA EM CAFEEIROS POR
CAPTURA E ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS**

**LAVRAS – MG
2020**

RAFAEL DIAS DO NASCIMENTO

**QUANTIFICAÇÃO DE FLORADA EM CAFEEIROS POR CAPTURA
E ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS**

Monografia de conclusão de curso
apresentada à Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Antônio Chalfun Júnior
Orientador

Dr. Raphael Ricon de Oliveira
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

RAFAEL DIAS DO NASCIMENTO

**QUANTIFICAÇÃO DE FLORADA EM CAFEZEIROS POR CAPTURA E ANÁLISE DE
IMAGENS DIGITAIS**

**FLOWERING QUANTIFICATION IN COFFEE TREES BY DIGITAL IMAGES
CAPTURE AND ANALYSIS**

Monografia de conclusão de curso
apresentada à Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 4 de setembro de 2020.

Prof. Dr. Antônio Chalfun Júnior UFLA

Dr. Raphael Ricon de Oliveira UFLA

Ms. Marlon Enrique Lopez Torres UFLA

Prof. Dr. Antônio Chalfun Júnior
Orientador

Dr. Raphael Ricon de Oliveira
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia, pela oportunidade de crescimento e aprendizado em um dos melhores centros de pesquisa do país.

À coordenação do curso de Ciências Biológicas modalidade Bacharelado, pela prontidão e atenção nos momentos necessários durante todo o andamento do curso, e em especial nesse período tão delicado e complexo de pandemia no qual estamos vivenciando no ano de 2020.

Aos amigos e colegas do laboratório de Fisiologia Molecular de Plantas da Universidade Federal de Lavras, por toda a experiência e positividade compartilhada ao longo desses últimos anos como Iniciação Científica.

Aos meus familiares, pelo apoio e incentivo constante pela busca de meus objetivos desde o início dessa jornada.

Aos amigos do curso de ciências biológicas, de Lavras, e da república Methiolate, por todos os momentos de alegria e apoio ao longo dos anos.

A todos os professores que tiveram parte no meu desenvolvimento como acadêmico e pessoal, desde o início da graduação. Vocês são incríveis, e responsáveis diretos pela excelência dessa instituição como Universidade.

Finalmente, um agradecimento especial ao meu orientador, professor Dr. Antônio Chalfun, e ao meu coorientador, Dr. Raphael Ricon. Vocês são os melhores exemplos de onde a dedicação e amor pela profissão podem nos levar. Sou grato pela oportunidade de trabalhar com vocês, e aprender um pouco a cada dia com dois profissionais e seres humanos de excelência.

Muito obrigado!

RESUMO

O projeto consiste na elaboração de uma metodologia automatizada para quantificação de florescimento em cafeeiros e diferenciação de plantas com base nessa característica visual peculiar, utilizando mecanismos de fotografia e linguagem computacional para detectar e quantificar a proporção de florescimento observada nas imagens capturadas apenas a partir do nível de reflectância de branco das flores. Para execução do método, foi utilizada uma câmera digital de alta resolução, um software para pré-processamento das imagens e outro programa para quantificação da proporção floral a partir de um algoritmo próprio.

Dividido em três fases, primeiramente o experimento foi testado em torno de simulações com flores de papel, posteriormente em três plantas com florescimento real, e finalmente em 36 plantas que apresentavam florescimento real.

Os resultados obtidos nas três fases foram equivalentes, e comprovaram a capacidade do programa em diferenciar plantas de café pelo volume de flores a partir da quantificação da proporção de floral encontrada. Atrelados a um baixo custo, grande praticidade e pouca necessidade de mão de obra, os dados obtidos por meio dessa metodologia permitem inferir hipóteses sobre a qualidade da florada, problemas no campo, eficácia dos tratamentos e estimativas de produtividade. Além do mais, fora constatada a possibilidade de expansão da metodologia para outras culturas que apresentem características visuais semelhantes.

Palavras-chave: Florescimento. Quantificação. Previsão de safra. Cafeeiro.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS	4
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	13
6. CONCLUSÃO	13
7. REFERÊNCIAS	14

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas de importância econômica no mundo, tendo o Brasil como principal produtor e exportador anual. Considerando os diversos fatores influenciadores de produtividade como por exemplo clima local, qualidade do solo, pluviosidade, eventos meteorológicos específicos, aplicação de agroquímicos e os diferentes tipos de cultivares, é de extrema importância compreender os processos de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta, de forma a estabelecer relações inteligentes de produção e aprimorar cada vez mais o manejo das lavouras (CAMARGO, 1985; CAMARGO et. al., 2001; FAZUOLI et. al, 2007; PEREIRA et. al, 2008).

Tendo a florada como fator reprodutivo diretamente relacionado ao desenvolvimento dos frutos, compreender como esse evento se relaciona quantitativamente à estímulos externos e à produção final pode fornecer aos pesquisadores e produtores dados preciosos de antecipação de safra, assim como informações relevantes sobre a eficácia de produtos voltados ao florescimento. Por se tratar de um evento pontual e breve, análises de florada em cafeeiros são um grande desafio na agricultura atual.

Apesar da existência de estudos relacionados, metodologia usual para quantificação de florada ainda é predominantemente manual. Além de demandar maior tempo, planejamento e mão de obra, a quantificação manual é suscetível a maiores níveis de erro experimental, afetando diretamente os resultados obtidos de forma negativa. Com a automatização eficiente do processo quantitativo, seria possível nivelar esses problemas, estabelecer melhores padrões de análise e qualidade, e oferecer resultados com um maior nível de confiança. A pesquisa proposta, inter-relacionando ferramentas de fotografia, manipulação de imagens e informática, vem com o objetivo de criar uma metodologia padrão e para viabilizar análises comparativas e específicas de florada em cafeeiros.

O principal objetivo da proposta está inserido na elaboração de um método automatizado para quantificação e diferenciação de florada em cafeeiros, a partir da captura e processamento de imagens digitais, posteriormente processadas por um programa de edição visual e analisadas por algoritmo desenvolvido em plataforma Python para quantificar o número de pixels brancos presentes. Os resultados obtidos abrem as portas para diversos tipos de estudos, que se estendem desde a elaboração de um índice de previsão de safra relacionado a florada, testes de eficácia de produtos voltados ao florescimento, geração de bancos de dados anuais de florescimento em cafeeiros, auxílio eficiente no manejo de problemas no campo, além

da possibilidade de adaptação para diferentes escalas e culturas. Além do mais, os dados obtidos auxiliam tanto o pequeno quanto o grande produtor a compreenderem melhor o desenvolvimento reprodutivo de sua produção, permitindo antecipar resultados inesperados, aprimorar o planejamento de safra, e obter um melhor direcionamento de seus recursos financeiros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O café é um dos principais produtos agrícolas na pauta das exportações brasileiras, constituindo um grande fornecedor de receitas cambiais (SILVA; REIS, 2001). Apesar dos avanços na tecnologia e no peso que a cafeicultura possui na economia nacional, ainda existem muitas questões a serem debatidas sobre a eficiência de algumas metodologias na condução de estudos, em especial aos que inter-relacionam diferentes áreas ou etapas do desenvolvimento reprodutivo da planta. Devido à extensa variedade nas linhas de pesquisas agrônomicas em cafeeiros, muitas vezes processos determinantes para o sucesso ou fracasso de projetos não recebem a devida importância que possuem, e os resultados finais apesar de todo o esforço e embasamento científico ainda estão atrelados a etapas tradicionalmente pouco eficientes e confiáveis. Esse é um problema encontrado especialmente em estudos que envolvem o campo, ao lidar com as diversas condições externas que influenciam na proporção e relevância do erro experimental.

A fenologia pode ser definida como o estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente. O ciclo fenológico dos cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas que ocorrem em aproximadamente dois anos, diferentemente da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (CAMARGO, 1985). No primeiro ano fenológico, formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, que depois são induzidas a se transformarem em gemas reprodutivas (GOUVEIA, 1984). Posteriormente, essas gemas florais amadurecem, entram em dormência e tornam-se aptas para a antese, causada principalmente pela chuva ou pela irrigação (CAMARGO, 1985). O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, seguida pela formação dos chumbinhos e expansão dos grãos, até seu tamanho normal. Depois, ocorre a granação dos frutos e a fase de maturação (CAMARGO & CAMARGO, 2001).

Um dos maiores desafios na fenologia de cafeeiros é determinar de forma eficiente a proporção e qualidade da florada, que precede a formação e maturação dos frutos. Essas

informações são essenciais para estudos comparativos da produção entre cultivares ou tratamentos, bem como, para estimativa antecipada da produção. Assim, faz-se necessário um estudo das técnicas hoje disponíveis e o desenvolvimento de ferramentas mais acessíveis e práticas de quantificação, sendo estes os fundamentos do projeto. Uma metodologia de quantificação de florada automatizada e eficiente, eliminaria a necessidade de realizar procedimentos manuais, abriria as portas para diversos estudos relacionados e permitiria uma maior agilidade na condução e conclusão de projetos de pesquisa com maior precisão.

Estudos prévios já foram realizados nessa área, e mesmo com variações na metodologia, comprovaram a possibilidade de quantificação de florada a partir de análises visuais digitais tanto em cafeeiros (PENG et. al., 2018) quanto em outras culturas como macieiras por exemplo (AGGELOPOULOU et. al, 2011). Além disso, dentro da mesma ideia podem ser encontrados trabalhos validados de quantificação automática de frutos de café (RAMOS et. al, 2017) e outras adaptações como na cotonicultura (LI et. al, 2016). A grande maioria dos estudos se baseia no fundamento de segmentação de imagem para processamento das imagens, muitas vezes envolvendo codificações complexas (YUHENG; HAO, 2017).

O projeto visa a elaboração de uma metodologia automatizada para quantificação de florada em cafeeiros e diferenciação de plantas pela sua proporção de florescimento. Baseado no que já fora realizado em estudos anteriores, a metodologia em questão busca simplificar o processo utilizando apenas os dados de reflectância de branco em configurações e condições luminosas específicas, a partir da fotografia de plantas em florescimento e posterior processamento em softwares determinados. A ideia se molda em torno de um método que seja funcional, rápido, sensível, e passível de adaptação para diferentes escalas e culturas sem comprometimento na qualidade ou confiabilidade dos dados.

Para a execução das fotografias, foi escolhida uma câmera profissional de alta resolução do tipo Digital Single Lens Reflex (DSLR), categoria reconhecida pela capacidade de gerar imagens de qualidade excepcional e utilizada nas mais diversas áreas da fotografia profissional (HOOT, 2007). A lente designada para a câmera é uma grande angular 16-35mm F2.8 (Canon Inc.), série também profissional. Após a obtenção das imagens, os arquivos foram pré-processados no software de manipulação de imagens Lightroom (Adobe Inc.) para balanceamento de luz e aplicação dos filtros necessários. Finalmente, os arquivos pré-processados foram submetidos a quantificação de proporção floral por um algoritmo desenvolvido em plataforma Python (Python Software Foundation), uma das linguagens mais didáticas e utilizadas quanto se trata de processamento de imagens por algoritmos (LÓPEZ et al., 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi dividido em três etapas. A princípio foram utilizadas flores artificiais (confeccionadas em papel) para uma simulação (etapa 1), e posteriormente flores reais em cafeeiros no estágio de florescimento (etapas 2 e 3, utilizando 3 plantas e 36 plantas respectivamente). Fotografadas as plantas, as imagens foram tratadas (balanceamento e filtragem de cores) em um programa de edição visual antes de serem analisadas por um algoritmo para quantificar o número de pixels brancos presentes, baseado nos filtros criados no tratamento.

Pensando na necessidade da obtenção de imagens extremamente detalhadas, foi utilizada uma câmera digital profissional de alta resolução (Canon 5DMKIII, Canon Inc.) com uma lente grande angular (Canon 16-35mm F2.8 – Série L, Canon Inc.) no modo manual, e um programa de manipulação de imagens para pré-processamento dos arquivos (Lightroom, Adobe Inc.). Por fim, foi utilizada uma plataforma de linguagem computacional (Python, Python Software Foundation) para análise e quantificação da proporção floral.

Em posse dos equipamentos e plataformas necessárias, as etapas da metodologia consistem em:

1. Fotografia individual do lado voltado ao sol da manhã em cada planta, a um ângulo neutro (0 graus de inclinação), no formato vertical e no início do período matutino.
2. Pré-processamento das imagens no Lightroom (Adobe Inc.) para balanceamento de luz e conversão em formato binário a partir de filtros específicos.
3. Processamento das imagens pelo algoritmo desenvolvido em linguagem Python (Python Software Foundation), obtendo como retorno o número de pixels brancos localizados, baseado no formato binário previamente elaborado em configurações específicas de filtragem no próprio algoritmo.
4. Agrupamento dos dados de todas as imagens (número de pixels brancos) em uma tabela Excel (Microsoft Corporation) para geração de gráficos comparativos e análise dos resultados.

Considerando a fundamentação do projeto baseada em uma metodologia automatizada que seja de simples execução e pensando na resolução de algumas das limitações previamente observadas em outros estudos relacionados, fora descartada a hipótese de utilização de métodos

por segmentação de imagem com base em superpixels (PENG et al., 2018) para o desenvolvimento do algoritmo, e proposta uma nova abordagem utilizando apenas filtros de reflectância luminosa a partir de imagens digitais em formato padrão de cores (RGB) e formato de arquivo simples (JPEG). Com a sintetização do processo, as variáveis foram diminuídas e a metodologia tornou-se mais direta, permitindo uma melhor adaptabilidade a diferentes distâncias, angulações e escalas. A leitura pelo programa se dá, portanto, apenas com base na reflectância de pixels brancos a partir de uma imagem submetida a filtros específicos, sem prévia segmentação, e em codificações voltadas para as características do arquivo de imagem e condições de iluminação durante a execução das fotografias.

O horário determinado para a captura das imagens foi no início do período matutino (a partir das 8h da manhã), quando a luminosidade é de menor intensidade e melhor qualidade (PENG et al.,2018) pensando no objetivo desse trabalho e a forma de processamento. O horário ideal depende das configurações e angulações utilizadas, e nesse projeto foi constatada uma melhor riqueza de detalhes e homogeneização luminosa nas imagens durante as primeiras horas do dia. Em períodos de luminosidade mais intensa, o aumento natural no contraste entre pontos de claridade e sombras resultava na perda de detalhes em pontos específicos da imagem, característica comum em arquivos de imagem no formato JPEG submetidos a grandes diferenciais de contraste.

A primeira etapa do projeto envolveu a elaboração de simulações prévias para testar a capacidade do algoritmo em diferenciar as plantas pela proporção floral. Como objetos representativos de florada nas simulações, foram utilizadas flores de papel branco em tamanho e características similares às flores reais (figuras 3.1 e 3.2), elaboradas com um cortador de folhas (Toke e Crie TEC ®) em 24mm (figura 3.3).

Figura. 3.1- Flor de café.



Legenda: Imagem de uma flor de café em seu pico de exuberância.
Fonte: Do autor (2020).

Figura 3.2 – Observação do tamanho médio de uma flor de café.



Legenda: Flor de café sendo medida em campo com uma régua, para elaboração das simulações.
Fonte: Do autor (2020).

Figura 3.3 – Cortador de folhas.



Legenda: Cortador de folhas (Toke e Crie TEC ®) em formato de flor, tamanho 24mm.
Fonte: Do autor (2020).

Em um campo experimental da Universidade Federal de Lavras com diferentes cultivares de café, as flores de papel foram posicionadas em 4 plantas aleatórias de uma mesma fileira, sempre no mesmo lado (onde o sol bate pela manhã), e fracionadas em três terços (superior, médio e inferior). As quantidades totais de flores falsas utilizadas por planta foram: 0 unidades (Planta 1 – Controle), 3 unidades (Planta 2), 150 unidades (Planta 3) e 600 unidades (planta 4).

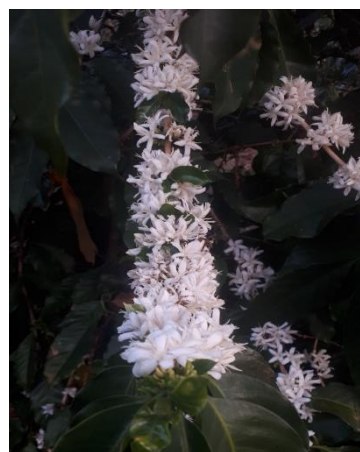
Para melhor representação de uma imagem real em campo (figura 3.5), a partir da Planta 2 as flores foram agrupadas em formato de cacho utilizando uma linha de costura simples, e enroladas em orientação espiralada nos galhos (figura 3.4).

Figura 3.4 – Disposição das flores falsas nos galhos do cafeeiro.



Legenda: Disposição dos cachos de flores falsas em um dos cafeeiros utilizado na simulação, distribuídos em três terços (superior, médio e inferior).
Fonte: Do autor (2020).

Figura 3.5 – Cacho de flores real.



Legenda: Cacho com flores reais em época de florada, para fins comparativos com a simulação.
Fonte: Do autor (2020).

Foram feitas fotografias laterais em orientação vertical de cada planta, a distâncias similares, angulação neutra, e no horário das 8h da manhã. Após isso, os arquivos de imagem foram pré-processados no Lightroom (Adobe Inc.) em configurações de balanceamento luminoso e filtragens específicas. Ao final, os arquivos provenientes do pré-processamento passaram pela leitura do algoritmo desenvolvido para a quantificação da proporção floral nas imagens.

Na segunda fase do cronograma, a metodologia foi testada seguindo os mesmos padrões da simulação, porém com 3 cafeeiros em estágio pleno de florescimento. As plantas, intercaladas dentro da mesma fileira, se localizavam em uma fazenda de produção ativa onde posteriormente seria executada última fase.

Nessa fase final, a metodologia novamente foi executada sob as mesmas condições inicialmente estabelecidas, no mesmo local da fase 2, porém agora em um total de 36 plantas em estágio pleno de florescimento.

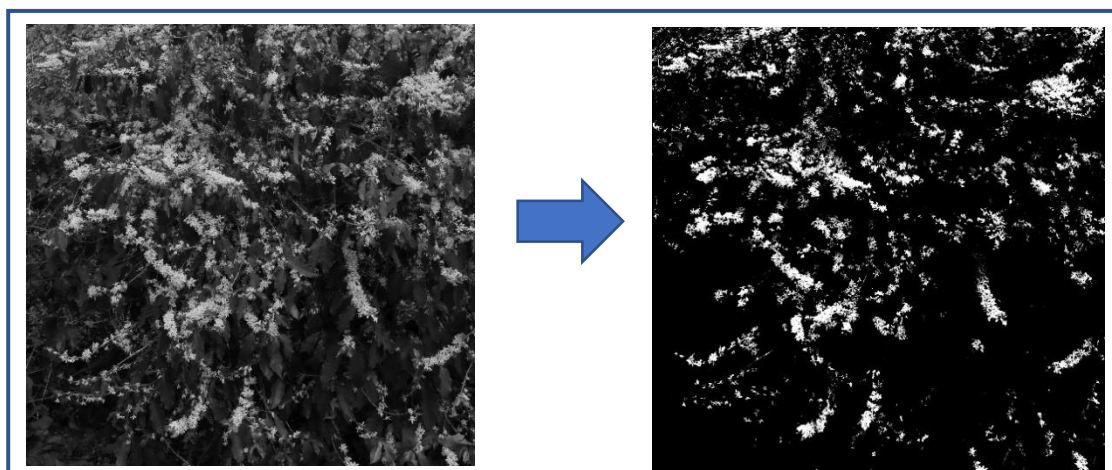
Figura 3.6 – Primeira parte do processamento das imagens no Lightroom (Adobe Inc.)



Legenda: Nessa primeira parte, as imagens obtidas são convertidas do formato de cores RGB para o formato monocromático, utilizando a plataforma Adobe Lightroom.

Fonte: Do autor (2020).

Figura 3.7 – Segunda parte do processamento das imagens no Lightroom (Adobe Inc.)

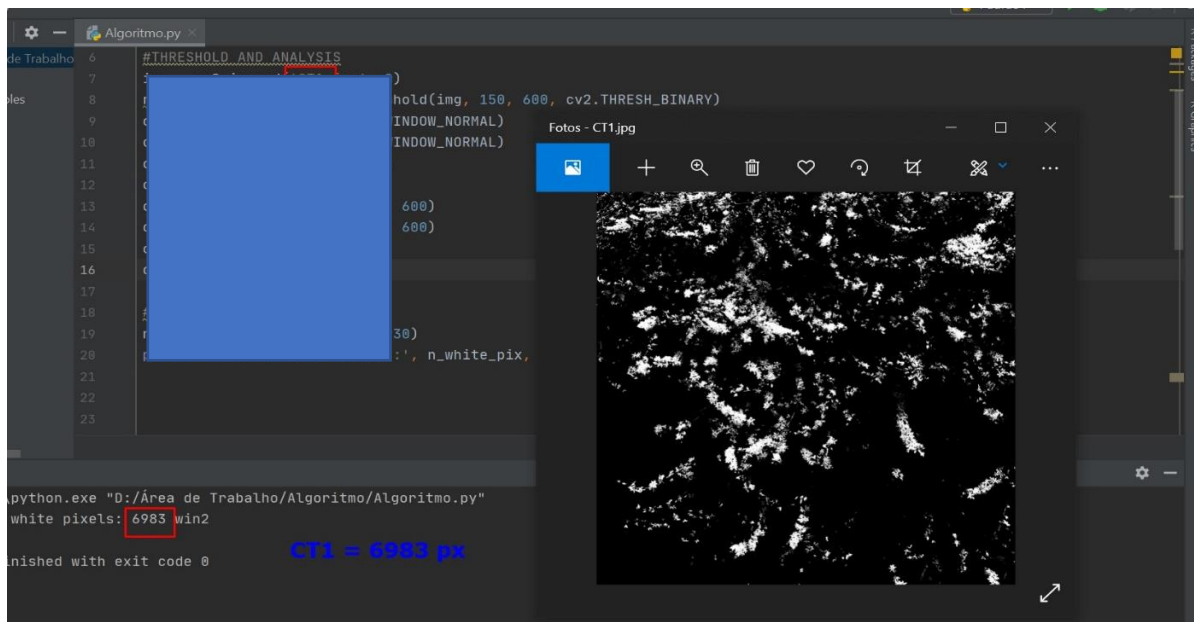


Legenda: Nessa etapa, as imagens monocromáticas são convertidas para um modelo binário por métodos de filtragem, utilizando a plataforma Adobe Lightroom.

Fonte: Do autor (2020).



Figura 3.8 – Processamento da imagem pelo programa.



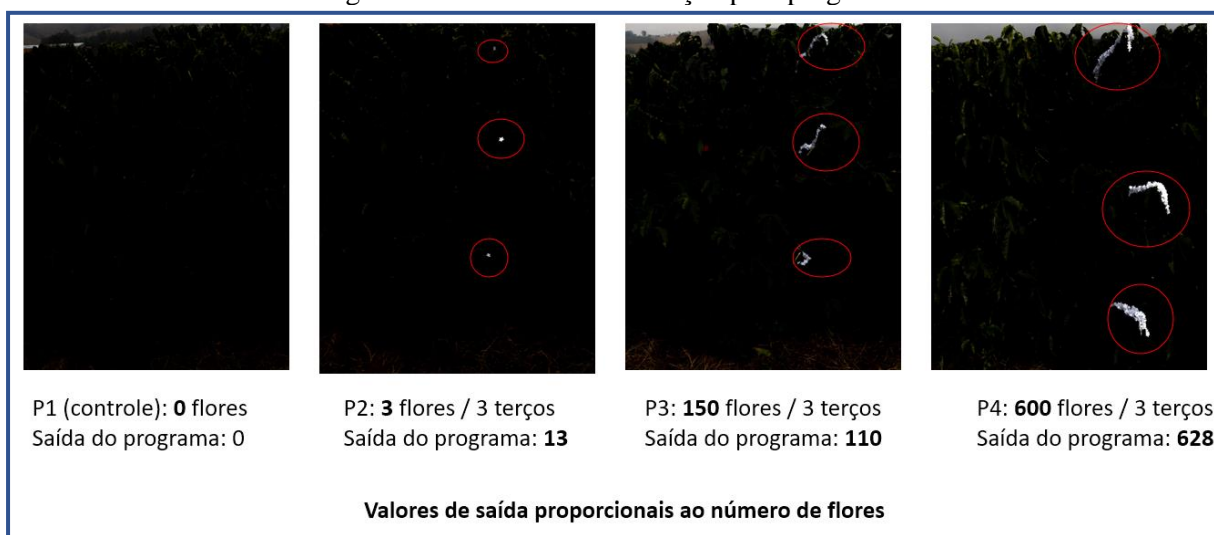
Legenda: Processamento da imagem pré-processada no Lightroom (Adobe Inc.) pelo algoritmo desenvolvido em plataforma Python (Python Software Foundation), gerando como saída o resultado da quantificação do número de pixels em qualidade de 100% branco.

Fonte: Do autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que tanto na fase de simulação quanto nas fases de testes com florescimento real, a saída numérica do algoritmo (número de pixels brancos) é diretamente proporcional ao volume de flores observado nas plantas, com uma alta sensibilidade para diferenciação (figuras 4.1 e 4.2). Tal fato comprova a eficácia da metodologia na diferenciação de cafeeiros com base no seu florescimento, utilizando apenas imagens originalmente em formato padrão e etapas simples de execução e processamento. Tais diferenciações podem ser evidenciadas principalmente na terceira etapa, na qual foram comparadas 36 plantas com diferentes proporções de florescimento aparente.

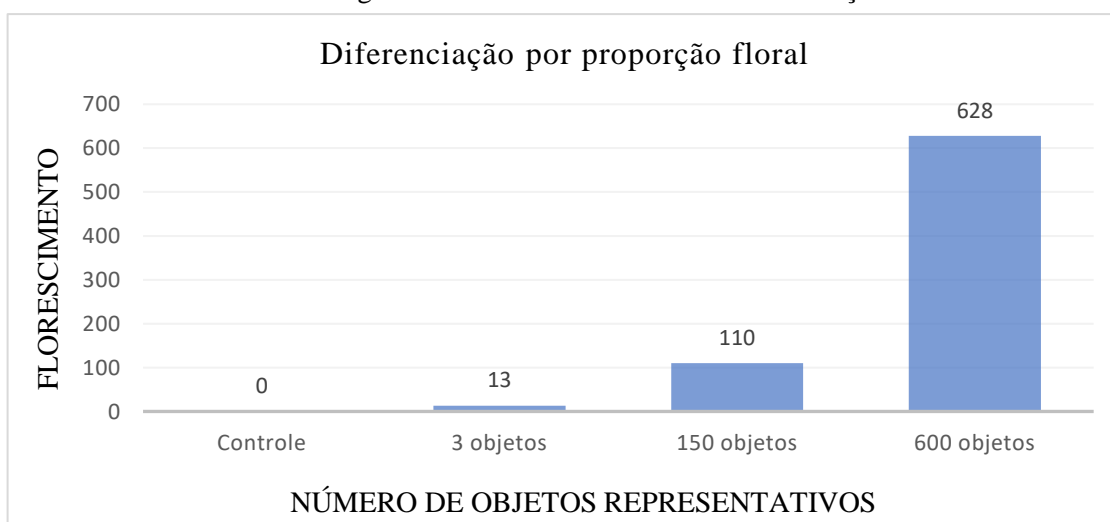
Figura 4.1 – Análise da simulação pelo programa.



Legenda: Resultados obtidos com as simulações após o processamento pelo programa, sendo “P” a abreviação para “Planta”. Os círculos em vermelho são apenas representativos para evidenciar a localização dos objetos representativos, e não correspondem a forma de leitura do algoritmo.

Fonte: Do autor (2020).

Figura 4.2 – Resultado da análise da simulação.



Legenda: Resultado das análises da simulação, evidenciando a clara diferenciação entre as plantas pelo nível aparente de florescimento interpretado pelo programa em relação ao número de objetos representativos. Os números verticalmente à esquerda, representam a quantidade de pixels 100% brancos quantificados com base nas imagens processadas.

Fonte: Do autor (2020).

Na segunda fase, utilizando três plantas em estágio de florescimento (figura 4.3) submetidas as mesmas condições metodológicas da simulação, os resultados obtidos foram correspondentes e comprovaram a eficácia do experimento com florada real (figuras 4.4 e 4.5).

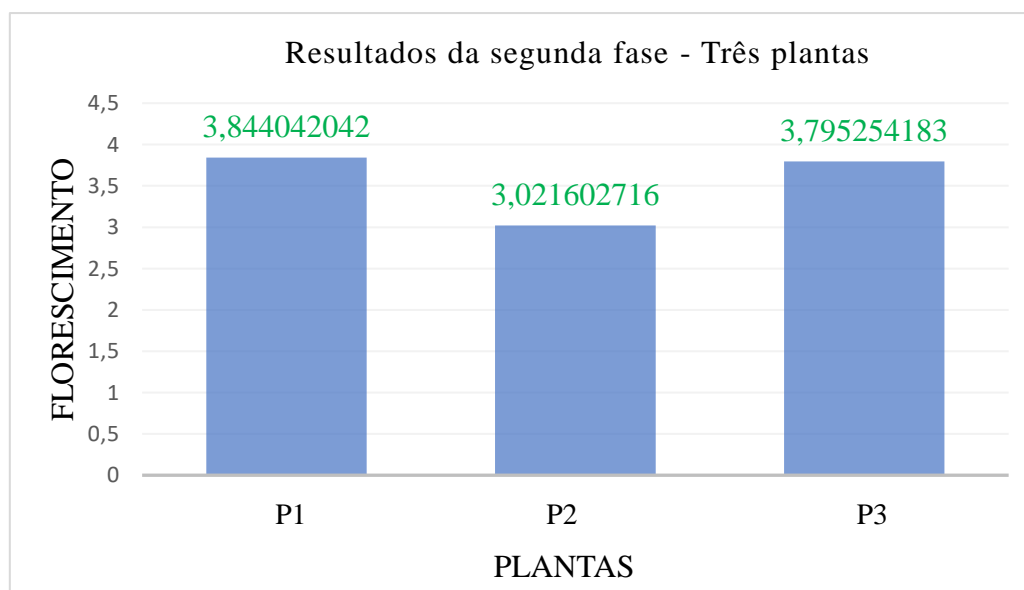
Figura 4.3 – Diferenciação entre três planta da fase 2.



Legenda: Fotografia das plantas P1, P2 e P3 respectivamente, posteriormente processadas.

Fonte: Do autor (2020).

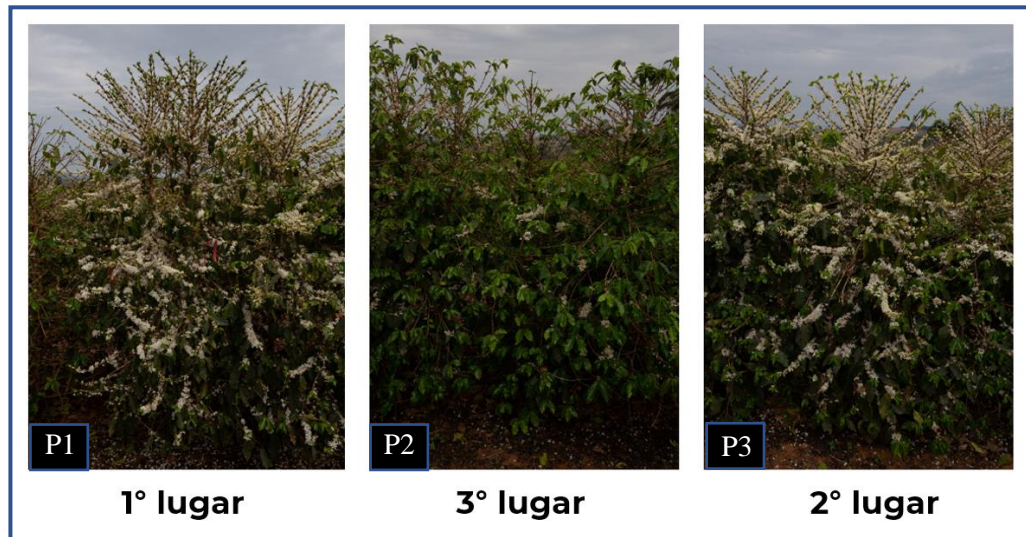
Figura 4.4 – Análise gráfica dos resultados da fase 2.



Legenda: Resultados gráficos da quantificação e diferenciação por florescimento na segunda fase, sendo “P” a abreviação para “Planta”. Os números de pixels (eixo Y) foram convertidos para escala logarítmica.

Fonte: Do autor (2020).

Figura 4.5- Classificação das plantas da fase 2.

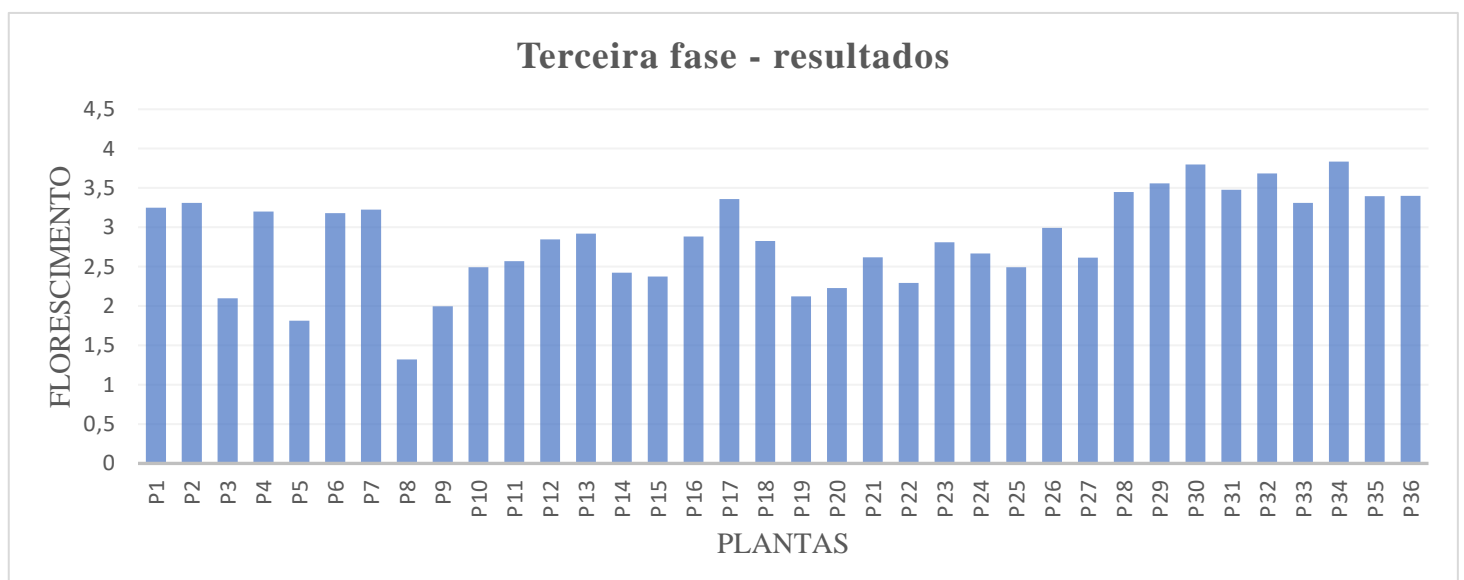


Legenda: Classificação das plantas P1, P2 e P3 respectivamente, com base em suas proporções de florescimento obtidas pelo programa.

Fonte: Do autor (2020).

Na terceira fase, 36 plantas com diferentes volumes de florescimento real foram analisadas utilizando os mesmos parâmetros metodológicos das fases 1 (simulação) e fase 2 (teste com três plantas). Os resultados mais uma vez foram correspondentes e afirmaram a capacidade do programa em diferenciar um maior número de plantas com base na proporção de florescimento (figura 4.6). Tal fato abre a possibilidade para uma eventual diferenciação de blocos ou fazendas inteiras por uma média do volume de florescimento na época de florada, e suas possíveis implicações futuras no desenvolvimento e maturação dos frutos.

Figura 4.6 – Resultado das análises da fase 3.



Legenda: Resultado das análises de quantificação e diferenciação na fase 3 pela proporção floral, sendo “P” a abreviação para planta. Assim como na fase 2, os números de pixels no eixo Y (Florescimento) foram convertidos para escala logarítmica no intuito de facilitar a visualização.

Fonte: Do autor (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa, apesar de funcional e eficiente, ainda requer aprimoramentos e adaptações visando a diminuição no grau de erro experimental por consequência das extremas variações nas condições de campo. Nos testes simulados utilizando objetos representativos para as flores e plantas em pleno vigor vegetativo (no período chuvoso), os resultados foram evidentemente mais claros e direcionais. Com a florada real, porém, há muitos fatores que interferem na capacidade do algoritmo em diferenciar as flores do meio vegetativo, como por exemplo um fundo refletor atrás de plantas com galhos desfolhados, comuns no período de estiagem que precede a florada.

Outro detalhe importante, constatado em trabalhos anteriores. (PENG et. al, 2018), também foi observado. Algumas folhas, dependendo da angulação e grau de incidência solar, apresentam uma capacidade de reflexão tão alta que pode confundir programa e gerar falsos – positivos. São detalhes ainda a serem debatidos, e passíveis de resolução perante mais testes não só em diferentes posicionamentos e horários, mas também com diferentes equipamentos.

É possível encontrar no mercado especializado, filtros polarizadores (CLP) para câmeras digitais com capacidade de eliminar a reflexão indesejada de objetos, quando angulados de forma correta entre a câmera e o alvo de fotografia. São algumas das alternativas para diminuir o número de falsos-positivos, dos quais ao longo do tempo e evolução dos estudos tendem a ser naturalmente amortecidos.

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados comprovam a viabilidade e confiabilidade da metodologia, que foi capaz de quantificar e diferenciar com alta sensibilidade diferentes proporções de florada em 36 cafeeiros em estágio pleno de florescimento, após prévios testes com simulações em campo. Novos estudos são necessários para dar continuidade ao que já fora realizado, pensando na possibilidade de expansão para maiores escalas e geração de dados cada vez mais concretos.

A quantificação e diferenciação de plantas pelo nível de florescimento ainda é uma pequena parte de uma série de estudos possíveis, a partir do aperfeiçoamento da metodologia desenvolvida. Contando com a possibilidade apontada de adaptação para outras culturas e em diferentes escalas, a proposta apresenta um rico repertório de vantagens perante ao baixo custo e facilidade de aplicação apresentada. Almeja-se que com esse projeto, novas portas possam se abrir para beneficiar desde o pequeno produtor aos grandes centros de produção e pesquisa com dados de considerável relevância e confiabilidade.

O que sabemos ainda é pouco perto do oceano de perguntas existentes a se responder no meio científico da fisiologia vegetal. As possibilidades abertas a partir de uma metodologia automatizada de quantificação de florada eficiente englobam desde a elaboração de novos índices de estimativa produção com meses de antecedência, estudos aplicados específicos, testes de eficiência de agroquímicos, melhoras no manejo corretivo de campo, geração de bancos de dados acumulativos de volume e qualidade de florada e predição de maturação de frutos.

7 REFERÊNCIAS

AGGELOPOULOU A, Bochtis D, Fountas S, Swain K, Gemtos T, Nanos G (2011) Yield prediction in apple orchards based on image processing. *Precision Agriculture* 12 (3):448-456. doi:10.1007/s11119-010-9187-0

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; TAYLOR, J. C.; COSSER, N. D.; WOOD, G. A.; EARL, R.; KNIGHT, S. Understanding variability in four fields in the United Kingdom. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p. 3-18.

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

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. 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, L. G. et al. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de Precisão: Mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geostatística. *Rev. Bras. Frutic.*, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 87-113.

FAZUOLI, L. C.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. de. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. *O Agrônomo*, Campinas, v. 59, n. 1, p.19-20, 2007.

F. Jiménez López, M. C. Prieto Pelayo and Á. Ramírez Forero, "Teaching Image Processing in Engineering Using Python," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 11, no. 3, pp. 129-136, Aug. 2016, doi: 10.1109/RITA.2016.2589479.

H. Peng, J. Huang, H. Jin, H. Sun, D. Chai, X. Wang, B. Han, Z. Zhou, and L. Xu, "Detecting coffee (*coffea arabica* l.) sequential flowering events based on image segmentation," in 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics), pp. 1–6, Aug 2018.

HOOT, J.E. Photometry with DSLR Cameras. The Society for Astronomical Sciences 26th Annual Symposium on Telescope Science. Held May 22-24, 2007 at Big Bear, CA. Published by the Society for Astronomical Sciences., p.67 May. 2007.

MOLIN, J. P. et al. Precision agriculture for coffee in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. Proceedings... Minnesota: ASA/CSSA/SSSA, 2002. p. 578-587.

MOLIN, J. P. Geração e Interpretação de Mapas de Produtividade para Agricultura de Precisão. In: BORÉM, A.; DEL GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, L. (Org.). Agricultura de precisão. Viçosa: UFV, 2000, p. 237-258.

N. A. Brunsell, P. P. B. Pontes, R. A. C. Lamparelli, "Remotely sensed phenology of coffee and its relationship to yield," *GIScience and Remote Sensing*, vol. 46(3), pp. 1-16, 2009.

P. J. Ramos, F. A. Prieto, E. C. Montoya, et al., "Automatic fruit count on coffee branches using computer vision," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 137, pp. 9-22, 2017.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

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

PICINI, A. G.; CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A. Test and analysis of agrometeorological models for predicting coffee yield. *Bragantia*, v. 58, n. 1, 1999.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Do trabalho de campo ao processamento de mapas: um caso prático de agricultura de precisão no Brasil (compact disc). In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA - GIS BRASIL 98, 4, 1998, Curitiba. Anais... Curitiba, 1998.

SILVA, F. M. da et al. Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun. 2010.

WILLIS, P. R.; CARTER, P. G.; JOHANNSEN, C. J. Assessing yield parameters by remote sensing techniques. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE*, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 1465 - 73.

Y. Li, Z. Cao, H. Lu, et al., "In-field cotton detection via region-based semantic image segmentation," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 127, pp. 475-486, 2016.

Y. Li, Z. Cao, H. Lu, Y. Xiao, Y. Zhu, and A. B. Cremers, "In-field cotton detection via region-based semantic image segmentation," *Comput. Electron. Agricult.*, vol. 127, pp. 475–486, Sep. 2016.

Y. Song and H. Yan, "Image Segmentation Techniques Overview," *2017 Asia Modelling Symposium (AMS)*, Kota Kinabalu, 2017, pp. 103-107, doi: 10.1109/AMS.2017.24.