

## GERENCIADOR DE COLHEITA MECANIZADA PARA CAFEICULTURA 4.0

LEOMAR S. MARQUES<sup>1</sup>, CAIO A. M. MARQUES<sup>2</sup>, MARCELO JR. DE OLIVEIRA<sup>3</sup>,  
FELIPE O. SILVA<sup>4</sup>, FÁBIO M. DA SILVA<sup>5</sup>, NATÁLIA V. CORTEZ<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Eng. Mecânico, Analista de Desenvolvimento de Produto, Inovação em Mecanização Agrícola CEIFA Ltda., Lavras – MG, [contato@inovaceifa.com.br](mailto:contato@inovaceifa.com.br).

<sup>2</sup> Graduando em Eng. de Controle e Automação, Estagiário, Inovação em Mecanização Agrícola CEIFA Ltda., Lavras – MG.

<sup>3</sup> Graduando em Administração, Estagiário, Inovação em Mecanização Agrícola CEIFA Ltda., Lavras – MG.

<sup>4</sup> Eng. de Controle e Automação, Prof. Adjunto Doutor, Depto. de Automática, EENG/UFLA, Lavras – MG.

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Prof. Titular Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, EENG/UFLA, Lavras – MG.

<sup>6</sup> Eng. Ambiental, Gerente Administrativa, Inovação em Mecanização Agrícola CEIFA Ltda., Lavras – MG.

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** A eficiência da colheita mecanizada de café depende de parâmetros tais quais o grau de maturação dos frutos, a velocidade operacional da colhedora, a frequência de vibração das hastes derriçadoras, e a regulagem das cintas de freio. Este trabalho apresenta o processo de digitalização do equipamento denominado “Gerenciador de Colheita de Café (GCC)”, o qual objetiva informar ao cafeicultor o momento ideal de se iniciar a colheita, o tipo recomendado de colheita (plena ou seletiva), e os ajustes adequados para a colhedora, com base na avaliação da força de desprendimento dos frutos. À luz da agricultura 4.0, os aprimoramentos realizados no GCC incluem o desenvolvimento/disponibilização de: (a) uma nova interface para os usuários, capaz de se conectar à internet via aplicativo para *smartphones*; (b) uma nova metodologia para determinação da maturação dos frutos; e (c) a recomendação para regulagem do freio. Ensaios em campo, dentro de uma mesma gleba, com 3 repetições em parcelas aleatórias, contendo 10 plantas cada, demonstram a coerência do diagnóstico fornecido pela nova versão (em relação à versão antiga), bem como sua superioridade no que tange à: usabilidade, ergonomia, capacidade de memória e flexibilidade para atualizações de *software*.

**PALAVRAS-CHAVE:** café, mecanização, agricultura 4.0

## MECHANIZED HARVEST MANAGER FOR COFFEE CULTURE 4.0

**ABSTRACT:** The efficiency of the mechanized coffee harvesting depends on parameters such as the ripeness of the fruits, operational speed of the harvester, vibration frequency of the stripping rods, and the adjustment of the brake belts. This work presents the digitalization process of the equipment called “Coffee Harvest Manager (CHM)”, which aims to inform the coffee grower of the ideal time to start harvesting, the recommended type of harvest (full or selective), and the suitable adjustments for the harvester, based on the evaluation of the fruit detachment force. In light of agriculture 4.0, improvements made to the CHM include the development/provision of: (a) a new interface for users, which is capable to connect to the internet via a smartphone application; (b) a new methodology for assessing the ripeness of the fruits; and (c) the brake adjustment recommendation. Field trials within the same crop, with 3 replications in random allotments, containing 10 plants each, demonstrate the coherence of the diagnosis provided by the new version (w.r.t. the old version), as well as its superiority in terms of: usability, ergonomics, memory capacity and flexibility for software updates.

**KEYWORDS:** coffee, mechanization, agriculture 4.0

**INTRODUÇÃO:** A cafeicultura, sendo uma atividade agrícola tradicional, sempre dependeu da mão de obra rural. Nas últimas décadas, contudo, a disponibilidade dessa mão de obra tem diminuído drasticamente no Brasil (IBGE, 2022). Como solução ao problema, a mecanização da colheita do café tem se consolidado, apresentando vantagens relacionadas tanto ao aumento da eficiência do processo, quanto à redução de custos. Para realização da colheita mecanizada do café, faz-se necessária a regulagem de alguns parâmetros da colhedora, tais como a vibração das hastes derriçadoras, a velocidade de operação, e a tensão das cintas de freio dos cilindros. Na prática, tal regulagem tem sido realizada de forma empírica, ou seja, por tentativa e erro (SILVA, 2006). A determinação do momento ideal para se iniciar a colheita, bem como do método ideal para realizá-la, a saber, plena ou seletiva, leva em conta o grau de maturação dos frutos, de forma a minimizar a colheita de frutos verdes e passa, e maximizar a de frutos cereja. Visando fornecer recomendações mais assertivas para os problemas supracitados, Silva et al. (2015) propuseram o equipamento denominado "Gerenciador de Colheita de Café (GCC)", o qual se baseia na medição da força de desprendimento dos frutos do cafeeiro. À luz da Agricultura 4.0, este trabalho objetiva apresentar o processo de digitalização do GCC, o qual passa agora a contar com conectividade à internet (nova Interface Homem-Máquina (IHM) via aplicativo para *smartphone*), nova metodologia para determinação da condição de maturação dos frutos, e disponibilização da recomendação de regulagem das cintas de freio.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O GCC, em sua versão original, fornece um diagnóstico com base na determinação de um parâmetro simples e prático, denominado "Índice de Ajuste" (IA), conforme proposto por Silva (2006). O IA correlaciona a frequência de vibração  $\omega$  das hastes derriçadoras com a velocidade de operação  $v$  da colhedora, i.e.:

$$IA = \frac{\omega}{v} \quad (1)$$

Conforme verificado por Silva et al (2010), a força de desprendimento dos frutos do café difere entre os estádios de maturação, sendo maior para os frutos verdes (da ordem de 1,0 a 1,2 kgf), média para frutos cereja (0,5 a 0,8 kgf) e menor para frutos secos (0,2 kgf). A força média também varia entre cultivares, resultando em variedades mais fáceis de serem colhidas. Além disso, para a mesma variedade, a força de desprendimento oscila ao longo do período de maturação, tendendo a diminuir com o tempo. O projeto de digitalização do GCC envolveu o uso de ferramentas de Projeto Auxiliado por Computador (CAD) e prototipagem rápida (impressora 3D), com base nas quais foram refeitos os projetos mecânico e eletrônica da nova versão do equipamento. Os principais objetivos do re-projeto foram aprimorar a ergonomia do GCC, número de parâmetros de regulagem informados (tensão das cintas de freio), bem como sistematizar sua operação no que diz respeito à determinação do grau de maturação dos frutos do café (agora, o usuário deve contar manualmente o número de grãos de café verdes e cereja em plantas selecionadas da gleba e informar ao GCC). No que tange à escolha do microcontrolador, foi priorizada a capacidade do mesmo de se conectar com a internet, bem como sua velocidade de processamento, além do baixo custo. Após o desenvolvimento da Placa de Circuito Integrada (PCI), desenvolveu-se os protocolos de comunicação, com base no *User Datagram Protocol* (UDP). Finalizada esta etapa, avançou-se para o desenvolvimento do aplicativo para *smartphones*. Para tal, empregou-se o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) Android Studio, optando-se também pela utilização da linguagem Java para programação do *back-end*. Ainda nessa etapa procedeu-se com o desenvolvimento do *firmware* para o

microcontrolador em linguagem C++, e emprego de bibliotecas especializadas, tais como Wi-Fi, dentre outras. Finalizado o desenvolvimento, foram realizados ensaios em campo empregando Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), dentro de uma mesma gleba da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no dia 30/08/2024, com 3 repetições contendo 10 plantas cada, em parcelas aleatórias. O objetivo foi garantir que ambas as versões do GCC (nova e antiga) resultariam na mesma recomendação de colheita mecanizada para o usuário. Para detalhes sobre a rotina de cálculos do GCC em sua versão original, vide (SILVA ET AL, 2015).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 1 ilustra a evolução ergonômica do GCC ao longo da fase de re-projeto. Na nova versão do equipamento, foi retirado o visor de LCD existente na versão original, bem como fornecido um visual mais atrativo, e uma melhor empunhadura para execução da tarefa de medição da força de desprendimento.



FIGURA 1. Evolução ergonômica do GCC.

No que diz respeito ao aplicativo desenvolvido, o primeiro passo consiste no cadastro da gleba, com possibilidade de inserção de foto, nome e seleção da área da gleba (novas funcionalidades). Em seguida, deve-se informar os dados da lavoura sob avaliação, tais como cultivar, espaçamento entre plantas, espaçamento entre ruas, altura das plantas e número de ramos por cova. Na próxima etapa, informa-se a renda esperada, a carga pendente e o modelo de colhedora. Como resultado preliminar, o sistema fornece ao usuário estimativas do número de plantas por hectare e de produtividade, conforme demonstrado na Figura 2.

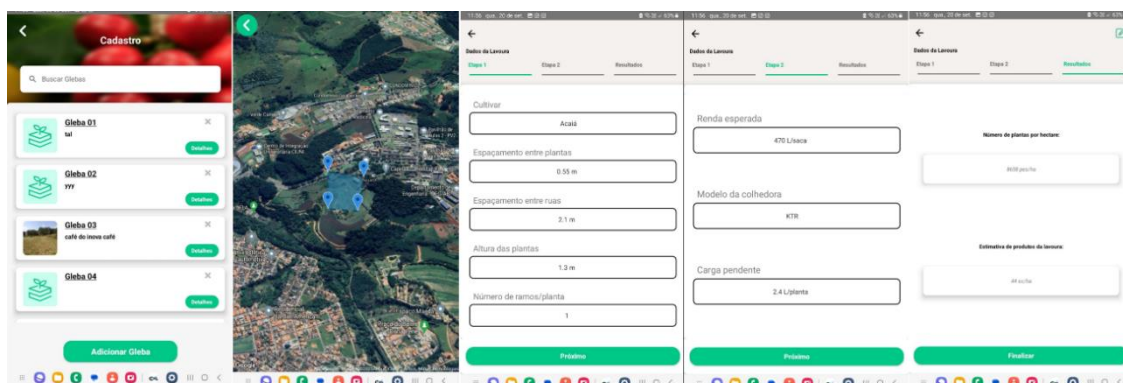


FIGURA 2. Procedimentos iniciais para cadastro de glebas e resultados preliminares.

O novo procedimento de avaliação experimental se inicia com a escolha de 10 plantas de café, as quais devem caracterizar, da melhor forma possível, o grau de maturação de toda a gleba. Em seguida, conta-se o número de frutos verdes e cerejas em 2 ramos arbitrários da ponteira e em 2 ramos arbitrários da saia de cada uma das 10 plantas. Paralelamente, são realizadas medições da força de desprendimento de frutos verdes e cerejas nestes mesmos ramos (Figura 3). Ao final da etapa de avaliação experimental, o sistema fornece ao usuário recomendações

sobre: (a) o momento mais adequado para início da colheita mecanizada; (b) o tipo de colheita, técnica e economicamente mais viável, segundo as características da lavoura e estágio de maturação dos frutos; e (c) os parâmetros de regulagem da colhedora, incluindo a tensão das cintas de freio (nova funcionalidade) visando à maior eficiência operacional (Figura 3).

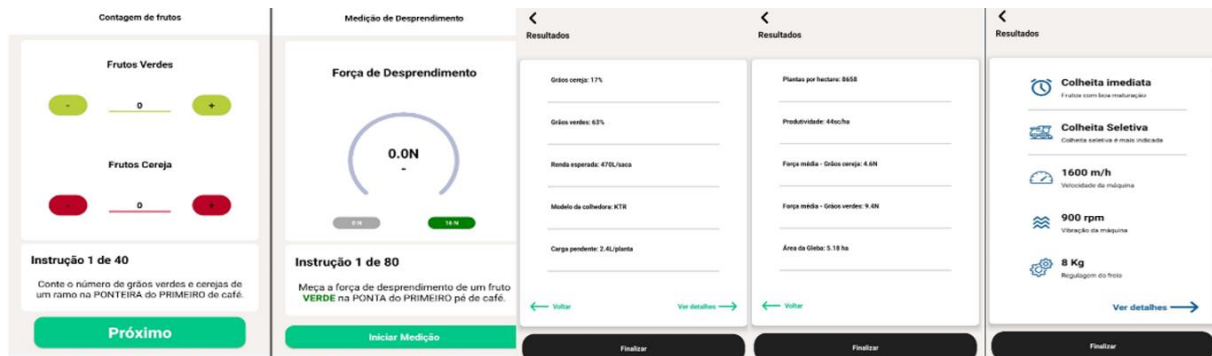


FIGURA 3. Procedimentos para medição da força de desprendimento e diagnóstico do GCC.

Os resultados dos ensaios em campo realizados demonstraram que ambas as versões do GCC culminaram nos mesmos diagnósticos/recomendações (momento de início da colheita, tipo de colheita, velocidade da colhedora e vibração das hastes) para todas as 3 parcelas ensaiadas (com exceção da regulagem das cintas de freio, a qual só é disponibilizada na nova versão). Como a versão original do GCC já se encontra devidamente testada e validada (Silva et al, 2015), a congruência entre seu diagnóstico/recomendação com o da nova versão valida as modificações e novas funcionalidades inseridas nesta última.

**CONCLUSÕES:** O processo de digitalização do GCC apresentado neste trabalho resultou em uma versão moderna e eficiente para fins de gerenciamento da colheita mecanizada no âmbito da cafeicultura 4.0. Ao integrar conectividade, *design* moderno (ergonomia), um aplicativo inovador, nova metodologia de determinação do grau de maturação dos frutos, e a disponibilização da recomendação de regulagem das cintas de freio das principais colhedoras disponíveis comercialmente no Brasil, os usuários têm acesso agora a uma ferramenta robusta e de simples usabilidade, a qual, em última instância, leva a uma maior produtividade e sustentabilidade nas práticas de cultivo do café.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), proc. no. APQ-04840-22, e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), proc. no. 212-20/2018, pelo apoio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS:

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico: séries históricas.** 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/25089-censo-1991-6.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 3 março 2022.
- SILVA, F. M. A colheita semimecanizada do café. In: ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção do café.** 1 ed. Viçosa: UFV, 2006, p. 167-187.
- SILVA, F. C., SILVA, F. M., ALVES, M. C., BARROS, M. M., SALES, R. S. Comportamento da força de desprendimento dos frutos do cafeeiro ao longo do período da colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 468-474, 2010.
- SILVA, F. M.; SILVA, F. O.; AVELAR, R. C. A Manager Device for the Mechanical Coffee Harvesting. In: 2015 ASABE International Meeting, 2015, New Orleans. **Anais [...]**, p. 1.