



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MICROCONTROLADO APLICADO À EXTRAÇÃO DE SUCO DE FRUTAS POR COMPRESSÃO

**Robson de Queiros Domingues¹, Jair Alves Lima Júnior², Erinaldo de Sousa Neri³,
Pérsio João de Jesus⁴, Welliton Soares Brandão⁵, Sérgio de Sousa Castro⁶**

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia em Engenharia e Ciência de Alimentos (PPGECAL) - UESB, Itapetinga, Brasil (ro199ro@gmail.com)

²Programa de Pós Graduação em Engenharia em Engenharia e Ciência de Alimentos (PPGECAL)- UESB, Itapetinga-BA, Brasil

³Programa de Pós Graduação em Engenharia em Engenharia e Ciência de Alimentos (PPGECAL)- UESB, Itapetinga-BA, Brasil

⁴Programa de Pós Graduação em Engenharia em Engenharia e Ciência de Alimentos (PPGECAL)- UESB, Itapetinga-BA, Brasil

⁵Graduando em Tecnologia em Agroindústria – IF BALANO, Guanambi-BA, Brasil

⁶Departamento de Ciências Exatas e Naturais (DCEN) - UESB, Itapetinga-BA, Brasil

Resumo: Os sistemas embarcados têm sido amplamente usados na indústria de alimentos por sua confiabilidade e resposta em tempo real. Foi desenvolvido um *firmware* em linguagem C++, gravado no microcontrolador PIC18F4550, para controle do motor de passo em um sistema de compressão de frutas. O deslocamento da superfície de contato (BM) foi de 52,21 mm em 14,87 s, exigindo 6.000 passos. A automação do processo mostrou-se viável para extração de suco por compressão, com boa performance de acionamento.

Palavras-chave: Alimentos; dispositivo; *firmware*; programação; *software*.

INTRODUÇÃO

Os sistemas embarcados, *Embedded System*, têm se tornado cada vez mais comuns em aplicações do cotidiano, operando em contextos específicos que exigem alta confiabilidade, baixo consumo de energia e resposta em tempo real (Graziosi et al., 2024). Trata-se de combinações integradas de *hardware* e *software*, projetadas para executar funções específicas dentro de um sistema maior (Bezerra, 2024).

Segundo Araújo, Cavalcante e da Silva (2019), a programação das instruções em um sistema embarcado é feita por meio de um código denominado *firmware*, responsável por definir as funções e o comportamento dos dispositivos. O desenvolvimento e a eficiência operacional de sistemas embarcados estão diretamente relacionados à qualidade da implementação do *software* que os controla, pois espera-se que os sistemas embarcados operem de forma contínua e estável por longos períodos.

Garantir que os sistemas embarcados sejam robustos e autônomos diante de eventuais falhas é essencial para aplicações industriais, onde a confiabilidade é um requisito fundamental (Liu et al., 2025). Um exemplo dessa aplicação pode ser observado na indústria de

alimentos, onde a automação de processos, como a extração de sucos, demanda soluções embarcadas que necessitam de precisão no controle operacional. Nesse contexto, a expansão da produção de sucos tem impulsionado a adoção de novos métodos capazes de otimizar os processos existentes. No caso da extração, busca-se alcançar o máximo rendimento da fruta, eliminando componentes indesejáveis que possam comprometer a qualidade do produto final (Morita et al., 2023; Silva, 2021).

Diante das exigências por maior eficiência e qualidade, diversos dispositivos mecânicos automatizados de pequeno e médio porte têm sido desenvolvidos com o intuito de otimizar o processo e reduzir o tempo de extração de suco de frutas, aumentando a produtividade e minimizando os custos operacionais em comparação aos métodos tradicionais existentes (Medvedkov et al., 2021; Kharfran e Toledo, 2014).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema microcontrolado, aplicado à extração de suco de frutas por compressão, com o intuito de otimizar o controle de parâmetros operacionais como tempo de compressão e sequência de atuação do motor.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do algoritmo de controle, foi utilizado o *software* MikroC for PIC® pro 2002-2025, versão 7.6.0, na linguagem de programação C++. Por meio do *software*, foi desenvolvido o *firmware* de controle para o acionamento do motor de passo modelo NEMA 17 (*Pbc Linear*, s.d.), responsável pelo sistema de compressão da fruta. Além disso, as funcionalidades do painel de controle foram implementadas para o gerenciamento do acionamento do dispositivo através do uso de uma chave capacitiva.

O *firmware* desenvolvido foi testado inicialmente em ambiente *Windows*, por meio de sua execução (compilação) no próprio ambiente do MikroC. Posteriormente, foi validado fisicamente por meio da construção e operação do protótipo do sistema embarcado de compressão de frutas.

Para teste do protótipo, o *firmware* desenvolvido foi gravado no microcontrolador PIC18F4550, um dispositivo de controle de 10 bits da família PIC que apresenta alta capacidade computacional (Alves, 2016; MICROCHIP®, 2009), integrado à placa *uStart*. Este componente foi responsável pelo controle operacional tanto do sistema de compressão quanto do painel de interface do usuário. A gravação do *firmware* foi realizada por meio de um cabo de conexão *Universal Serial Bus* (USB), conectado a um computador. A compilação e transferência dos dados para o microcontrolador foram executadas utilizando o *software* *uProg for PIC*.

O sistema eletrônico de compressão foi construído no ambiente de desenvolvimento do *EAGLE®* (*Einfach Anzuwendender Grafischer Layout-Editor*), para verificar as conexões a serem feitas entre os componentes. O circuito foi montado em uma *proto-board* (placa de prototipagem) no laboratório L.E.E.C. (Laboratório de Eletricidade, Eletrotécnica e Controle de Processo) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, para testes a fim de verificar suas condições operacionais e a confiabilidade do *firmware*.

Para o controle do motor, o microcontrolador PIC18F4550 foi conectado ao módulo A4988, responsável pelo acionamento do motor de passo, por meio dos pinos RB1 (STEP) e RB2 (DIR), conforme indicado na Figura 1.

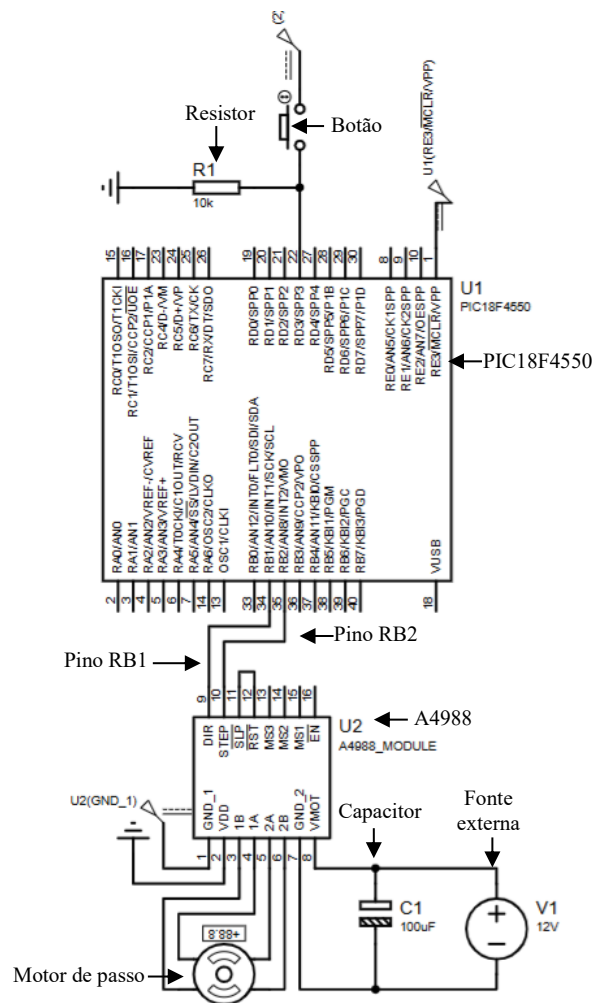


Figura 1. Circuito de teste do sistema de compressão.

O pino STEP do driver A4988 foi utilizado para enviar pulsos elétricos, determinando o número de passos a serem executados pelo motor, enquanto o pino DIR definiu a direção de rotação do eixo. Dessa forma, a combinação desses sinais permitiu o controle do movimento do motor em ambos os sentidos e a velocidade de rotação. As ligações do driver ao microcontrolador foram feitas conforme as especificações do seu *datasheet* (Allegro, 2010). O microcontrolador, por sua vez, foi alimentado com uma tensão regulada de 5V.

Além disso, os pinos *SLEEP* e *RESET* do driver foram interligados e mantidos em nível lógico alto. Isso permitiu que o dispositivo se mantivesse continuamente ativo e em pleno funcionamento, evitando a entrada em modo de economia de energia ou reinicialização automática.

O motor foi conectado ao driver por meio de quatro fios, caracterizando uma ligação do tipo bipolar, na qual dois fios foram destinados ao controle de cada bobina, promovendo o movimento do motor. O

acionamento deste era dado mediante à alimentação de 12V, fornecida por uma fonte chaveada externa interfaceada diretamente ao driver.

Para o sistema construído, um módulo relé de 5 V foi incorporado, sendo conectado entre os pinos de alimentação (GND e VMOT). O pino IN, responsável pelo envio do sinal de acionamento do relé, foi conectado à porta analógica RC2 do PIC18F4550, permitindo a variação do seu nível lógico para ativar ou desativar o relé. Os terminais NA (Normalmente Aberto) e NF (Normalmente Fechado) deste componente eletrônico foram conectados, respectivamente, entre as linhas de 12V (VCC e GND) da fonte de alimentação chaveada e ao terminal de alimentação do driver A4988, viabilizando o controle do fornecimento de energia ao motor de passo. Um capacitor eletrolítico de 100 μ F foi implementado ao circuito, conectando-o entre a fonte de alimentação e o relé.

Para proteger os circuitos sensíveis, o módulo relé escolhido dispunha de um diodo de *flyback* integrado, responsável por absorver os picos de tensão gerados quando a corrente na bobina era interrompida abruptamente.

Foram realizados testes mecânicos de movimentação para testar o funcionamento do sistema de compressão comandado pelo *firmware*, medindo a capacidade do motor em deslocar uma base móvel (BM) de contato até uma região limite de compressão de uma base fixa (BF) para posicionamento de frutas, conforme as rotinas estabelecidas. Foram realizados três ensaios, que consistiram em um ciclo completo de deslocamento da BM. Os parâmetros registrados incluíram a distância percorrida, o tempo de duração do movimento, a quantidade de passos executados pelo motor e o número total de revoluções.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por se tratar de um dispositivo em processo de patenteamento, informações detalhadas sobre sua construção e formato foram omitidas nesta etapa.

A Figura 2 ilustra o fluxograma do algoritmo de controle do *firmware* implementado para gerenciar o funcionamento do sistema de compressão de frutas, por meio de um motor de passo via acionamento por chave capacitiva.

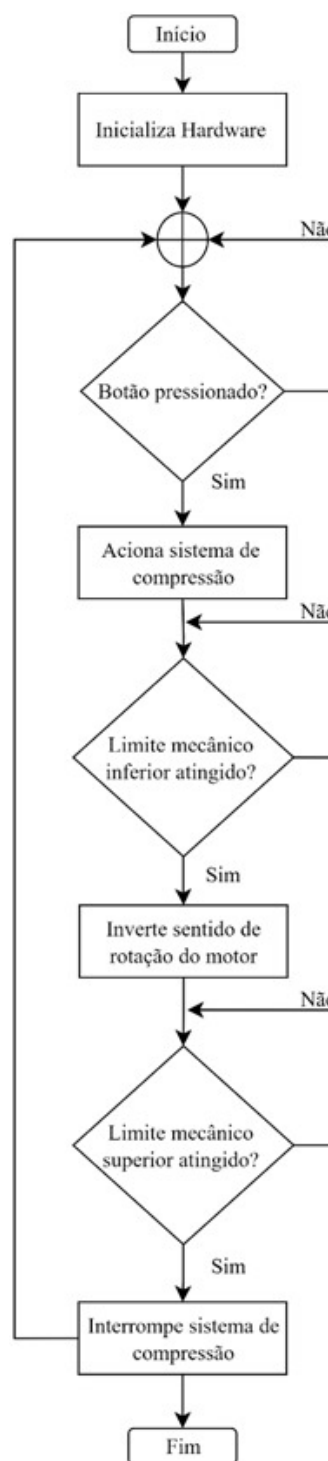


Figura 2. Seção de rotina de atividades do algoritmo de controle.

A princípio, o microcontrolador realizou uma varredura de segurança para verificar o funcionamento operacional de seus componentes internos. Após essa etapa, ao detectar o acionamento do botão, o sistema ativa o mecanismo de compressão. O movimento de compressão prossegue até que o limite mecânico inferior fosse detectado com base em uma distância predeterminada, momento em que o sentido de rotação

do motor é invertido automaticamente para retornar o sistema à sua posição inicial.

O movimento de retorno continuou até que o limite mecânico superior fosse alcançado, também definido por uma distância preestabelecida. Ao final dessa rotina, o sistema interrompe o funcionamento do mecanismo de compressão, encerrando o processo de forma segura e controlada. Esse controle automático garantiu maior precisão e segurança na operação, além de preservar a integridade do sistema e dos sucos a serem obtidos.

A Figura 3 apresenta o circuito eletrônico construído em laboratório, para acionar o motor de passo do sistema de compressão.

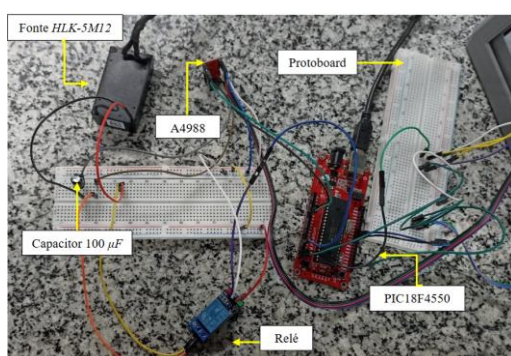


Figura 3. Circuito eletrônico construído em placa de prototipagem (Protoboard).

Durante os testes de funcionamento, ao pressionar a chave capacitiva, o microcontrolador detectava o sinal de entrada na porta RD3 e processava essa informação de acordo com a rotina programada para a detecção do acionamento. Em seguida, enviava sinais de controle ao driver A4988 pelas portas RB1 e RB2, responsáveis pelo controle das bobinas e pela rotação do motor de passo. Nesse processo, um sinal é encaminhado para o acionamento do relé, presente na porta RC2, permitindo a energização do driver para acionamento do motor.

A incorporação do relé ao circuito eletrônico proporcionou maior controle no acionamento do sistema de compressão, além de protegê-lo contra possíveis intercorrências entre o circuito de controle (microcontrolador) e a carga de alto consumo (motor de passo). O isolamento galvânico do relé permitiu a transferência de sinais entre as partes do circuito sem conexão elétrica direta, assegurando maior segurança e integridade dos componentes.

Nos testes de acionamento realizados, o *firmware* permitiu o envio de 200 pulsos elétricos, equivalente a 1 volta completa, com uma temporização de até 0,001 s ao driver A4988, para promover a rotação do

eixo do motor, tanto para o sentido horário, quanto anti-horário.

A ativação de suas bobinas ocorreu de forma sequencial. O tempo estabelecido pela rotação evitou a ocorrência de possíveis sobrecargas ou movimentos imprecisos, como vibrações no eixo do motor, durante o intervalo de acionamento das bobinas em decorrência do envio simultâneo de múltiplos pulsos.

Conforme a Equação 1, foi determinado o número de passos de rotação do eixo do motor necessário para o para comprimir a fruta.

$$N^0 = \frac{D \times 200}{\bar{X}} \quad (1)$$

onde, N^0 é o número de passos do motor (-), D a distância percorrida (mm), e \bar{X} é a média das distâncias.

A Tabela 1 apresenta a relação entre o número de passos do motor e a distância percorrida pela BM, conforme o controle exercido pelo *firmware* do sistema embarcado.

Tabela 1. Quantidade de revoluções do motor de passo para movimentação da BM.

Ensaio	01	02	03	Média	Unidade
Distância	51,37	51,58	53,69	52,21	mm
Duração	15,29	13,73	15,60	14,87	s
Nº passo	5903,47	5927,6	6170,08	6000,38	-
Revolução	29,52	29,64	30,85	30,00	-

Observou-se que a distância máxima percorrida pela BM variou entre 51,37 mm e 53,69 mm, com média de 52,21 mm, indicando um bom controle de precisão e estabilidade no deslocamento do sistema mecânico gerenciado pelo *firmware* compilado no microcontrolador. O tempo necessário para completar esse deslocamento variou de 13,73 s a 15,60 s, com média de 14,87 s (cerca de 403,50 passos por segundo).

Foi observada uma diferença de aproximadamente 2 s nos tempos de posicionamento entre os ensaios. Apesar de representar uma variação reduzida, esse desvio pode ser significativo em sistemas de movimento de precisão, nos quais pequenas variações podem comprometer a repetibilidade e a exatidão do deslocamento. Essa diferença pode estar relacionada à possíveis ruídos elétricos acionamento dos pulsos enviados ao motor.

Tal instabilidade pode ter sido decorrente da ausência de filtragem analógica na linha de controle, além do atrito entre as partes móveis da estrutura mecânica, fatores que podem comprometer a precisão e a repetibilidade do movimento. Em um dispositivo desenvolvido por Rodrigues (2021), que utilizava um conjunto de motores de passo para a movimentação de uma base nos eixos XY, também foi observado um



retardo de resposta, atribuído à interferência de ruídos elétricos no circuito de controle.

Fiebig (2018), ao desenvolver um protótipo de CNC Router com motor de passo NEMA 23, relatou que folgas mecânicas e desalinhamentos entre os eixos podem ocasionar falhas no acionamento e atrasos na resposta, comprometendo a qualidade da usinagem das peças.

Além disso, em relação à variação de posicionamento, Cardozo (2012), ao desenvolver um sistema de controle para motor de passo aplicado a um manipulador robótico, observou que imprecisões no posicionamento final podem ser decorrentes de erros de quantização do encoder do sistema de controle, bem como das limitações na resolução do motor de passo. De modo semelhante, Kaviski et al. (2021), também relatou problemas de posicionamento de um motor de passo para um sistema gerenciador de pílulas inteligente, atribuindo a variação das distâncias a falhas do encoder do sistema projetado.

Quanto ao número de passos do motor, foi necessário realizar uma média de 6.000 passos, correspondentes a 30 revoluções do eixo, para efetuar o deslocamento completo da BM até a região limite de compressão. Esse valor mostrou-se adequado para garantir a compressão de amostras de diferentes tamanhos, sem comprometer a integridade mecânica do sistema.

A fim de assegurar uma compressão controlada, foi mantida um limite inferior de aproximação de 15,36 mm entre a BM e BF. Esta distância evitou a ocorrência do contato indesejado entre os suportes de transmissão de movimento.

A ausência dessa folga mínima poderia ocasionar travamentos mecânicos, desgaste prematuro de componentes ou, em casos mais severos, a ruptura de peças por impacto. Adicionalmente, tal espaçamento também visou prevenir a compressão excessiva das frutas, prejudicando a coleta do suco.

CONCLUSÃO

O sistema de compressão demonstrou boa performance ao permitir o movimento adequado da BM na distância estabelecida para a compressão das frutas, apresentando considerável integridade estrutural. A integração entre o conjunto plataforma-fuso-motor reduziu o atrito entre as peças conectadas e suportou as cargas e as tensões do processo sem danos comprometedores, tornando-se apto para a compressão de frutas para extração de seu suco. Apesar do atraso global de 2 s registrado ao final do deslocamento da plataforma para o limite inferior, o mesmo não influenciou negativamente a resposta à compressibilidade. No entanto, torna-se necessária a realização de experimentos complementares e ensaios com frutas *in natura*, a fim de validar a eficácia do

sistema quanto aos processos de compressão e extração do suco de diferentes frutas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos (PPGECAL) e à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pelo fornecimento da infraestrutura, componentes e suporte técnico indispensáveis à realização desta pesquisa.

À CAPES, pelo apoio financeiro fornecido por meio da bolsa de mestrado, que foi fundamental para a realização deste projeto durante o período do curso.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO. DMOS Microstepping driver with translator and overcurrent protection. Alldatasheet, 2010. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/338780/ALLEGRO/A4988.html>. Acesso em: 11 de julho de 2025.

ALVES, G. H. *Uma proposta de regulador automático de tensão microcontrolado para geradores síncronos isolados*. 2016. 153 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

ARAÚJO, W. M.; CAVALCANTE, M. M.; SILVA, R. O. Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com Arduino. *Revista Tecnologias em Projeção*, v. 10, n. 1, p. 36–46, 2019.

BEZERRA, A. P. *Implementando uma atualização remota de firmware para sistema embarcado através do protocolo MQTTs*. 2024, 51 p. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza-CE, 2024.

CARDOSO, W. S. *Controle de motores de passo aplicado a um manipulador robótico*. 2012, 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, 2012.

FIEBIG, R. *Protótipo de um CNC Router*. 2018, 63 p. Monografia (Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

GRAZIOSI, S. E.; BERNARDO, P. H. A.; MARTINELLI, M. A. Sistemas embarcados: fundamentos, aplicações e desafios tecnológicos. *Revista Matiz Online*, Matão (SP): Instituto Matonense Municipal de Ensino Superior, v. 14, p. 1–9, set. 2024.

KAVISKI, M.; SANTOS, P. F.; GALEZZI, W.; QUANDT, V. I.; ALBERTI, E. J. Gerenciador de



pílulas inteligente. *Anais do Computer on the Beach*, v. 12, p. 255-258, 2021.

KHARFAN, D.; TOLEDO, J. C. Proposta de método para avaliação do processo de extração de sucos cítricos. *Espacios*, v. 35, n. 8, p. 11, 2014.

LIU, L.; LIU, T.; SOL, J.; ZHANG, Y. Optimal speed and latency-aware task assignment in large-scale embedded system. *Knowledge-Based Systems*, v. 325, n. 5, p. 113834, 2025.

MEDVEDKOV, Y.; NAZYMBEKOVA, A.; TLEVLESSOVA, D.; SHAPROV, M.; KAIRBAYEVA, A. Development of the juice extraction equipment: physico-mathematical model of the processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, v. 1, p. 109, 2021.

MICROCHIP, T. *PIC18F2455/2550/4455/4550 DataSheet*. MICROCHIP TECHNOLOGY, 2009. Disponível em: <<https://www.microchip-direct.com/files/d6/pic18f2455-i-so.pdf>>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

MORITA, K.; SANTOS, R.; CONTATO, T.; CESTARI, Y. *Indústria nacional de bebidas frutadas*. 2023, 123 p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, APUCARANA-PA, 2023.

PBC LINEAR. Stepper Motor NEMA 17. PBC Linear, [s.d.]. Disponível em: <<https://pages.pbclinear.com/rs/909-BFY-775/images/Data-Sheet-Stepper-Motor-Support.pdf>>. Acesso em: 11 de julho de 2025.

RODRIGUES, F. N. C. *Sistema com aplicativo híbrido para a automação do estágio XY do porta-amostras do equipamento de plasma atmosférico*. 2021, 74 p. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG, 2021.

SILVA, F. D. *Desenvolvimento de uma plataforma para caracterização de cores e índice de maturação em goiaba (Psidium guajava L.) utilizando um microcontrolador programável arduino*. 2021, 45 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Campinas Grande, Campus Pombal, Pombal - LB, 2021.