INFLUÊNCIA DO ESTÁGIO DE MATURAÇÃO NA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA FARINHA DA CASCA DO MARACUJÁ-AMARELO OBTIDO NA SAFRA

Beatriz Tamiris da Silva André [1], Rodrigo Felipe Santana de Souza[1], Gilberto Henrique Teles[1], Ester Ribeiro[1]

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil (beatriz.tamiris@ufpe.br)

Resumo: Avaliou-se a hidrólise da casca do maracujá-amarelo da safra (verde e maduro). Farinhas autoclavadas em tampão citrato foram hidrolisadas com Cellic CTec2 (15 FPU/g, 50 °C, 150 rpm). Glicose e xilose foram medidas por cromatografia líquida de alta eficiência. A concentração de glicose foi maior devido à composição da biomassa. O fruto maduro apresentou melhor custo-benefício, atingindo a máxima liberação e ~80% de eficiência em 48h. O fruto verde exigiu 72h devido à maior recalcitrância estrutural, validando o impacto da maturação no processo.

Palavras-chave: biomassa lignocelulósica; hidrólise enzimática; estágio de maturação; açúcares fermentáveis.

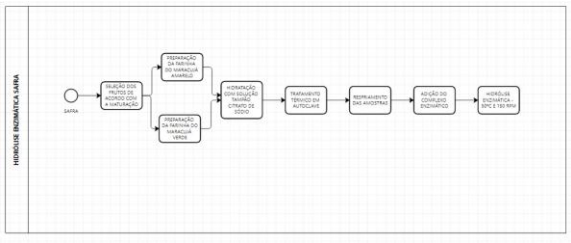
INTRODUÇÃO

O maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) destaca-se como uma das frutas mais cultivadas e processadas na agroindústria brasileira, gerando uma quantidade expressiva de resíduos vegetais, constituídos majoritariamente pela casca (Farias et al., 2021). No período da safra, onde as condições climáticas e de luminosidade são ideais para o desenvolvimento pleno do fruto, a biomassa lignocelulósica obtida apresenta características favoráveis à conversão biotecnológica em açúcares fermentáveis por meio da hidrólise enzimática (Santos et al., 2024). Contudo, mesmo em condições ótimas de colheita, a composição centesimal da parede celular sofre modificações fisiológicas dependendo do estágio de maturação (Silva et al., 2023). Compreender como essas variações fisiológicas afetam a susceptibilidade enzimática da farinha da casca da safra é fundamental para prever a eficiência industrial. Diferente das abordagens que aplicam pré-tratamentos químicos severos, este trabalho adotou uma estratégia de aproveitamento integral da biomassa. A farinha da casca não foi submetida a processos prévios de remoção de pectina ou de hemicelulose, preservando a composição nativa. O pré-tratamento consistiu exclusivamente na esterilização térmica da farinha em meio tampão, minimizando custos operacionais (Costa et al., 2025). Para despolimerizar essa matriz, utilizou-se o coquetel comercial Cellic CTec2, complexo de alta tecnologia que contém hemicelulases acessórias essenciais para romper a recalcitrância da biomassa (Oliveira et al., 2026). Devido a essas atividades secundárias e à manutenção da fração hemicelulósica original, tornou-se possível a liberação e posterior detecção simultânea de monômeros de glicose e xilose por cromatografia líquida de alta eficiência. A partir do conhecimento prévio dos teores de celulose e hemicelulose da farinha, determinados em etapa anterior do grupo de pesquisa (Teles et al., 2023), viabilizou-se o cálculo exato das eficiências das hidrólises enzimáticas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do estágio de maturação (verde e maduro) na eficiência da hidrólise enzimática da farinha da casca do maracujá amarelo obtido na safra.

MATERIAL E MÉTODOS

As hidrólises enzimáticas das farinhas das cascas de maracujá-amarelo da safra foram conduzidas avaliando-se os estágios de maturação verde e maduro dos frutos (Figura 1). Os ensaios ocorreram sob temperatura de 50 ºC e agitação de 150 rpm, em um incubador rotativo. Utilizou-se o complexo enzimático comercial Cellic CTec2 na dosagem de 15 FPU/g de farinha. Para o meio reacional, frascos de Erlenmeyer de 500 mL contendo uma massa seca de 5 g de farinha e uma fração de tampão citrato de sódio (pH 4,8) foram submetidos ao pré-tratamento térmico por autoclavação (121 ºC, 1 atm) durante 15 minutos. Após o resfriamento, adicionou-se o volume do coquetel enzimático, previamente diluído em tampão estéril, totalizando um volume reacional final de 150 mL.

Figura 1. Fluxograma das etapas da metodologia



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as concentrações de glicose e xilose com 48 e 72 horas da hidrólise enzimática da farinha das cascas do maracujá amarelo.

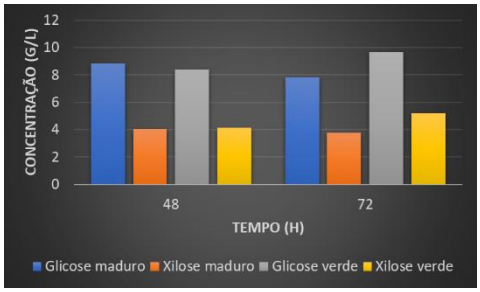


Figura 2. Concentrações de glicose e xilose com 48 e 72 horas da hidrólise enzimática.

A concentração de glicose foi maior que a de xilose, independente do estágio de maturação e do tempo de hidrólise. Isso ocorreu devido o teor de celulose ser maior do que o de hemicelulose. Com relação à maturação dos frutos, as concentrações de glicose e de xilose foram maiores com 72 horas, para os frutos verdes, enquanto que para os frutos maduros, 48 horas de hidrólise foram suficientes para a formação da máxima concentração desses carboidratos.

A Figura 3 apresenta as eficiências das hidrólises enzimáticas da celulose e da hemicelulose com 48 e 72 horas.

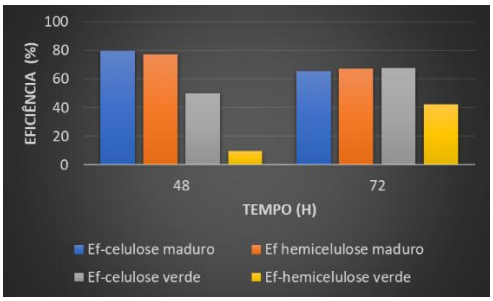


Figura 3. Eficiências das hidrólises da celulose e da hemicelulose com 48 e 72 horas.

As eficiências das hidrólises enzimáticas da celulose e da hemicelulose foram maiores com 48 horas, quando foi utilizado farinha das cascas dos frutos maduros. Por outro lado, para a farinha das cascas dos frutos verdes, os maiores valores de eficiência foram observados com 72 horas de hidrólise. Apesar da menor atividade hemicelulotíca do complexo CTec2, a eficiência foi quase 80% com 48 horas, na hidrólise da farinha das cascas dos frutos maduros, assim como a eficiência da hidrólise da celulose. Apesar disso, a concentração de glicose ainda é mais do que o dobro da concentração de xilose (Figura 2) devido ao maior teor de celulose, conforme mencionado. Provavelmente, o maior teor de lignina presente na farinha das cascas dos frutos verdes atuou de forma desfavorável ao acesso das enzimas ao substrato, diminuindo as eficiências. Com o aumento do tempo para 72 horas, as eficiências das hidrólises da farinha dos frutos verdes também aumentaram e esse aumento foi maior que 100% para eficiência da hidrólise da hemicelulose.

CONCLUSÃO

A farinha das cascas do maracujá amarelo apresenta maior potencial para a obtenção de açúcares fermentáveis, com predomínio de glicose devido à composição da biomassa. O estágio de maturação dos frutos influencia diretamente a viabilidade econômica do processo, sendo os frutos maduros os de melhor custo-benefício por reduzirem o tempo de hidrólise para 48 horas, garantindo alta eficiência sem gastos energéticos adicionais. Em contrapartida, os frutos verdes apresentam maior recalcitrância estrutural — associada à presença de lignina —, o que retarda a ação enzimática e exige tempos reacionais mais longos (72 horas) para a desestruturação eficaz da parede celular. Assim, o uso de biomassa madura otimiza o processo biotecnológico, validando a eficiência do coquetel enzimático na despolimerização simultânea de celulose e hemicelulose de forma mais ágil e econômica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por toda a estrutura fornecida, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro, além do Laboratório de Bioprocessos e Bioprodutos (Labbio-UFPE) e ao Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) pelo suporte técnico durante o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

Costa, M. S. et al. Integrated ultrasound, enzymatic, and chemical pretreatments for yellow passion fruit peel valorization. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, v. 209, p. 109845, 2025.

Farias, M. A. et al. Cadeia produtiva do maracujá e o aproveitamento de subprodutos no cenário brasileiro. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 43, e-542, 2021.

Oliveira, T. S. et al. Turning Agricultural Waste into Value-Added Products: A Review on Passion Fruit Peel Biorefinery. Plant Foods for Human Nutrition, v. 81, p. 45-58, 2026.

Santos, R. B. et al. Towards a sustainable circular bioprocess: Pectic oligosaccharides production from yellow passion fruit peel waste. Food Chemistry, v. 435, p. 137520, 2024.

Silva, J. A. et al. Full utilization of the yellow passion fruit peel: Chemical profile, pectin extraction and acid/enzymatic hydrolysis optimization. Industrial Crops and Products, v. 198, p. 116650, 2023.

Teles, G. H. et al. Full utilization of the yellow passion fruit peel: Chemical characterization and valorization to reduce biomass waste. Industrial Crops and Products, v. 206, p. 117593. 2023.