

ARTIGO TÉCNICO

PROCESSAMENTO PÓS-COLHEITA DO LÚPULO: TECNOLOGIA DE TRANSFORMAÇÃO DA FLOR EM PELLET

Autores: Arthur Reis Machado dos Santos¹, Flávia Aline Andrade
Calixto^{1,2}, Luciana Cardoso Nogueira²

¹ Unifeso - Centro Universitário Serra dos Órgãos, 2 Instituto Federal do Rio de Janeiro, IFRJ-PCTA
Autor para correspondência (email): reiarthurreis2012@gmail.com



DESTAQUE

O processamento pós-colheita do lúpulo em pellets reduz perdas operacionais e preserva resinas de amargor e óleos essenciais através do controle térmico rigoroso e atmosfera inerte.

1. INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) desempenha papel fundamental na produção cervejeira, sendo responsável pelo amargor, perfil aromático e parte da estabilidade microbiológica da bebida (Schönberger; Titze, 2011). Embora a flor "*in natura*" possua valor histórico, a indústria moderna utiliza majoritariamente o lúpulo em pellets. Essa forma física oferece vantagens logísticas e técnicas

superiores, como a redução do volume de armazenamento em até 70% e a proteção contra a oxidação prematura (Ting; Ryder, 2017).

No entanto, o lúpulo é um insumo extremamente termossensível. Suas propriedades dependem da integridade das glândulas de lupulina, que contêm os ácidos-alfa e óleos essenciais. O desafio tecnológico consiste em reduzir a umidade e compactar a biomassa sem que temperaturas elevadas degradem as resinas por oxidação térmica (Pimenta *et al.*, 2020). Entender o fluxo operacional é essencial para garantir que o potencial sensorial cultivado no campo chegue intacto ao processo de fabricação.

2. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Fundamentos Tecnológicos e Controle Operacional

O processamento pós-colheita do lúpulo exige controle rigoroso de variáveis físico-químicas para evitar a depreciação do valor cervejeiro do lote. A Qualidade do pellet final depende da preservação da integridade das glândulas de lupulina, ricas em humulonas (ácidos-alfa) e terpenos aromáticos. O descuido em qualquer uma das fases operacionais desencadeia reações de oxidação descontrolada e conversão de ácidos-alfa em compostos indesejados. Os parâmetros de controle do fluxo produtivo estão sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros operacionais críticos no processamento pós-colheita do lúpulo e seus impactos na qualidade do pellet.

Etapa Operacional	Temperatura	Umidade Target	Atmosfera / Condições	Impacto Principal na Qualidade
Limpeza e Seleção	Ambiente (< 25 °C)	N/A (Flor in natura)	Ar atmosférico limpo	Remoção de material vegetal inerte; evita taninos adstringentes.
Secagem (Kilning)	55 °C a 65 °C	8,0% – 10,0%	Fluxo forçado de ar quente	Preservação de mirceno e humuleno; previne mofo e oxidação.
Condicionamento	20 °C a 25 °C	Equilíbrio (8-10%)	Repouso em câmara escura	Uniformização da umidade; confere flexibilidade mecânica à flor.
Moagem e Pelletização	< 45 °C (com N ₂ /CO ₂)	8,0% – 10,0%	Injeção de gás inerte (N ₂ ou CO ₂)	Previne isomerização prematura e degradação térmica da lupulina.
Embalagem e Estocagem	-1 °C a 5 °C	Parâmetro selado	Vácuo em filme laminado barrier	Inibe a formação de ácido isovalérico e oxidação de ácidos-alfa.

Fonte: Adaptado de Schönberger; Titze (2011) e Ting; Ryder (2017).

2.1. Colheita e Limpeza

Imediatamente após a colheita, as flores devem ser separadas de folhas e galhos através de sistemas de ventilação. A limpeza rigorosa nesta etapa evita a introdução de polifenóis adstringentes e clorofila em excessos provenientes da matéria vegetal verde. A presença de impurezas não apenas reduz a densidade do pellet, mas acelera reações enzimáticas de degradação da matéria orgânica durante o armazenamento (Venturini Filho, 2016).

2.2. Secagem e Condicionamento

As flores frescas contêm cerca de 80% de umidade, nível que favorece a atividade respiratória celular e a deterioração fúngica. A secagem deve ser conduzida com ar aquecido entre 55 °C e 65 °C até que o teor de umidade caia para 8-10% de umidade residual (Schönberger; Titze, 2011). Temperaturas superiores a 65 °C provocam a volatilização drástica do mirceno (óleo responsável por notas frescas e resinosas) e do humuleno, além de causar o endurecimento superficial da flor (*case hardening*). O condicionamento subsequente em repouso permite a migração homogênea da umidade do centro do cone para as brácteas externas. Isso evita o esfarelamento durante a moagem,

garantindo partículas uniformes que formarão um pellet estruturalmente coeso (Venturini Filho, 2016).

2.3. Moagem e Pelletização

O lúpulo condicionado é moído e forçado através de matrizes para formar os pellets (Tipo 90). O atrito mecânico gerado pela prensa aumenta a temperatura interna do material. Para impedir a oxidação imediata dos ácidos-alfa e a polimerização dos óleos, utiliza-se o resfriamento da matriz e a injeção contínua de gás inerte (N_2 ou CO_2) (Ting; Ryder, 2017). A compactação reduz a superfície de contato com o ar ambiente. Um pellet com densidade ideal dificulta a penetração de oxigênio em sua matriz interna, prolongando a estabilidade das resinas.

2.4. Embalagem e Estocagem

A etapa final consiste no selamento hermético em bolsas laminadas sob vácuo com barreira de alumínio. O armazenamento sob refrigeração ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$) é o parâmetro determinante para congelar a cinética química de degradação. A ausência de oxigênio e a baixa temperatura impedem a degradação dos ácidos-alfa em ácidos isovaléricos, compostos voláteis que conferem aroma de queijo rançoso ou suor à cerveja (Ting; Ryder, 2017).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS (até 900 caracteres)

O processamento do lúpulo em pellets consolida-se como uma tecnologia de engenharia agroindustrial indispensável para viabilizar a cadeia produtiva cervejeira. A aplicação de parâmetros térmicos rigorosos e atmosfera modificada minimiza drasticamente a perda de compostos nobres (ácidos-alfa e óleos essenciais). Sob a perspectiva econômica, a pelletização reduz os custos de frete e estocagem em até 70%, além de maximizar o rendimento de amargor durante a brassagem devido à maior área de contato. O domínio dessas variáveis operacionais assegura um insumo padronizado de alta performance sensorial, elevando o valor agregado do cultivo regional.

REFERÊNCIAS

PIMENTA, L. B. *et al.* A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 3, p. 26715, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26715>

SCHÖNBERGER, C.; TITZE, V. The Role of Hops in Brewing. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 117, n. 3, p. 257-267, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00471.x>

TING, P. L.; RYDER, D. S. The bitter, twisted truth of the hop: 50 years of hop chemistry. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 75, n. 3, p. 161-180, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3638-01>

VENTURINI FILHO, W. G. (Coord.). **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1.