

MOAGEM

Data de aceite: 02/01/2025

Flávio Alexandre Carvalho

André Gonzaga dos Santos

Sven Zalewski

Luis Vitor Silva Sacramento

DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA

A moagem (ou cominuição) tem como principal finalidade reduzir o tamanho do material vegetal ou droga vegetal, possibilitando uma extração mais eficiente. A diminuição do tamanho de partícula da droga vegetal aumenta a área de contato superficial superfície específica favorecendo a permeabilidade do solvente nas células vegetais, resultando em maior rendimento no processo extrativo. A moagem pode tornar a droga vegetal homogênea quanto suas características morfológicas e diminuir o volume de material a ser armazenado, em comparação com a droga vegetal íntegra ou rasurada. Entretanto, a moagem pode

favorecer o aumento da absorção da umidade e a contaminação microbiológica, além de diminuir o teor de componentes voláteis e termolábeis (Atkins, 2019; Patel et al., 2017; Simões et al., 2017).

Quando o objetivo da moagem é somente o armazenamento, ela pode ser realizada de forma grosseira inicialmente (pré-moagem), e a moagem mais fina e homogênea (pulverização) é efetuada apenas antes da extração, prevenindo a perda ou degradação de componentes da droga vegetal, como por exemplo, compostos voláteis do óleo essencial (Simões et al., 2010).

A moagem é realizada por forças mecânicas, como o seccionamento (cisalhamento), rasuração (raspagem) e impacto (concussão). O método de moagem geralmente considerado mais eficiente é aquele que produz os menores tamanhos de partículas, gerando o mínimo de calor e utilizando a menor quantidade de energia, atendendo, assim, também aos princípios da química verde, que visa reduzir custos, tempo, consumo energético

e o uso de solventes tóxicos sem prejudicar o método (Atkins, 2019; Patel et al., 2017; Simões et al., 2010; Simões et al., 2017; Anastas e Eghbali, 2010).

O moinho de facas opera com o princípio de seccionamento e é utilizado para materiais secos mais friáveis, como folhas, flores, frutos (dependendo da constituição) e ervas inteiras. Por outro lado, na moagem em moinhos de discos, o princípio de fragmentação é a rasuração. Moinhos de bolas, pinos, martelo e jato de ar utilizam o princípio de fragmentação por impacto, sendo utilizados para moer materiais mais duros, como cascas, raízes e sementes (Simões et al., 2010).

A granulometria da droga vegetal pulverizada deve ser determinada e padronizada na cadeia produtiva de fitoterápicos e fitofármacos, pois pode influenciar a composição química qualitativa ou quantitativa dos extratos vegetais (Simões et al., 2010). A análise granulométrica visa determinar o grau de divisão dos pós, que é expresso pela referência à abertura nominal da malha do tamis utilizado. A Farmacopeia Brasileira, 6ª edição, no seu Volume 1, item 5.2.11 “Determinação da granulometria dos pós”, classifica os pós como grosso, moderadamente grosso, semifino, fino e finíssimo, empregando tamises com abertura entre 1,70 mm e 125 µm (Brasil, 2019).

MÉTODOS DE MOAGEM DAS INFLORESCÊNCIAS DE *C. sativa*

Entre os tipos de moinhos utilizados para as inflorescências de *C. sativa*, os convencionais moinhos de facas e moinhos de bolas são os mais comuns. Outros métodos de pulverização em pequena escala incluem a moagem em moedores para grãos de café, *mixers* e almofarizes. Os moinhos de facas, que têm como princípio de moagem o seccionamento, são recomendados para a moagem de flores (Simões et al., 2010). No entanto, não há uma definição clara do moinho ideal para a moagem das inflorescências secas de *C. sativa*. Neste tipo de equipamento, é fundamental que o teor de umidade da droga vegetal íntegra esteja abaixo de 14 %, não apenas para evitar o crescimento microbiológico durante o armazenamento prévio à moagem, mas também para evitar entupimento ou travamento do moinho (Simões et al., 2017). Conforme a AHP (2014), o teor de umidade máximo recomendado para as inflorescências secas é de 10 %. Além da umidade residual, os componentes lipofílicos das inflorescências de *C. sativa*, como ceras (epiderme) e óleo-resina (tricomas secretores), também podem causar entupimento ou travamento do moinho de facas (Atkins, 2019). Os componentes retidos no interior do moinho podem ser recuperados ao lavar o moinho com etanol, obtendo um extrato concentrado em canabinoides. O método de criomoagem (utilizando nitrogênio líquido em almofariz) é uma opção para minimizar a perda dos componentes retidos em moinhos.

Há moinhos de facas acoplados a um sistema com bomba de vácuo coletando o pó gerado diretamente em um recipiente fechado. Portanto, é um sistema mais eficiente que os demais, pois evita o acúmulo de material no interior do moinho, diminuindo a

contaminação da área de moagem com pó, o que é interessante no processo de moagem das inflorescências de *C. sativa* (Roggen e Grauerholz, 2020).

De acordo com dados de um fabricante de moinhos de facas, as amostras de inflorescências pulverizadas de *C. sativa* com tamanho médio das partículas de 2,0 mm apresentaram maiores teores de canabinoides e de óleo essencial (OE), considerando os tamanhos médios das partículas compreendidos entre 2,0 – 10,0 mm, além de material não moído (Kamble et al., 2019). Ao utilizar o moinho de facas para moer as inflorescências de *C. sativa*, Vági et al. (2020) verificaram que o tamanho médio das partículas foi de 0,3 a 0,5 mm. O tamanho final das partículas na moagem em moinho de facas depende da distância entre a faca e a contra-faca e também da abertura da malha da peneira localizada na saída do pó.

Ao realizar a moagem cíclica das inflorescências de *C. sativa* (quatro moagens subsequentes) utilizando moinho de bolas, Morehouse et al. (2021) observaram que o rendimento das partículas com tamanho médio < 1,25 mm aumentou de 11,2 % na primeira moagem para 60,2 % na quarta moagem, conforme dados da análise granulométrica. Os autores também observaram que o rendimento de CBD total (CBD + CBDA) aumentou conforme aumentou o número de ciclos, pois o tamanho médio das partículas diminuiu a cada ciclo de moagem, além de que esta moagem cíclica não gerou a descarboxilação dos canabinoides ácidos (CBDA e THCA).

A velocidade de rotação é um fator importante na moagem em moinho de facas, conforme Kamble et al. (2019). Na faixa de velocidade de rotação avaliada entre 300 a 3000 rpm, a velocidade de 300 rpm foi considerada a ideal para obter o tamanho médio das partículas de 2,0 mm e evitar a diminuição do rendimento de canabinoides e OE das inflorescências de *C. sativa* (Roggen e Grauerholz, 2020).

Sagili et al. (2023) realizaram a moagem de inflorescências secas por liofilização (24 h) de *C. sativa* por diferentes métodos. As amostras de material pulverizado foram classificadas em três tipos de acordo com o tamanho das partículas: fina (0,25 – 0,5 mm) – moendo em moedor de café, média (0,5 – 2,0 mm) e grossa (2,0 – 4,0 mm), ambas moídas em *mixer*. Os autores observaram que o extrato obtido com partículas finas apresentou maior rendimento (m/m), bem como maiores teores de canabinoides (CBGA, CBD, THCA e THC) e de OE (monoterpenos e sesquiterpenos), em relação aos extratos com partículas médias e grossas. Oduola et al. (2022) moeram as inflorescências de *C. sativa* em moedor para grãos de café obtendo partículas com tamanho médio de 6,0 mm.

Eöry et al. (2001), ao analisarem o teor de THC em inflorescências secas de *C. sativa* moídas em *mixer* na faixa de tamanho de partículas entre 0,063 – 0,8 mm, observaram maior teor de THC nos extratos com partículas entre 0,063 – 0,125 mm. Embora o teor de THC nos extratos com partículas entre 0,125 – 2,0 mm e < 0,063 não apresentassem diferenças significativas, sugere-se que o tamanho ideal de partículas para obter os maiores teores de THC foi de até 2,0 mm.

Em testes de extrações por hidrodestilação realizados com inflorescências de *C. sativa* íntegras e moídas em mixer, foram observados maiores teores de OE nas inflorescências íntegras em até 20 min. Nas extrações de 20 a 80 min as inflorescências moídas apresentaram maiores teores de OE, sugerindo que a moagem facilitou a extração do OE das inflorescências de *C. sativa*. A moagem aumentou significativamente o rendimento de monoterpenos, sesquiterpenos e canabinoides no OE (Zheljazkov et al., 2020).

Brown et al. (2019) realizaram moagem das inflorescências secas de *C. sativa* em almofariz utilizando nitrogênio líquido, obtendo resultados satisfatórios (pó bem fino), segundo os autores.

A moagem convencional interfere na estabilidade dos componentes das amostras, devido a geração de calor, podendo causar a descarboxilação dos canabinoides, evaporação e/ou alteração da composição do óleo essencial, além da degradação de pesticidas contaminantes (Atkins, 2019; Pegoraro et al., 2019). Dessa maneira, a moagem com o material vegetal previamente congelado (criomoagem), através da utilização de ar, dióxido de carbono e nitrogênio resfriados e/ou liquefeitos, assim como a utilização de nitrogênio líquido durante a moagem, evita o aquecimento e a degradação de componentes instáveis termicamente, como os componentes de OE. Os tricomas das inflorescências de *C. sativa* contém monoterpenos e sesquiterpenos, importantes devido a sua ação farmacológica e por conferirem odor característico a droga vegetal e derivados, sendo a criomoagem uma opção para evitar sua perda e degradação (Atkins, 2019; Marzorati et al., 2020).

A utilização de gelo seco (dióxido de carbono) requer três vezes o peso da amostra das inflorescências frescas de *C. sativa* (Patel et al., 2017) para o seu congelamento. Porém, uma alternativa ao congelamento das inflorescências por gases ou gelo seco pode ser o pré-congelamento em ultrafreezer a temperaturas entre -20 à -80 °C, por 24 h antes da criomoagem (Wilczek et al., 2004).

O congelamento das amostras causa encolhimento da estrutura cristalina, criando micro rachaduras, assim necessita-se de menos energia para moer o material vegetal. Portanto, a criomoagem permite obter partículas menores do que os métodos de moagem convencionais, além de reduzir o entupimento causado por material vegetal com altos teores de ceras e óleos (Atkins, 2019). O moinho mais utilizado na criomoagem é o moinho de facas.

Informações da literatura sobre a densidade aparente (ou densidade global) das inflorescências de *C. sativa* são raras. Para as inflorescências secas e pulverizadas, a densidade variou entre 225 – 250 g/L, já a densidade das inflorescências frescas varia entre 1300 – 1500 g/L, enquanto das inflorescências secas entre 100 – 125 g/L (Roggen e Grauerholz, 2020; Grijó et al., 2018). De acordo com estes dados sobre densidade, a moagem pode reduzir o volume de armazenagem em cerca de 50 %.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A moagem da droga vegetal íntegra de cannabis é essencial para realizar com eficiência a extração dos metabólitos secundários bioativos como os canabinoides, componentes do OE e flavonoides das inflorescências de *C. sativa*, devido ao aumento da superfície de contato com o solvente extrator. Também é importante para reduzir o espaço de armazenamento da droga vegetal, em várias circunstâncias.

Alguns cuidados devem ser seguidos na moagem, por exemplo, monitorar a possível formação de produtos de degradação térmica de substâncias termolábeis. A realização da limpeza adequada dos equipamentos é necessária para evitar a contaminação microbiológica e contaminação cruzada com material previamente moído.

Com relação à granulometria da droga vegetal pulverizada, somente um trabalho apresentou sugestão de tamanho médio ideal de partículas das inflorescências de *C. sativa* para obtenção dos maiores teores de canabinoides e de OE, que foi de 2,0 mm. Entretanto, são necessários mais trabalhos científicos para corroborar esta afirmação. O moinho recomendado para a moagem das inflorescências de *C. sativa* é o moinho de facas, devido a suas características ideais para moer materiais friáveis.

Como a secagem reduz o volume e a massa do material vegetal, além de minimizar os riscos de contaminação microbiológica, ou reações enzimáticas e de hidrólise, o ideal para uma escala industrial, seria realizar a moagem convencional em moinho de facas após a secagem das inflorescências de *C. sativa*. O método preconizado para criomoagem requer o congelamento prévio das inflorescências por no mínimo 24 h, e secagem após a trituração. Nesse processo, o fato das inflorescências congeladas não serem liofilizadas anteriormente a moagem, há riscos de degradação e contaminação microbiológica. Na criomoagem também não há redução do peso e volume das inflorescências da *C. sativa*, caso não se proceda a uma secagem subsequente, e além, gera aumento de consumo energético, custo e tempo, o que está em desacordo com os princípios de química verde. A criomoagem apresenta outras desvantagens, como os custos elevados de aquisição de ultrafreezer e dos gases (principalmente de nitrogênio líquido), maior consumo energético, tempo total do processo e riscos de queimaduras e asfixia (Morales, et al., 2017; Anastas e Eghbali, 2010; Wilczek et al., 2004).

REFERÊNCIAS

AMERICAN HERBAL PHARMACOPOEIA. **Cannabis Inflorescence - Cannabis spp: Standards of Identity, Analysis, and Quality Control**. 2014.

ATKINS, P. L. Sample processing and preparation considerations for solid cannabis products. **Journal of AOAC International**, 102, 2, 427-433, 2019.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. 6ª ed. Volume I. Brasília: Agência Nacional da Vigilância Sanitária, 2019.

BROWN, A. K.; XIA, Z.; BULLOCH, P.; IDOWU, I.; FRANCISCO, O.; STETEFELD, J.; STOUT, J.; ZIMME, J.; MARVIN, C.; LETCHER, R. L.; TOMY, G. Validated quantitative cannabis profiling for Canadian regulatory compliance-cannabinoids, aflatoxins, and terpenes. **Analytica Chimica Acta**, 1088, 79-88, 2019.

EÖRY, L.; DÁNOS, B.; VERESS, T. Supercritical fluid extraction of tetrahydrocannabinol from marihuana study of the effect of particle size. **Problems of Forensic Sciences**, 47, 322-327, 2001.

GRIJÓ, D. R.; OSORIO, I. A. V.; CARDOZO-FILHO, L. Supercritical extraction strategies using CO₂ and ethanol to obtain cannabinoid compounds from Cannabis hybrid flowers. **Journal of CO₂ Utilization**, 28, 174-180, 2018.

KAMBLE, A.; BAKAL, P.; PATIL, K. **Novel Dryer cum Grinding Unit: A Thermal Analysis of Herbs Drying**. In: Advances in Fluid and Thermal Engineering: Select Proceedings of FLAME 2018. Springer Singapore, 2019, p. 389-399.

MARZORATI, S.; FRISCIONE, D.; PICCHI, E.; VEROTTA, L. Cannabidiol from inflorescences of *Cannabis sativa* L.: Green extraction and purification processes. **Industrial Crops and Products**, 155, 112816, 2020.

MORALES, I.; KESHAVAMURTHY, J.; PATEL, N.; THOMSON, N. Inert gas asphyxiation: A liquid nitrogen accident. **Chest**, 152, A378, 2017.

MOREHOUSE, Z. P.; RYAN, G. L.; PROCTOR, C. M.; OKPARANTA, A.; TODD, W.; BUNTING, D.; WHITE, T.; PAREZ, S.; MILLER, B.; COLON, V.; EASPARRO, B.; ATWOOD, J.; PARK, Y.; NASH, R. J. A proposed method of sample preparation and homogenization of hemp for the molecular analysis of cannabinoids. **SN Applied Sciences**, 3, 8, 762, 2021.

ODUOLA, A. A.; LUTHRA, K.; ATUNGULU, G. G. Determination of moisture sorption isotherms of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) flower and leaf composite powders. **Industrial Crops and Products**, 186, 115201, 2022.

PATEL, B.; WENE, D.; FAN, Z. Qualitative and quantitative measurement of cannabinoids in cannabis using modified HPLC/DAD method. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 146, 15-23, 2017.

PEGORARO, C. N.; NUTTER, D.; THEVENON, M.; RAMIREZ, C. L. Chemical profiles of *Cannabis sativa* medicinal oil using different extraction and concentration methods. **Natural Product Research**, 35, 1-4, 2019.

POU, K. J.; RAGHAVAN, V. Recent advances in the application of high-pressure processing-based hurdle approach for enhancement of food safety and quality. **Journal of Biosystems Engineering**, 45, 175-187, 2020.

ROGGEN, M.; GRAUEHHOLZ, B. **Optimizing Cannabis extraction yield by precision milling**. Fritsch-us, 2020. Disponível em: < www.fritsch-us.com >. Acesso em: 28 de agosto de 2023.

SAGILI, S. U. K. R.; ADDO, P. W.; MACPHERSON, S.; SHEARER, M.; TAYLOR, N.; PARIS, M.; LEFSRUD, M.; ORSAT, V. Effects of Particle Size, Solvent Type, and Extraction Temperature on the Extraction of Crude Cannabis Oil, Cannabinoids, and Terpenes. **ACS Food Science & Technology**, 3, 1203-1215, 2023.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. In. **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. 7ª ed. Ed. Artmed Porto Alegre, 2017, 486p.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6ª ed. Porto Alegre/Florianópolis: Ed. UFRGS e UFSC, 2010, 1104p.

VÁGI, E.; BALÁZS, M.; KOMOCZI, A.; MIHALOVITS, M.; SZEKELY, E. Fractionation of phytocannabinoids from industrial hemp residues with high-pressure technologies. **The Journal of Supercritical Fluids**, 164, 104898, 2020.

WILCZEK, M.; BERTLING, J.; HINTEMANN, D. Optimised technologies for cryogenic grinding. **International Journal of Mineral Processing**, 74, S425–S434, 2004.

ZHELJAZKOV, V. D.; SIKORA, V.; SEMERDJIEVA, I. B.; KACÁNIOVÁ, M.; ASTATKIE, T.; DINCHEVA, I. Grinding and fractionation during distillation alter hemp essential oil profile and its antimicrobial activity. **Molecules**, 25, 17, 3943, 2020.