

## Adesão de leite em pó em uma superfície de aço inoxidável

### Adhesion of milk powder on a stainless steel surface

DOI:10.34117/bjdv7n8-312

Recebimento dos originais: 12/07/2021

Aceitação para publicação: 12/08/2021

#### **Jeferson da Silva Correa Junior**

Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Laranjeiras do Sul

E-mail: jef.correa2609@gmail.com

#### **Marcieli Karina Rodrigues**

Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Laranjeiras do sul

E-mail: marcieli.karina@gmail.com

#### **Raquel Borin**

Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos

E-mail: raquelborin87@gmail.com

#### **Marcos Alceu Felicetti**

Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Laranjeiras do sul

E-mail: marcos.felicetti@uffs.edu.br

### **RESUMO**

O objetivo desta pesquisa foi investigar a influência do tamanho das partículas do material pulverulento orgânico sobre a força de adesão partícula superfície, utilizando a técnica centrífuga para diferentes velocidades de compressão e desprendimento e em diferentes superfícies. Uma centrífuga (marca Hettich, modelo Rotina 380), cuja velocidade máxima de rotação era de 10000 rpm foi utilizada para promover a compressão e o desprendimento de partículas orgânicas sobre uma superfície plana. O tempo de aplicação das forças de compressão (press-on) foi de um minuto para cada velocidade angular testada. Este mesmo tempo (1 minuto) foi utilizado na descompressão (spin-off) para as diferentes velocidades. Pode-se concluir que força de adesão entre a partícula do material orgânico e a superfície do substrato apresentou comportamentos lineares para todas as faixas de diâmetros estudadas. Um programa de análise de imagens (Image-Pro Plus 6.0) foi empregado para monitorar, após cada aumento da velocidade angular o número de partículas aderidas e desprendidas sobre a superfície plana. O material pulverulento orgânico utilizado foi o leite em pó.

**Palavras-Chave:** Adesão, Interação Partícula/Superfície, Técnica Centrífuga, Compressão, Descompressão.

### **ABSTRACT**

The objective of this research was to investigate the influence of the particle size of the organic powder material on the particle-surface adhesion strength, using the centrifugal technique for different speeds of compression and detachment and on different surfaces.

A centrifuge (Hettich brand, model Routine 380), whose maximum rotation speed was 10000 rpm was used to promote the compression and detachment of organic particles on a flat surface. The application time of the compression forces (press-on) was one minute for each angular speed tested. This same time (1 minute) was used in the decompression (spin-off) for the different speeds. It can be concluded that the adhesion force between the organic material particle and the substrate surface showed linear behavior for all diameter ranges studied. An image analysis program (Image-Pro Plus 6.0) was employed to monitor, after each increase in angular velocity, the number of adhered and detached particles on the flat surface. The organic powder material used was powdered milk.

**Keywords:** Adhesion, Particle/Surface Interaction, Centrifugal Technique, Compression, Decompression.

## 1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

A adesão pode ser compreendida como atração entre dois corpos sólidos com superfícies de contato comuns e produzida pela existências de forças atrativas intermoleculares de ação a curta distância. (Charlaix e Crassous, 2005). A adesão entre materiais pulverulentos (pós) e superfícies são fatos decorrentes de inúmeros processos alimentícios. Ao mesmo tempo em que esse efeito é desejado em alguns processos industriais, ele também pode ser indesejada como em indústrias de alimentos, medicamentos e principalmente em tubulações, ocasionando a redução da eficiência da produção. Quando se trata de processamentos de pós é importante conhecer suas características, uma vez que a natureza e o grau de interação entre estas determinam as propriedades do pó.

Hoje em dia, há várias técnicas experimentais e métodos diferentes eu foram desenvolvidos, durante anos, para medir a força de adesão entre partículas e uma superfície (Krupp, 1967; Boehme, Krupp, Rabenhorst e Sandstede, 1962; Lodge, 1983), entre esses métodos, a técnica centrífuga vem sendo utilizada (Otsuka, Iida, Danjo e Sunada, 1988; Booth e Newton, 1987; Otsuka, Iida, Danjo e Sunada, 1983; Podczec et al., 1995; Shimada et al., 2000; Zhou et al., 2003 e Takeuchi, 2006). Essa técnica tem grande vantagem por poder determinar a força de adesão entre partículas reais de formas regulares e irregulares em superfícies lisas ou rugosas. A técnica centrífuga permite determinar a força de adesão, através da distribuição da força adesiva dentro de um grupo grande de partículas (incluindo até 100 partículas) sobre um substrato, em uma única medida (Böehme et al., 1962). Essa técnica consiste em analisar a velocidade de rotação da centrífuga e monitorar o tamanho e a percentagem de partículas desprendidas, para que a força de adesão entre as partículas e a superfície dos discos seja determinada.

Assim, esse projeto de pesquisa tem como justificativa a grande importância no auxílio de dimensionamento de equipamentos industriais e de conhecimento de domínio próprio. Além disso, será importante analisar a força de adesão do leite em pó para futuras e oportunas aplicações industriais.

## **2 OBJETIVOS**

Investigar a influência do tamanho das partículas do material pulverulento orgânico (leite em pó) sobre a força de adesão partícula superfície, utilizando a técnica centrífuga para diferentes velocidades de compressão e desprendimento e em diferentes superfícies.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS/METODOLOGIA**

### **MATERIAIS**

Para a execução desse projeto de pesquisa foi utilizada uma centrífuga, cujo rotor tinha dois adaptadores, especialmente construídos, que permitiram a deposição das partículas no disco de prova (substrato) perpendicularmente ao eixo de rotação da centrífuga. De acordo com a velocidade de rotação da centrífuga, foi monitorado o tamanho e a percentagem das partículas desprendidas, para que a força de adesão entre as partículas e a superfície dos discos seja determinada. Também foi utilizado outro equipamento tal como um microscópio óptico para tirar as fotos. Essa foto será analisada por um analisador de imagens e posteriormente será determina a força de adesão entre a partícula e superfície.

## **4 METODOLOGIA**

O material pulverulento foi armazenado em dessecadores com sílica gel, antes da realização dos experimentos, para manter a umidade deste pó sempre baixa, já que, para pós secos, as forças de Van der Waals são as forças predominantes na determinação da força de adesão. Após controle da umidade relativa do ar abaixo de 50% e da dispersão uniforme das partículas pulverulentas sobre a superfície do disco de prova, o disco foi acomodado no adaptador e no tubo, e em seguida foi centrifugado. O disco foi disposto no equipamento de forma que a força centrífuga comprimiu as partículas sobre a superfície. Esta força de compressão, também denominada de press-on foi aplicada sobre o disco de prova nas velocidades de rotação de 1000, 5000 e 10000 rpm. Depois da compressão das partículas, os discos de prova foram analisados no microscópio para a

realização de captura de imagens da dispersão das partículas pulverulentas sobre a superfície do disco de prova pela câmera. Em seguida, os discos foram levados novamente a centrífuga, porém em posição invertida da etapa de press on, para o desprendimento das partículas pulverulentas (spin-off). As forças de spin-off aplicadas sobre os discos foram nas velocidades de rotação de 2000, 4000, 6000, 8000 e 10000 rpm respeitando a ordem crescente e para força de compressão. Depois da aplicação de cada velocidade de descompressão, os discos foram novamente analisados no microscópio e as imagens serão capturadas pela câmera digital para posterior análise pelo software. O tempo de aplicação das forças de compressão (press-on) e descompressão (spin-off) foi de 1 minuto. E por último essas imagens foram analisadas em um programa analisador de imagem e separadas por faixa de diâmetro para mostrar a força de adesão e a porcentagem de partículas desprendidas e suas influências.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em primeira instância, o projeto teve como intuito investigar a influência das partículas sobre o substrato em diferentes forças, utilizando a técnica centrífuga. Essa pesquisa também proporcionou estudar a força de adesão da partícula de leite em pó ( $\rho = 0,97 \text{ g/cm}^3$ ) frente ao substrato de aço de inox. Em segunda instância foi realizado uma análise quantitativa para investigar a influência do tamanho da partícula, através do seu diâmetro médio e da pressão aplicada pelo contato, por uma velocidade angular, utilizando uma centrífuga. O material orgânico utilizado foi o leite em pó industrializado.

Os substratos utilizados foram fabricados em aço inoxidável.

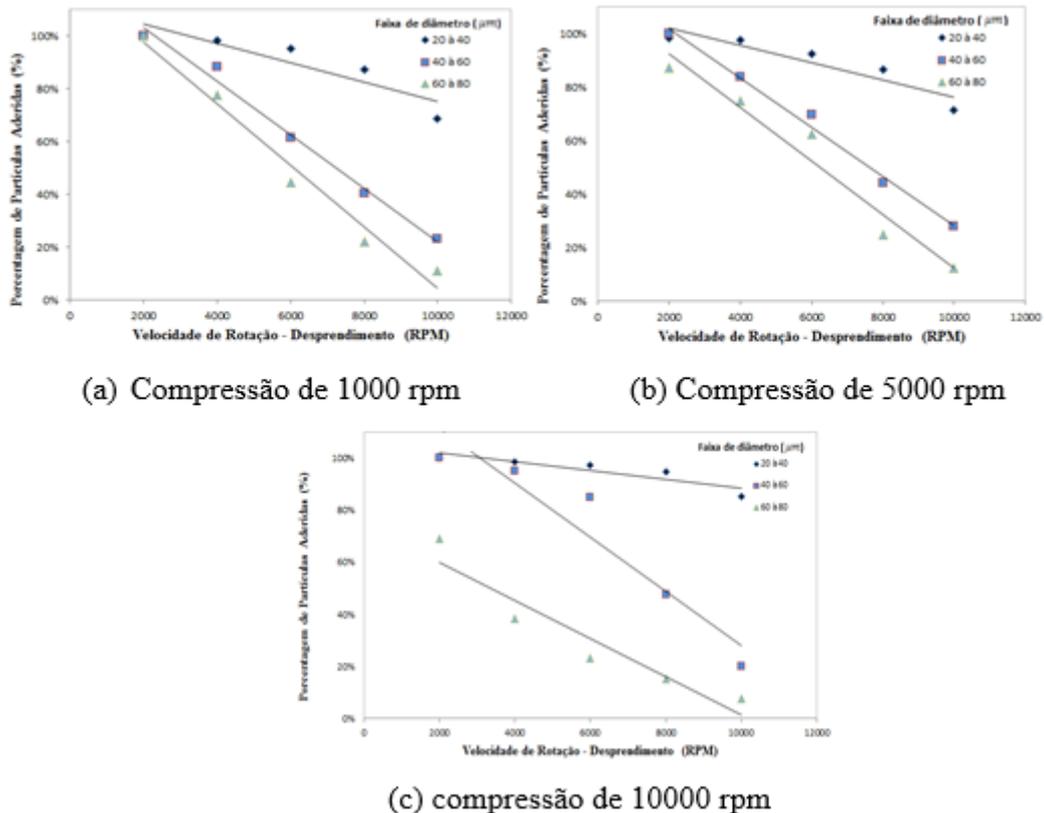
Após a aplicação da metodologia descrita no item 3, foram obtidos resultados e construídos gráficos de porcentagem de partículas aderidas na superfície do substrato em função das velocidade de rotação da centrífuga. Em seguida, foi construído outro gráfico de porcentagem de partículas aderidas em função da força de adesão para o pó orgânico investigado nesta pesquisa.

### DETERMINAÇÕES DA PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS ADERIDAS EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO

Para cada velocidade de compressão (1000, 5000 e 10000 rpm), foi realizado as velocidades de desprendimento de 2000, 4000, 6000, 8000 e 10000 rpm. Com isso, foi possível analisar o despedimento das partículas em cada velocidade de spin-off, levando em consideração seu diâmetro médio. O diâmetro foi analisado em 3 faixa, sendo de 20

à 40 , 41 à 60 e de 61 à 80 micrômetros. Os resultados obtidos podem ser observados na figura abaixo:

Figura 4.1 – Porcentagem de partículas de leite em pó aderidas na superfície do substrato de aço inoxidável, em função das velocidades de desprendimento (spin-off), após a aplicações de descompressões de 1000, 5000 e 10000 rpm.



A Figura 4.1 apresenta três gráficos que revela a porcentagem de partículas aderidas no substrato em função das velocidades de desprendimento (spin-off) após a aplicação de todas as forças centrífugas de compressão (press-on) proposto nesse trabalho. Observa-se que, com o aumento da velocidade angular de desprendimento, a porcentagem de partículas pulverulentas aderidas na superfície diminuiu até que todas ou quase todas as partículas são desprendidas após a aplicação da força centrífuga spin-off de 10000 rpm. É possível observar também, que não só diminui a quantidade de partículas desprendidas com o aumento da descompressão (spin-off), mas que o tamanho das partículas também influenciam no desprendimento. A distância entre a rugosidade de uma partícula e uma superfície está relacionada através da verdadeira área de contato. Por que quanto menor for a área de contato, menor será o contato entre as rugosidades das superfícies envolvidas, e conseqüentemente, menores serão as forças de Wan der Vaals (Felicetti, 2008). Assim, as partículas maiores não tem contato direto com a superfície de

contato do substrato, devido o material de aço inoxidável ter uma nanorugosidade (47,86 nm), que impede que as partículas maiores fiquem retidas no substrato com o aumento da velocidade angular.

O gráfico ainda revela que com o aumento da compressão as partículas menores (20 – 40  $\mu$ m) tiveram um maior contato com o substrato, e consequente tiveram maiores aderência, ou seja, uma maior força de adesão. Esse resultado se assemelha para as outras duas faixas de diâmetro (41 – 60 e 61 – 80  $\mu$ m), porém não tão significativamente, pois essas não apresentavam tanto contato com o substrato, tendo assim uma baixa força de adesão.

#### DETERMINAÇÕES DA PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS ADERIDAS EM FUNÇÃO DA FORÇA DE ADESÃO

Com os cálculos obtidos da força de adesão para as três faixas de diâmetro das partículas de leite em pó estudada, foi possível gerar gráficos que apresentam a porcentagem de partículas aderidas do pó orgânico em função da força de adesão para cada velocidade centrifuga de compressão (1000, 5000 e 10000 rpm). Entretanto, a força de adesão foi calculada da seguinte forma:

$$F_{\text{centrífuga}} = -F_{\text{adesão}}$$

Sendo a força centrífuga:

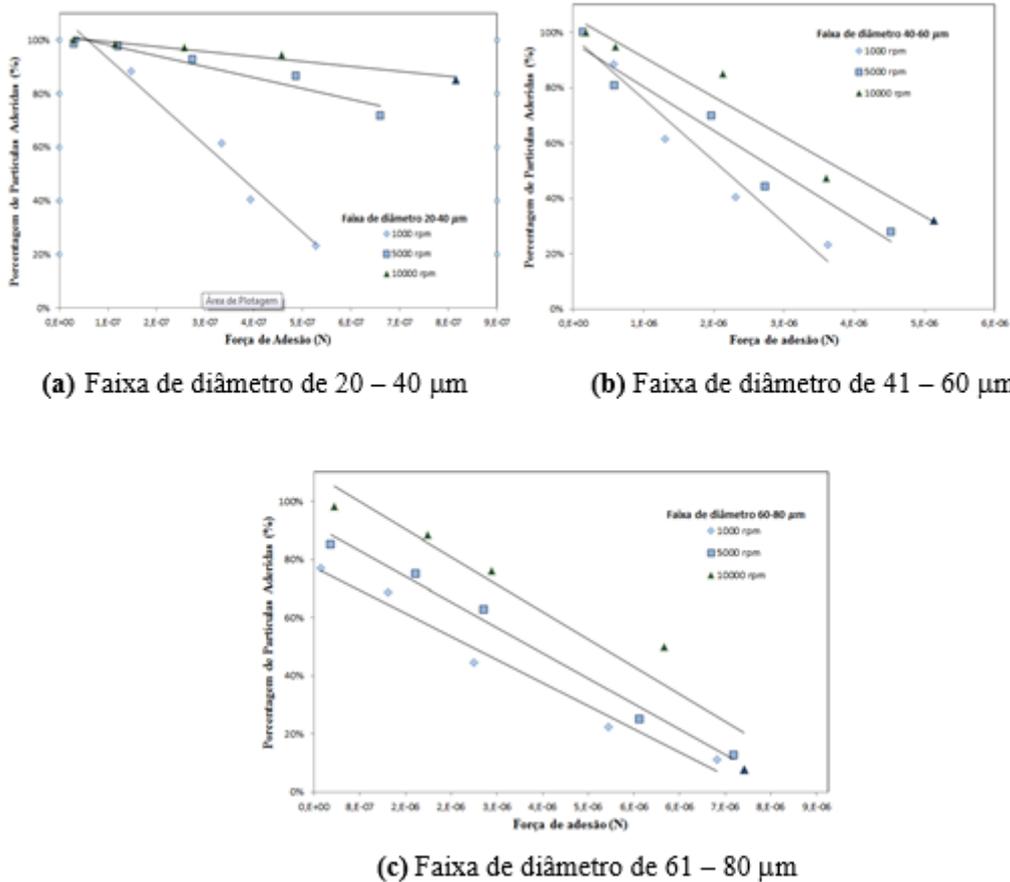
$$F_{\text{centrífuga}} = m \cdot w^2 \cdot r$$

m  $\equiv$  Massa da partícula.

w  $\equiv$  Velocidade angular.

r  $\equiv$  Distância do centro do rotor até a partícula.

Figura 4.2 - Porcentagem de Partículas aderidas de substrato orgânico leite em pó aderido na superfície do substrato de aço inoxidável, em função da força de adesão após a aplicação da força centrífuga de compressão 1000, 50000 e 10000 rpm.



É possível observar nas figuras que a força de adesão apresentou um comportamento linear para cada faixa de diâmetro estudada do material orgânico. Isto quer dizer que a força de adesão entre partícula e a partícula substrato aumentou para cada aplicação da força centrífuga de compressão adotada. Também é possível observar que, as partículas com menor diâmetro obteve uma maior força de adesão em todas as forças aplicadas de compressão, tendo assim, um desprendimento menor quando comparados com a outra faixa de diâmetro maiores.

A faixa de diâmetro maior teve um comportamento próximo ao das faixas menores na Figura 4.2.c, devido à grande força de compressão (press-on), que permitiu que as partículas tivesse um maior arranjo, tendo um grande contato com a área da superfície do substrato, aumentando assim, as forças de Van der waals. A distância entre a rugosidade das superfícies tem um efeito sobre o comportamento de separação das partículas aderidas na superfície do substrato (Zimon, 1982). Assim, obteve uma maior aderência quando comparada com a figura a, na faixa de 61 – 80  $\mu\text{m}$ , que teve um grande desprendimento

de partículas devido a uma menor força de compressão. Fica evidente que a força de adesão aumenta e o desprendimento diminui em todas as faixas quando há uma grande força centrífuga de compressão.

## **6 CONCLUSÃO**

Torna evidente, portanto, que a força de adesão entre a partícula do material estudado e a superfície do substrato apresentou comportamentos lineares para todas as faixas de diâmetro estudada do material orgânico leite em pó. Além disso, foi possível observar que com o aumento da força de compressão (press-on) as partículas de todas as faixas tiveram comportamento similares em relação ao seu desprendimento quando comparados a forças menores aplicadas. Com isso, fica claro que a granulometria tem influência direta na força de adesão entre partícula e a superfície do substrato. Mas que a aplicação da força centrífuga de compressão também tem influencia sobre a força de adesão, o que garante a eficácia da técnica centrífuga e a validação de todos os resultados apresentados nesta pesquisa.

## **FINANCIAMENTO**

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## REFERÊNCIAS

BÖEHME, G., KRUPP, H., RABENHORST, H. and SANDSTEDT G., “Adhesion measurements involving small particles”. *Trans. Inst. Chem. Eng.* v.40, p.252 - 259, 1962.

BOOTH, S. W. and NEWTON, J.M., “Experimental investigation of adhesion between powders and surfaces”. *Journal of Pharmaceutical and Pharmacology.* v.39, p.679 - 684, 1987.

CHARLAIX, E. and CRASSOUS, J., “Adhesion forces between wetted solid surfaces”. *The journal of Chemical Physics,* v. 122, n° 184701, p. 1 - 9, 2005.

FELICETTI, MA. “Investigação da influência do tamanho das partículas de materiais pulverulentos sobre a força de adesão em diferentes substratos aplicando a Técnica Centrífuga” [internet]. 2008. [Acesso em: 14 fev. 2020]. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3856/1719.pdf?sequence=1>.

LODGE, K. B., “Techniques for the measurement of forces between solids”, *Adv. Colloid Interface Sci.*, v. 19, p. 27, 1983.

KRUPP, H., “Particle adhesion theory and experiment”, *Adv. Coll. Interface Science,* v.1, n.2, p. 111 - 239, 1967.

PODCZECK, F., NEWTON, J.M., “Development of an ultracentrifuge technique to determine the adhesion and friction properties between particles and surfaces”. *J. Pharmaceutical sciences,* v.84, n.9, p. 1067 - 1071, 1.

OTSUKA, A., IIDA, K., DANJO, K. and SUNADA, H.; “Measurement of the Adhesive Force between Particles of Powdered Organic Substances and a Glass Substrate by Means of the Impact Separation Method, I, Effect of Temperature”, *Chem. Pharm. Bull.*, 31, p. 4483, 1983.

TAKEUCHI, M., “Adhesion forces of charged particles”. *Chemical Engineering Science,* v.61, n.7, p. 2279 – 2289, 2006.