



SCALE-UP PARA DESENVOLVIMENTO E MELHORIA DE FERTILIZANTES FOLIARES.

W. M. ROCHA¹, F. G. PORTO^{1,2}, J. C. PEREIRA¹

¹SATIS- Satis Indústria e Comércio Ltda – Araxá – MG

²Universidade Federal de Uberlândia, PPGEQ- Doutorado em Engenharia Química
e-mail: welissonmrocha@gmail.com

RESUMO – Após solicitação de aprimoramento de formulação de um fertilizante, foi definido o uso da teoria de Scale-UP, pois apenas o cálculo de aumento de volume não era o suficiente para aprimorar a formulação. Com o uso da teoria foi identificado que para aumento do volume seria necessário o dimensionamento do diâmetro reator, impelidor e velocidade de agitação. Assim foi realizado um experimento transferindo de escala laboratorial para piloto, aumentando de 1 para 10 L. Após realização de cálculos, foi identificado que para o produto em escala piloto chegar próximo aos resultados de laboratório, deveria aumentar a área do impelidor em 46,43 % utilizando-o junto ao reator de 10 L presente no laboratório de Inovação e Qualidade da Satis. Para o reator de 10 L o diâmetro foi aumentado em 42,91 % comparando-o ao de 1 L. Sendo assim foi possível validar o método para desenvolvimento e melhoria de produtos, atingindo o objetivo de dimensionar um fertilizante de escala laboratorial para piloto.

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes de modo geral são essenciais para o desenvolvimento de plantas, e tem como definição, qualquer substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas. (Brasil, 2004)

Atualmente o Brasil é o maior exportador de fertilizantes do mundo e o quarto maior consumidor, isso se define pela grande necessidade de nutrição em solos brasileiros. Deste modo a Satis empresa de fertilizantes foliares busca sempre estar inovando em seus produtos para suprir essa necessidade de nutrição vegetal.

No entanto para esses desenvolvimentos a dificuldades de transferência de escala, de um produto em desenvolvimento em laboratório para a indústria, e como alternativa a teoria de Scale-UP se tornou uma opção, visando o aumento de escala mantendo os mesmos padrões encontrado em laboratório. (Manfroi, 2022)

O Scale-UP é um procedimento baseado na observação experimental de um fenômeno em pequena escala. Ao finalizar uma pesquisa química na bancada, as primeiras experiências devem ser conduzidas em escala piloto, onde normalmente se conduzem testes de variados volumes, em tanques com motor de velocidade variável e dinamômetro para aferir frequência de rotação, potência e torque, sendo estes os mesmos fatores observados em bancada, sendo assim possível dimensionar os valores desejados, para que o produto final em grande escala venha a ser igual ou próximo ao produzido em bancada. (Villarreyes, 2022)

O objetivo deste projeto é realizar o escalonamento de escala laboratorial para planta piloto de um fertilizante foliar da Satis, e validar a metodologia de Scale-UP para desenvolvimento e aprimoramento de produtos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os equipamentos utilizando nesta pesquisa foram: i) Agitador de bancada; ii) Impelidor tipo cawless; iii) Balança analítica Gehaka, modelo BK3000.

Para transformação de escala os seguintes parâmetros foram considerados:

- Potência do motor de agitação.
- Medida do impelidor.
- Medida do reator.
- Rotações por minuto (RPM).

O volume a ser transformado é de 1 L para 10 L de produto, sendo assim o fator de escala volumétrico (Λ) é de $\frac{1}{10}$, apresentando um volume 10 vezes maior.

As dimensões do reator utilizado em bancada são de 11,5 cm de diâmetro e 15 cm de altura para 1 L, o reator para escala piloto possui 26,8 cm de diâmetro e 38,5 cm de altura para 20 L, no entanto esse reator foi utilizado para 10 L de produto.

O impelidor de cawless utilizado no reator de 1 L tem 5,21 cm de diâmetro, contudo para utilização em 10 L, o mesmo não seria suficiente para manter a mesma agitação, sendo assim foi dimensionado um impelidor para uso em 10 L utilizando os seguintes cálculos.

$$F = \sqrt[3]{\Lambda} \quad (1)$$

F = Fator de escala

Λ = Fator de escala volumétrica

Deste modo foi possível calcular as dimensões ideais para 10 L, tanto para o reator quanto impelidor, sendo o fator de escala igual ao diâmetro utilizado dividido pelo diâmetro desejado.

$$F = \frac{d_i}{d_f} \quad (2)$$

F = Fator de escala

d_i = Diâmetro utilizado (cm)

d_f = Diâmetro desejado (cm)

O comportamento do fluido com o impelidor pode ser aferido pela equação adimensional de Reynolds:

$$Nre = \frac{N \cdot \rho \cdot (d)^2}{\mu} \quad (3)$$

N = velocidade de agitação (RPS)

ρ = Densidade

μ = viscosidade

d = Diâmetro do impelidor

Para cálculo de vazão (Q), as seguintes formulas foram utilizadas.

$$Q = V_a \cdot (A_t - A_i) \quad (4)$$

A_t = Área do reator (m)

A_i = Área do impelidor (m)

V_a = Velocidade do fluido (m/s)

$$Q = N \cdot Nq \cdot d^3 \quad (5)$$

N = velocidade de agitação (RPS)

Nq = Numero de bombeamento

D = diâmetro do impelidor (m)

O número de bombeamento é tabelado para cada impelidor, no entanto é possível aferir seu valor utilizando o gráfico demonstrado na figura 1.

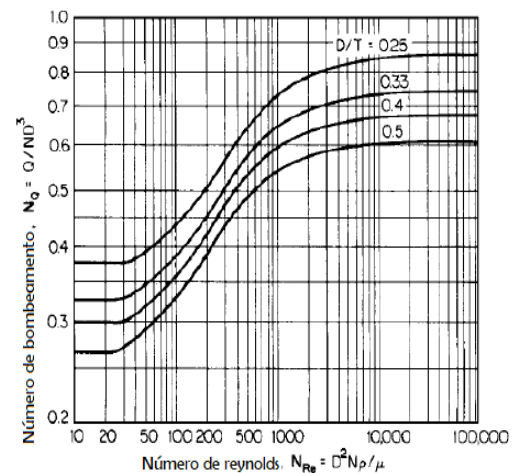


Figura 1: Número de bombeamento em função do número de Reynolds.

Desta forma foi possível dimensionar o tamanho do impelidor para agitação de 10 L e a velocidade de agitação a ser utilizada com as novas dimensões, tanto do impelidor quanto do aumento de volume.

Após dimensionamento, foi realizado o teste de transferência de volume, para produção do produto foi quantificado a massa de cada matéria prima e seguiu a sequência de adição igual a utilizada em laboratório e escala industrial, finalizando assim o teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando atender as necessidades da indústria, em que o produto ocorre separação de fases de 10 %, foi realizado testes em laboratório, que em um reator de 1 L foi solucionada a necessidade.

Assim, com resultado positivo em laboratório, foi realizando um teste para 1000 L na indústria com a mesma formulação e parâmetros utilizados para 1 L, no entanto, o produto teve 50% de separação de fase. Dessa forma, foi determinado o uso da metodologia de Scale-UP, para dimensionamento correto do escalamento de volumes, sendo realizado o primeiro teste após estudo da teoria em um reator com capacidade de 10 L.

$$F = \sqrt[3]{\Lambda}$$

$$F = \sqrt[3]{\frac{1}{10}}$$

$$F = \frac{1}{2,1544}$$

Cálculo das dimensões necessárias para reator e empelidor para volume de 10 L.

$$\frac{1}{2,1544} = \frac{11,5}{dp}$$

$$\frac{1}{2,1544} = \frac{5,21}{dp}$$

Desta forma para obtenção dos mesmos resultados do produto de 1 L e necessário um reator de 24,77 cm e um impelidor de 11,22 cm de diâmetro. Após definição da dimensão do impelidor, foi solicitado a empresa Interfer para produção do mesmo, a figura 2 demonstra o impelidor para 1 L, e a figura 3 o impelidor fabricado pela Interfer para 10 L.



Figura 2: Impelidor tipo Cawless de 5,21 cm de diâmetro.



Figura 3: Impelidor tipo Cawless de 11,22 cm de diâmetro.

Para o reator, foi utilizado um existente no laboratório de Inovação e Qualidade da Satis, com 26,8 cm de diâmetro.

Após determinação das dimensões, foi determinado o número de rotações por minuto (RPM), o mesmo foi calculado descobrindo a vazão e velocidade do fluido (V_a) no reator de 1 L.

$$N = 800 \text{ RPM para 1 L}$$

$$N = 13,33 \text{ RPS}$$

$$rq = 0,26 \text{ (Valor tabelado)}$$

$$Q_1 = rq \cdot N \cdot d^3$$

$$Q_1 = 0,26 \cdot 13,33 \cdot (0,052)^3$$

$$Q_1 = 4,9 \times 10^{-4}$$

$$Q_1 = V_a \cdot (A_t - A_i)$$

$$V_a = \frac{Q_1}{A_t - A_i}$$

$$V_a = \frac{4,90 \times 10^{-4}}{0,01 - 2,132 \times 10^{-3}}$$

$$V_a = \frac{4,90 \times 10^{-4}}{7,868 \times 10^{-3}}$$

$$V_a = 0,0623 \text{ m/s}$$

Tendo em vista a velocidade do fluido para 1 L, o dimensionamento de velocidade de agitação partiu dela, pois, tem a necessidade de manter a mesma ação da velocidade encontrada para reator de 1 em 10 L. Deste modo foi calculado a vazão para o novo reator, posteriormente foi possível calcular a velocidade de agitação, chegando assim o valor ideal de agitação para 10 L.

$$Q_2 = 0,0623 \cdot (0,056 - 2,132 \times 10^{-3})$$

$$Q_2 = 3,356 \times 10^{-3}$$

$$N_2 = \frac{Q}{r \cdot d^3}$$

$$N_2 = \frac{3,356 \times 10^{-3}}{0,26 \cdot (0,112)^3}$$

$$N_2 = 9,187 \text{ RPS}$$

Ou

$$551,22 \text{ RPM}$$

Sendo assim após realização de cálculos de dimensionamento, encontramos que para produção de 10 L de um fertilizante necessitamos de um impelido de 11,22 cm de diâmetro, sendo este 46,43 % maior que o utilizado em laboratório.

Para velocidade de agitação ocorre o efeito contrário ao diâmetro do impelidor que havia aumentado, reduzindo de 800 RPM para 551,22 RPM.

Os resultados foram satisfatórios, pois conseguimos chegar aos resultados de escala industrial, obtendo 10 % de separação de fases, assim sendo validado o método para futuros testes em escalas de planta piloto. A figura 4 demonstra o produto em produção, utilizando o novo impelidor.



Figura 4: Fertilizante em produção com novo impelidor.

CONCLUSÃO

O objetivo do projeto foi atingido, dimensionando parâmetros que interferem no aumento de volume em um reator. Foi possível verificar a real importância do método de Scale-Up no aumento de produção, aumentando a efetividade no desenvolvimento de novos produtos.

Para futuros projetos, será realizado experimentos para escalonamento em diferente impelidores, e trazer o mesmo resultado do laboratório para a indústria.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. (1980), Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento secretaria de defesa agropecuária, 61 ed, Brasília, DF.
- MANFROI, C. (2022), Fertilizantes em 2022: mercado, manejo, plano nacional e importação, Agronegócio Produtor agrícola, Goiânia, GO.
- PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (1973) Chemical Engineers' Handbook. 5. ed. Perry, R.H.; Chilton, C. H. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha.
- SULAYMON, A. H. (2012), Scale-UP of Electrochemical Reactors, Intech open science, chapter 9, p.189-202.
- VILLARREYES, J. A. M. (2022), Teoria da Escala e Scale-UP em Engenharia Química, Associação Brasileira de

Engenharia Química, p.1-76, São Paulo
- SP.