

## **ESTUDO PARA MELHORIA DO ÍNDICE TÉCNICO DE CONSUMO DE AMÔNIA NO GRANULADOR PARA PRODUÇÃO DO FERTILIZANTE 03.17.00**

Maria Eduarda Masson<sup>1</sup>; Felipe Bueno Rodrigues de Souza<sup>1</sup>; Mauro Luiz Begnini<sup>1</sup>; Ana Paula Silva Capuci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Uberaba

Autor correspondente: [mauro.begnini@uniube.br](mailto:mauro.begnini@uniube.br)

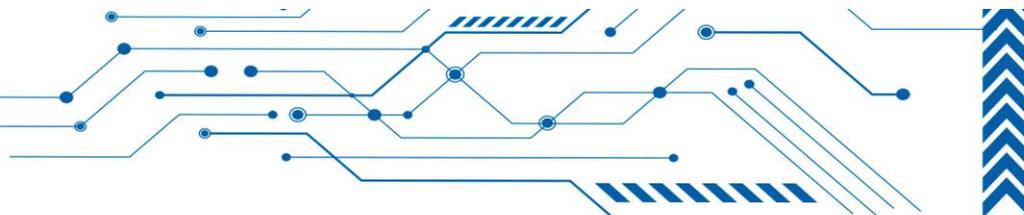
### **RESUMO**

Os fertilizantes desempenham um papel fundamental na agricultura, sendo essenciais para garantir a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Eles fornecem nutrientes vitais às plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, que são essenciais para o seu crescimento e produção de alimentos. Este artigo tem como objetivo estudar um processo de fabricação do fertilizante de formulação 03-17-00, a qual indica a concentração em NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), produto que durante as produções acompanhadas apresentou índices técnicos de consumo de amônia acima dos esperados. Para detectar o porquê do consumo exacerbado de amônia, estudou-se possíveis desvios de projeto e desvios de processo. Teve-se como finalidade encontrar uma faixa ideal de operação, a qual atenda aos parâmetros de concentração final e os parâmetros de consumo de insumos no processo, resultado o qual foi encontrado mediante análise de dados fornecidos e serão aplicados nas próximas campanhas.

Palavras-chave: Fertilizante; Amônia; NPK; Granulador.

---





## ABSTRACT

Fertilizers play a fundamental role in agriculture, being essential to guarantee the productivity and sustainability of agricultural systems. They provide plants with vital nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium, which are essential for their growth and food production. This article aims to study a manufacturing process for fertilizer formulation 03-17-00, which indicates the concentration in NPK (Nitrogen, phosphorus, and potassium), a product that during the monitored productions presented technical indices of ammonia consumption above the expected. To detect the reason for the exacerbated consumption of ammonia, possible design deviations and process deviations were studied. The aim was to find an ideal operating range, which meets the final concentration parameters and input consumption parameters in the process, a result which was found through analysis of data provided and will be applied in the next campaigns.

Keywords: Fertilizer; Ammonia; NPK; Granulator.

---

## 1. INTRODUÇÃO

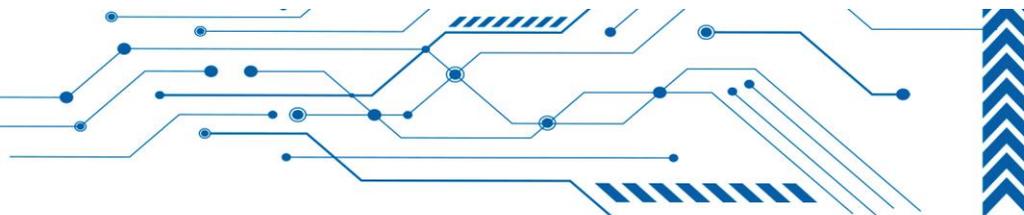
A humanidade tem dependido da colheita e da caça como fontes de alimentação desde as primeiras civilizações. Segundo Cunha (2017), inicialmente utiliza-se recursos em uma determinada região e, quando havia escassez, procurava-se para outra região. Com o aumento da população e a escassez cada vez maior de novas regiões, desenvolvemos métodos para garantir nosso alimento, como a agricultura familiar e a criação de rebanhos próximos a rios. Esses métodos proporcionaram maior estabilidade, levando ao desenvolvimento de comunidades próximas a essas áreas (Cunha, 2017).

No entanto, ao longo do tempo, a produção de alimentos aumentou proporcionalmente à crescente população, o que resultou na escassez de nutrientes no solo. Mesmo mudando de região, o problema se repetia rapidamente. Foi observado que o solo precisava de descanso ou troca de cultura, o que levou ao surgimento dos primeiros métodos de fertilização do solo.

Os fertilizantes são nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas e são absorvidos por elas durante o crescimento. Conforme citado por Harold F. Reetz, os primeiros estudos sobre fertilizantes foram realizados por Carl Sprengel e Justus von Liebig. Eles estabeleceram a Lei do Mínimo, que afirma que a produtividade das plantas é proporcional à quantidade do nutriente mais limitante disponível no solo. Com base nesse conceito, desenvolveram os primeiros fertilizantes minerais (Harold F. Reetz, 2017).

A fertilidade do solo depende de princípios biológicos, químicos e físicos, e cada caso requer um estudo específico. Existem diferentes tipos de solos, influenciados pela rocha mãe, intempéries, profundidade e tempo de formação. A maioria dos solos apresenta fertilidade moderada, e para atingir níveis de produtividade necessários atualmente, é necessário adicionar fertilizantes para suprir as deficiências regionais.





Os fertilizantes são classificados como primários, secundários e micronutrientes. Os nutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio) ainda são os mais utilizados no mercado, geralmente na forma de grânulos. Os nutrientes secundários e os micronutrientes estão se tornando limitantes em muitos solos devido à aplicação significativa dos nutrientes primários (Harold F. Reetz, 2017)

A produção de fertilizantes envolve diferentes processos, dependendo do tipo de nutrientes. Os fertilizantes mais utilizados são os que contêm os nutrientes primários e geralmente são apresentados na forma de paletes ou grânulos.

Segundo site da companhia Mosaic, para a produção de fertilizantes nitrogenados, a amônia é sintetizada a partir do ar como fonte de nitrogênio e gás natural como fonte de hidrogênio, em altas temperaturas e pressões. A partir da amônia, ocorrem reações com ácido nítrico e ácido sulfúrico para formar o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, respectivamente. Também é mencionada a síntese da ureia, que utiliza amônia e dióxido de carbono em altas temperaturas e pressões.

Em relação aos fertilizantes fosfatados, são os fosfatos calcinados e termofosfatos, obtidos a partir de rochas fosfáticas submetidas a tratamentos térmicos em diferentes temperaturas. Por sua vez, a produção de fertilizantes potássicos envolve a extração de minérios potássicos, concentração, purificação e compactação do KCl (cloreto de potássio).

No processo de produção final dos fertilizantes na forma NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), são utilizadas misturas físicas das matérias-primas que fornecem os nutrientes. Essas misturas são submetidas a peneiramento, granulação e insumos podem receber aditivos e são embaladas.

O artigo se concentrará no processo de incorporação de nitrogênio no fertilizante, especificamente na produção de um fertilizante com a formulação 03.17.00 (N.P.K) e descreve a reação entre o hidróxido de amônio e o ácido sulfúrico para absorção do nitrogênio como demonstra a Equação 1:



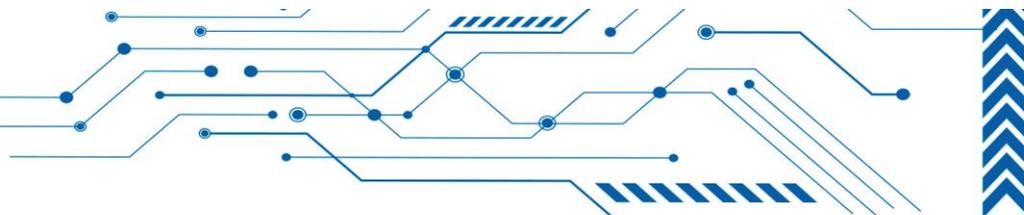
Foi identificado um problema de baixa eficiência do processo causado devido à perda de amônia, resultado o qual foi exposto pelo ITC fora dos padrões estabelecidos (0,041 t de amônia/t de produto), resultando em perdas financeiras no processo. O artigo buscará investigar as possíveis causas e soluções para esse problema.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Processo de Produção de Fertilizantes

#### 2.1.1 Acidulação





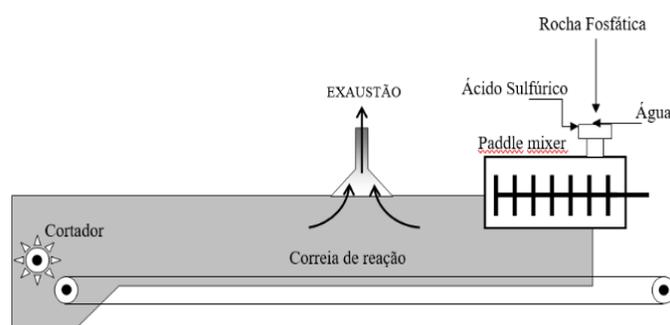
De acordo com Aquilino (2018), o superfosfato é o termo genérico usado para denominar um fertilizante fosfatado simples (sólido), obtido a partir da reação de concentrado fosfático com ácido sulfúrico ou ácido fosfórico. O produto obtido do ataque com ácido sulfúrico é denominado superfosfato simples (SSP) e o resultante da solubilização com ácido fosfórico é denominado superfosfato triplo (TSP). A solubilização ou ataque da rocha fosfática (minério de fósforo), também pode ser chamado como processo de acidulação.

O processo de acidulação consiste na adição de ácido a uma substância, rocha fosfática no caso dos fertilizantes fosfatados, com o objetivo de promover uma reação química para se obter outra substância com propriedades físico-químicas mais adequadas aos nossos propósitos.

Na indústria de fertilizantes, a acidulação é amplamente utilizada para solubilizar os fosfatos presentes na rocha fosfática da forma insolúvel, para forma de fosfatos solúveis, possibilitando assim a absorção deste fósforo pelas plantas.

O sistema de reação pode ser ilustrado de acordo com a Figura 1, composto por um reator de mistura, conhecido como “*paddle mixer*” nos processos de produção de SSP, e uma correia de reação enclausurada mais conhecida como “DEN”.

**Figura 1 – Correia de Reação SSP**

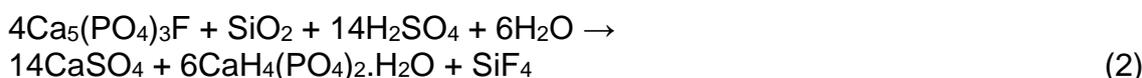


Fonte: Arquivo pessoal dos autores, 2023.

A correia enclausurada confina os gases liberados pela reação, permitindo a ação mais eficaz do sistema de ventilação (exaustão). Os gases captados da reação serão tratados posteriormente em um sistema de lavagem.

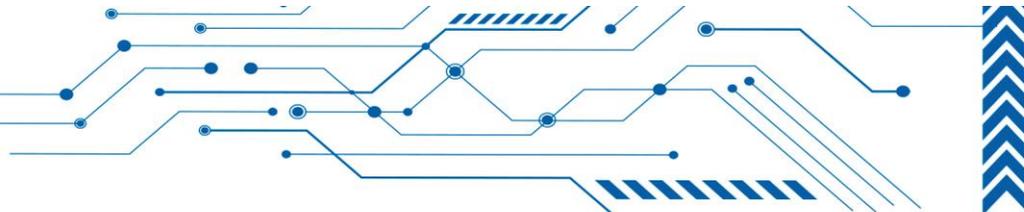
O objetivo principal na fabricação do SSP é a transformação do fosfato tricálcico –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$  (insolúvel) contido na rocha em fosfato monocálcico (solúvel).

As reações principais entre a rocha fosfática e ácido podem ser representadas da seguinte maneira, como representado na Equação 2:



Ao final da correia de reação, o produto se encontra na fase sólida. Então ele é desintegrado num cortador de “grumos”, descarregado em outra correia e





direcionado ao armazém de cura. Em razão de não ser completa a reação no “DEN”, em virtude das condições físicas que diminuem a velocidade de reação, um período de cura de até 48 horas torna-se necessário para complementação da reação.

O processo de cura consiste na continuação das reações que não se completaram na correia de reação, devido à presença de acidez residual, água livre e rocha fosfática não reagida. Durante este período ocorre a difusão do ácido através da película que recobre os grânulos de fosfato proporcionando então o ataque, em consequência disto existe um acréscimo do  $P_2O_5$  solúvel e um decréscimo da acidez livre.

A conversão química pode ser definida como a quantidade de  $P_2O_5$  proveniente da rocha fosfática que é solubilizada, ou seja, a quantidade de fosfato tricálcico que é convertido em fosfatos bicálcico e monocálcico, considerando que todo fosfato constituinte da rocha é tricálcico. O produto proveniente da reação química descrita acima recebe o nome de FAS (fertilizante acidulado sulfúrico) e o mesmo pode ser comercializado na forma de pó (SSP pó) ou submetido a um processo de granulação com a adição de insumos para formação do SSP granulado.

### 2.1.2. Granulação

De acordo com Rodrigues (2012), granulação é uma operação que consiste na formação, cristalização ou aglomeração de um material, ou vários materiais, sólidos e/ou fluidos, para serem constituídos em grânulos de diâmetro maior, mais uniforme e com aspecto físico mais adequado as operações de secagem, classificação, manuseio e transporte, do que os materiais inicialmente envolvidos.

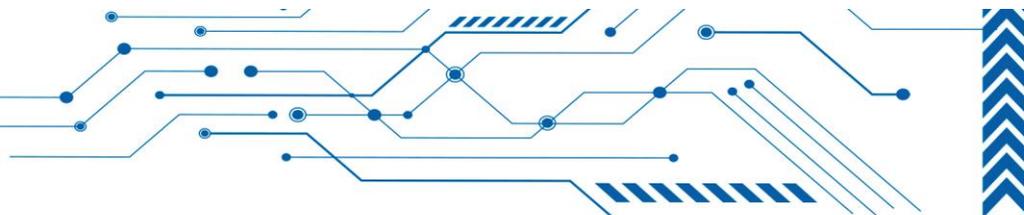
Vantagens do uso do fertilizante granulado:

- a aplicação de granulados evita a dispersão de produto com o vento;
- os grãos também fazem com que o produto seja mais facilmente transportado e armazenado;
- não há necessidade de equipamentos caros para a aplicação.

É muito comum utilizar-se nos processos de granulação os seguintes equipamentos:

- granulador: principal equipamento do processo, podendo todos os outros equipamentos envolvidos serem considerados como anexos deste. Existem várias configurações de granuladores, porém na indústria de fertilizantes, utiliza-se em larga escala os granuladores do tipo tambor rotativo, que consiste num cilindro rotativo com rotação específica (dependendo do produto que se quer granular, e da qualidade granulométrica que se quer atingir). O granulador possui um ângulo de inclinação que regula o escoamento do material dentro do tambor (tempo de residência).
- balanças dosadoras: necessárias para medir a quantidade das matérias primas sólidas e material reciclado que alimentam o granulador;





- reatores: nos processos que envolvem granulações químicas é necessário que a mistura entre os reagentes ocorra totalmente ou parcialmente nestes reatores antes de ser alimentada ao granulador;
- injetores de vapor, água e/ou amônia: são mais conhecidos como “spargedores” e têm a função de distribuição das matérias-primas líquidas na superfície do leito do granulador.

As primeiras investigações de fatores determinantes na granulação, conseguiram identificar três condições que afetam a eficiência de granulação, (mas não necessariamente as velocidades das reações). Outros trabalhos depois mostraram a importância de outros fatores.

Os primeiros três fatores que afetam no processo de granulação foram:

- umidade (fase líquida);
- granulometria e textura das matérias primas;
- velocidade de rotação e carga do granulador.

Posteriormente foram acrescentados:

- temperatura de granulação;
- razão ou Taxa de reciclo.

E com a introdução das granulações químicas, através de reatores tubulares acrescentaram-se dois novos fatores de influência:

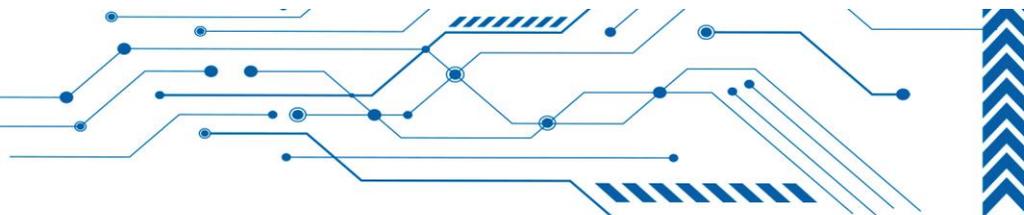
- distribuição de amônia entre o reator e o granulador;
- vazão de gases no tambor.

Anterior a formação do grão, é observado no interior do granulador a formação da fase líquida. Esta fase é, na verdade, uma pasta de elevada fluidez com mesma constituição dos grânulos, e somente sua existência permite a formação dos grãos.

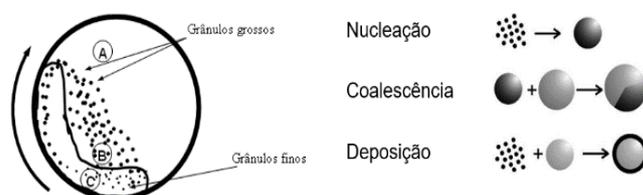
A nucleação é o primeiro passo para granulação. Nesta etapa, as pequenas partículas que estão dispersas na fase líquida são mantidas unidas pela própria força de atração da fase líquida, conhecida como tensão superficial. A nucleação é independente do tempo de retenção, da velocidade de rotação do granulador e da carga deste. As dimensões dos grânulos resultantes, em relação ao tamanho original, são função apenas da quantidade de líquido (fase líquida) presente no leito de granulação. Para um dado teor de fase líquida, a distribuição de líquido determina a distribuição granulométrica.

Após o estágio de nucleação, os grânulos apresentam um leve excesso de fase líquida em suas superfícies, e assim sendo, plasticidade suficiente para permitir que ocorra uma deformação parcial e a coalescência, posteriormente a deposição de camadas ou “Casca de Cebola”, onde as matérias-primas fluídas junto com as partículas finas são depositadas em camadas, os grânulos grandes fazem a moagem das partículas pequenas e o material fino gerado é redistribuído acima das partículas maiores, conforme Figura 2:





**Figura 2 – Esquemática da formação do grânulo**



**Fonte:** Arquivo pessoal dos autores, 2023.

Para se atingir a região de granulação, precisamos identificar primeiro a região em que se encontra o processo de granulação, se é na região de finos ou de grossos. Para tal, é necessária uma boa análise das características físicas (granulométricas) que o material está apresentando em relação à especificação que buscamos. Utiliza-se observação e bom senso nesta análise.

Operacionalmente, podemos adotar um conceito simples para avaliar a fase líquida do material dentro do granulador. O teste é fácil, exigindo observação e bom senso.

Pegou-se uma amostra do material na saída do granulador nas mãos, os quais rapidamente viramos, deixando cair o material. Pode-se obter um dos três resultados, que caracterizam as três regiões da curva de granulação onde podemos estar situados (do autor, 2023):

1. A mão fica suja e seca com grãos pequenos aderidos? Conclusão: falta de umidade (fase líquida) – Região de finos;
2. A mão fica limpa e seca? Conclusão: fase líquida adequada;
3. A mão fica limpa, mas lisa, com uma camada de líquido? Conclusão: temos excesso de fase líquida.

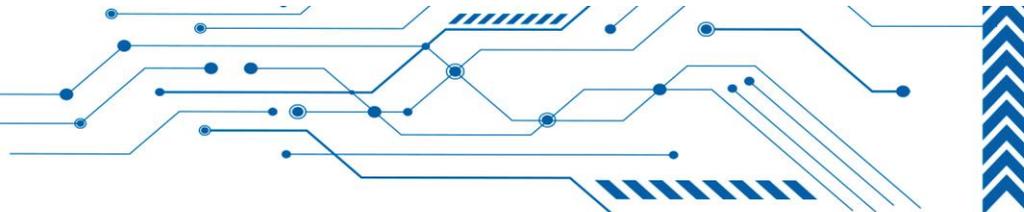
Além disso, podemos utilizar termômetros para medir a temperatura na saída do granulador e controlar a temperatura de granulação. Normalmente se utilizam temperaturas entre 85 e 95°C dependendo do material que se está granulando.

Uma vez identificada a região em que se encontra o material em relação à curva de granulação, aplicamos as ferramentas de controles que temos a disposição, para adequação da fase líquida de granulação, que são:

- controle das adições de vapor ou água no caso de granulações físicas;
- modificações na quantidade de reciclo (taxa de reciclo) ou adição de água no caso das granulações físicas;
- controle de pH nos dois casos, para monitoramento da acidez livre. Acidez elevada dá aos grãos características impregnantes que sujam a planta mais rapidamente prejudicando principalmente a eficiência do peneiramento, além do entupimento de calhas e descargas de correias.

Para obtenção de 03-17-00 com 3% de nitrogênio (N) e 17% de fósforo (P), são adicionados no granulador SSP-Pó com tempo de cura mínimo de 48 horas e triplo superfosfato (TSP) para ganho de teor de fósforo. Para incorporação de nitrogênio no grânulo tem-se a reação entre ácido sulfúrico e





amônia diluída em água bruta, garantindo uma precipitação do sulfato de amônio que agrega aos grânulos.

A taxa de reciclo assume seu papel mais importante nas granulações químicas, onde temos um processo controlado pela quantidade de material sólido no leito de granulação. A fase líquida e energia necessária são fornecidas pelas reações.

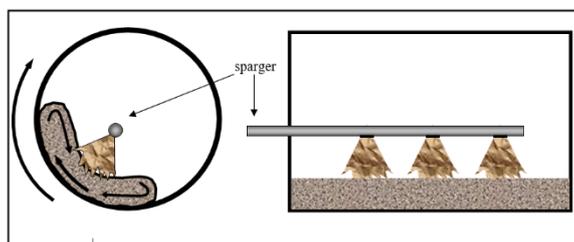
O principal mecanismo da granulação com reação química, é o recobrimento, onde você tem um grão seco (reciclo) que recebe uma cobertura com o material que está reagindo (lama). Este tipo de granulação ocorre na produção do 03-17-00, por exemplo, onde o leito do granulador contendo 03-17-00 reciclado, recebe 03-17-00 recém-formado ainda em fase fluida, resultante da reação química entre amônia e ácido sulfúrico, duas matérias primas líquidas, que quando reagem entre si formando um precipitado sólido de sulfato de amônio, favorece a incorporação de N no fertilizante granulado (do autor, 2023).

Os *sparges* de amônia, vapor, água fria e ácido sulfúrico, são projetados para adequações das vazões e velocidades dos líquidos para melhor eficiência de granulação e fixação de amônia.

Para produção de 03-17-00, precisamos atender ao índice técnico de consumo de 0,041 t/t de amônia no granulador, bem como a especificação de 3% de N do produto, para garantia dos mesmos são acompanhados os dados de vazões

De amônia, água de diluição e ácido sulfúrico e pH da saída do granulador e lavagem de gases. A amônia por se tratar de um insumo de custo elevado, precisa ter seu consumo conforme ITC orçado de 0,041 t/t por campanha de produção de 03-17-00. Com o intuito de identificar campanhas as quais este ITC não foi atendido, foram realizadas análises de processos a partir de gráficos de tendência e análises de condições de projeto para garantia da eficácia de operação dos *sparges*, as quais para isso foram feitas verificação de projeto em campo conforme Figura 3.

**Figura 3** – Perfil do Granulador e *Sparger*.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores, 2023.

### 3 RESULTADOS

Inicialmente foram consideradas duas hipóteses de desvios, a saber, o desvio de projeto (reator fora de padrão) e desvios de operação; durante a parada anual da planta foi possível verificar as condições de projeto, as quais iremos demonstrar nas Tabelas 1 e 2 a seguir:



**Tabela 1** – Resultados avaliados em campo com relação ao projeto para *sparger* de ácido sulfúrico

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Projeto	Real
Distância entre furos	25 mm	24,77 mm
Diâmetros dos furos	1/8" ou 3,175 mm	1/8" ou 3 mm
Comprimento do <i>sparger</i>	4.030 mm	4.030 mm
Comprimento da região de furos	1.850 mm	1.850 mm
Deslocamento entre furação	100 mm	100 mm
Quantidade de furos	72	72

**Fonte:** Arquivo pessoal do autor, 2023.

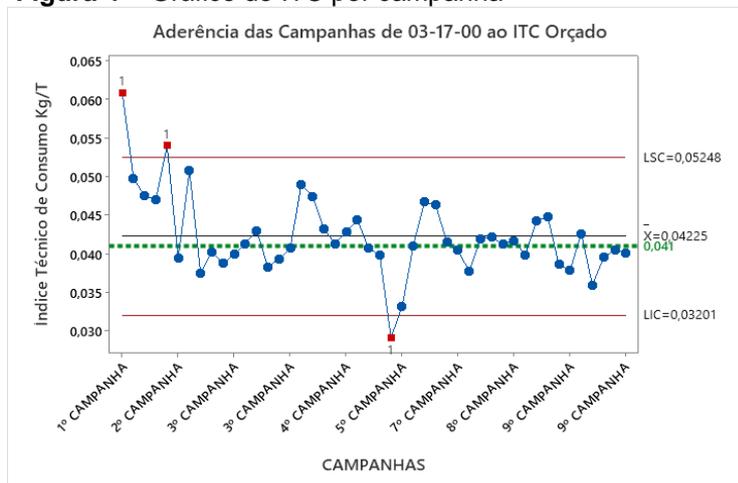
**Tabela 2** – Resultados avaliados em campo com relação ao projeto para *sparger* de amônia e vapor

NH <sub>3</sub>	Projeto	Real
Distância entre furos	50 mm	50 mm
Diâmetros dos furos	5/16" ou 7,938 mm	7,39 e 7,80 mm
Comprimento do <i>sparger</i>	3.439 mm	3.439 mm
Comprimento da região de furos	2500 mm	2550 mm
Deslocamento entre furação	110 mm	110 mm
Quantidade de furos	50	50

**Fonte:** Arquivo pessoal do autor, 2023.

Como pode-se observar as condições de projeto se encontravam de acordo com o esperado, com isso, a hipótese de desvio de projeto foi descartada.

No ano de 2022, teve-se um total de nove campanhas de 03-17-00, apresentando alta variabilidade do ITC (índice técnico de consumo) orçado de 0,041 t/t de N; pode-se observar na Figura 4, tal variabilidade de resultados:

**Figura 4** – Gráfico de ITC por campanha

**Fonte:** Arquivo pessoal do autor, 2023.

Com base em tais dados, foram selecionadas as campanhas as quais tivemos maiores bancos de dados, como segue abaixo:

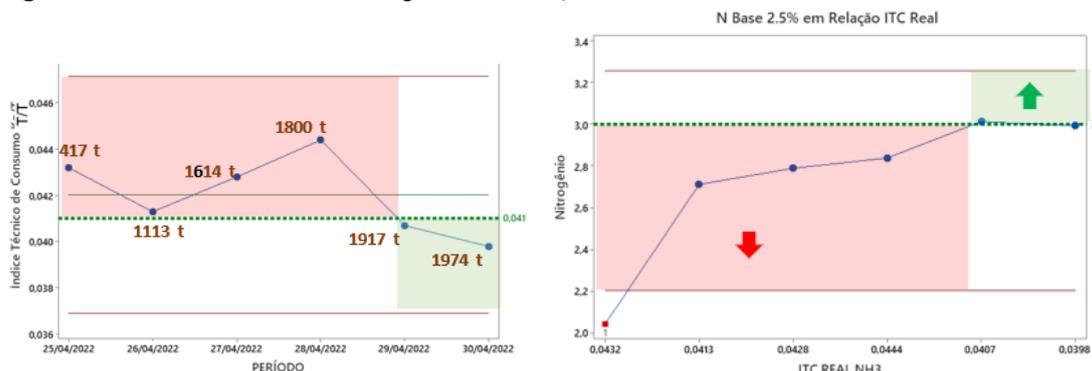
- Campanha 4: 50% do atendimento ao ITC;
- Campanha 5: 100% do atendimento ao ITC;
- Campanha 8: 33% do atendimento ao ITC;
- Campanha 9: 75% do atendimento ao ITC.

A partir de tal segregação de resultados, partiu-se a estudar tais campanhas com mais profundidade.

#### a) Campanha 04:

Pode-se observar, a seguir, o comportamento do ITC durante os dias da campanha 04 na Figura 5:

**Figura 5** – Gráficos de ITC e nitrogênio na campanha 04



**Fonte:** Arquivo pessoal do autor, 2023.

Analisando a campanha têm-se: teor de nitrogênio conforme especificação ( $\geq 3\%$ ), apenas nos dois últimos dias da campanha (29/04 e 30/04), considerando ITC de 0,0407 e 0,0398 respectivamente.

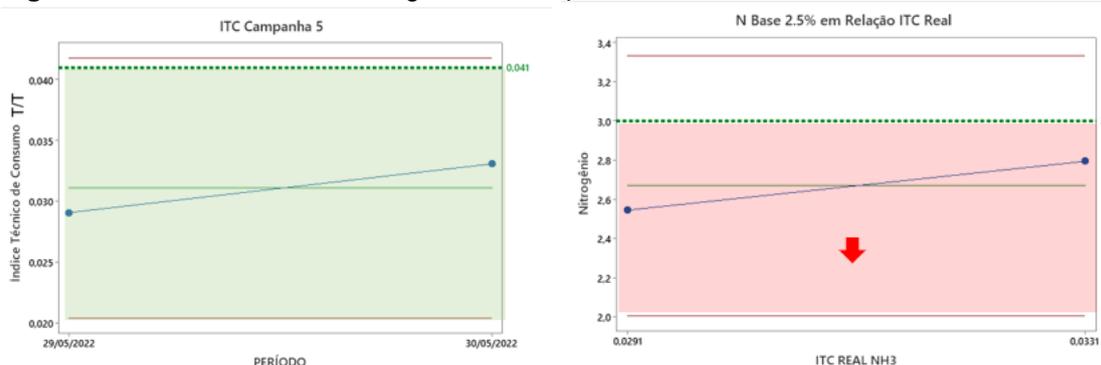
Padrão operacional seguido para esse resultado:

- pH Granulador: 3,71 e 3,92;
- pH Tanque (lavagem de gases GN): 2,88 e 2,04;
- Relação  $H_2O/NH_3$  (água/amônia): 0,71 e 0,77;
- Relação  $H_2SO_4 /NH_3$ : 1,0769 e 1,1835.

#### b) Campanha 05:

Pode-se observar, a seguir, o comportamento do ITC durante os dias da campanha 05 na Figura 6:

**Figura 6** – Gráficos de ITC e nitrogênio na campanha 05



**Fonte:** Arquivo pessoal do autor, 2023.

Analisando a campanha têm-se: teor de nitrogênio não conforme com a especificação ( $\geq 3\%$ ), nos dois dias da campanha (29/05 e 30/05), considerando ITC de 0,0291 e 0,0331 respectivamente.

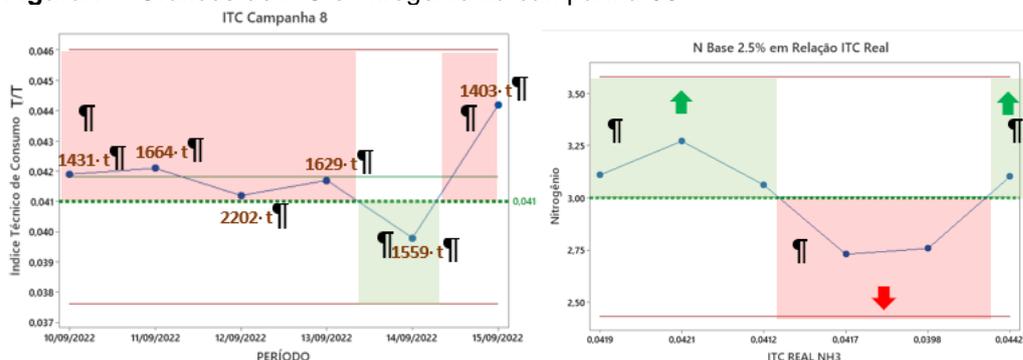
Padrão operacional seguido para esse resultado:

- pH Granulador: 3,48 e 3,54;
- pH Tanque (lavagem de gases GN): 1,74 e 2,33;
- Relação  $H_2O/NH_3$  (água/amônia): 0,78 e 0,73;
- Relação  $H_2SO_4 /NH_3$ : 1,6515 e 0,9872.

### c) Campanha 08:

Pode-se observar, a seguir, o comportamento do ITC durante os dias da campanha 08 na Figura 7:

**Figura 7** – Gráficos de ITC e nitrogênio na campanha 08



**Fonte:** Arquivo pessoal do autor, 2023.

Analisando a campanha têm-se: teor de nitrogênio conforme especificação ( $\geq 3\%$ ), apenas nos dias 10/09, 11/09, 12/09 e 15/09 da campanha, considerando ITC de 0,0419, 0,0421, 0,0412 e 0,0442 respectivamente.

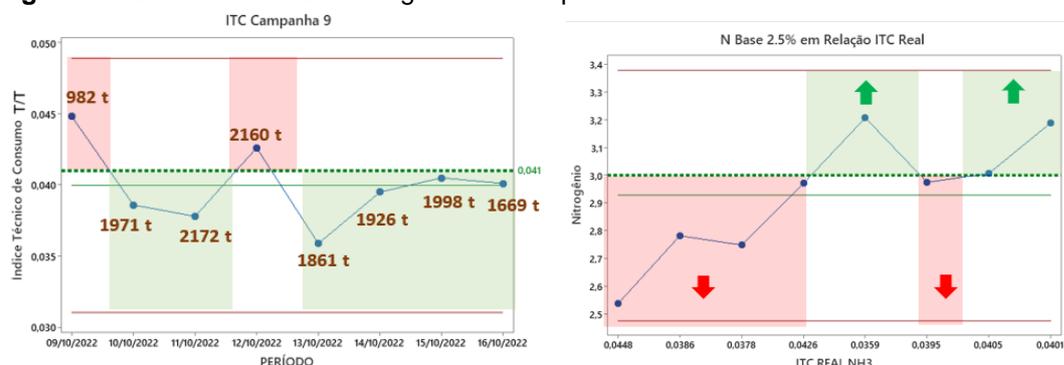
Padrão operacional seguido para esse resultado:

- pH Granulador: 4,70, 4,35, 4,27 e 3,74;
- pH tanque (lavagem de gases GN): 2,38, 2,56, 1,19 e 2,05;
- Relação  $H_2O/NH_3$  (água/amônia): 0,73, 0,09, 0,39 e 0,67;
- Relação  $H_2SO_4 /NH_3$ : 1,0167, 1,0429, 1,1909 e 1,0484.

### d) Campanha 09:

Pode-se observar, a seguir, o comportamento do ITC durante os dias da campanha 09 na Figura 8:

**Figura 8 – Gráficos de ITC e nitrogênio na campanha 09**



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2023.

Analisando a campanha têm-se: teor de nitrogênio conforme especificação ( $\geq 3\%$ ), apenas nos dias 10/09, 11/09, 12/09 e 15/09 da campanha, considerando ITC de 0,0419, 0,0421, 0,0412 e 0,0442 respectivamente.

Padrão operacional seguido para esse resultado:

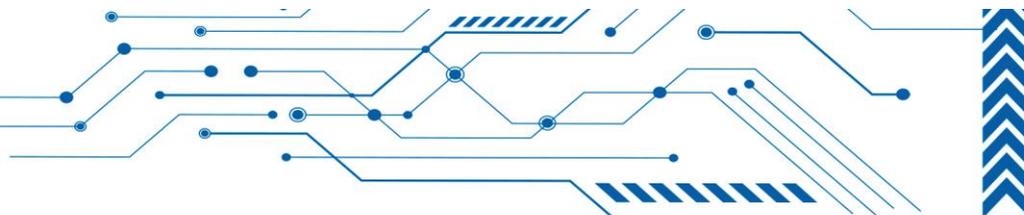
- pH Granulador: 4,70, 4,35, 4,27 e 3,74;
- pH tanque (lavagem de gases GN): 2,38, 2,56, 1,196 e 2,05;
- Relação  $H_2O/NH_3$  (água/amônia): 0,73, 0,09, 0,39 e 0,67;
- Relação  $H_2SO_4/NH_3$ : 1,0167, 1,0429, 1,1909 e 1,0484.

Com tais dados, filtrou-se pelos períodos em que a garantia de N (nitrogênio) esteve ( $\geq 3\%$ ) e obtiveram resultados de ITC real ( $\leq 0,041$ ), que estão descritos na Tabela 3 e Figuras 9 e 10 a seguir:

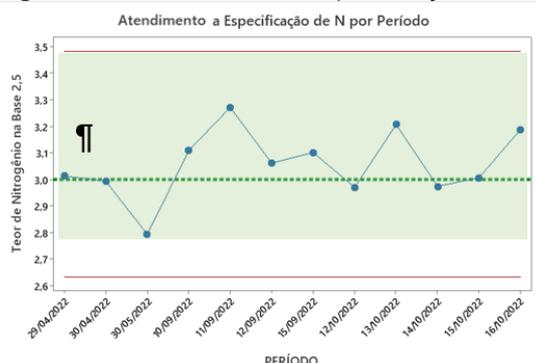
**Tabela 3 – Levantamento de resultados relevantes dos pontos avaliados**

2022	Relação $H_2O/NH_3$	Relação $H_2SO_4/NH_3$	pH saída do GN	pH lavador gases
Campanha 4	0,71	1,1	3,71	2,88
Campanha 4	0,77	1,2	3,92	2,04
Campanha 5	0,73	1,0	3,54	2,33
Campanha 9	0,76	0,8	3,86	1,96
Campanha 9	0,75	1,1	3,43	1,92
Campanha 9	0,61	0,8	3,86	2,62
Campanha 9	0,67	1,0	3,92	2,21

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2023.

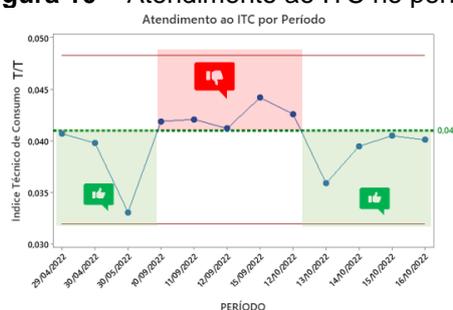


**Figura 9 – Atendimento a especificação de nitrogênio**



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2023.

**Figura 10 – Atendimento ao ITC no período avaliado**



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2023.

Com base na regressão de resultados observados nas campanhas, foi realizado uma aproximação do padrão operacional ideal, a qual foi expressa abaixo:

#### Recomendação de Padrão Operacional

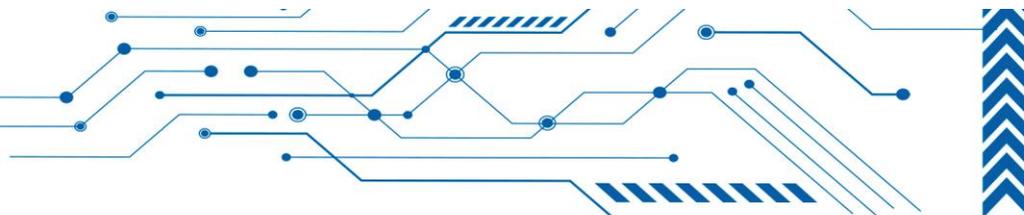
- pH Granulador: 3,5 até 4,2;
- pH Tanque (lavagem de gases GN): 2,5
- Relação  $H_2O/NH_3$ : 0,71
- Relação  $H_2SO_4 /NH_3$ : 1

Durante o desenvolvimento do artigo foram abordadas duas frentes de estudo sobre o desvio do processo, sendo elas o desvio de projeto (condições do equipamento) e o desvio operacional.

Inicialmente foi atacado o desvio de projeto, visto que é o modelo de mais fácil comprovação, porém não foram encontrados desvios significantes, uma vez que os sparger que conduziam o ácido e a amônia se encontravam conforme especificado; tendo tais resultados em mãos passamos a analisar os processos anteriores e buscar por pontos os quais as especificações de processo eram atingidas, e de tal maneira até encontrarmos uma faixa ideal de trabalho.

A meta do artigo é principalmente reduzir o consumo excessivo de amônia no processo, uma vez que tal insumo é de alto valor agregado e a planta realiza sua compra, logo quanto menores as perdas, maiores serão as margens de lucro em cima do produto comercializado pela companhia.





Tal artigo teve finalidade de encontrar uma faixa ideal de operação, a qual atenda aos parâmetros de concentração final e os parâmetros de consumo de insumos no processo, resultado o qual foi encontrado mediante análise de dados fornecidos e serão aplicados nas próximas campanhas.

## 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados e analisados durante o artigo, pode-se esperar uma campanha de produção do fertilizante 03.17.00 que atinja os padrões de consumo de matéria-prima e padrões de garantia final do produto dentro das especificações, tendo por princípio que a operação siga os padrões de processo ideais levantados durante o estudo.

## REFERÊNCIAS

AQUILINO, Lenina Sampaio - **Fertilizantes para soja**: Yara esclarece mitos e verdades sobre o fósforo e o cálcio. 2018. Disponível em <https://revistacultivar.com.br/noticias/fertilizantes-para-soja-yara-esclarece-mitos-e-verdades-sobre-o-fosforo-e-o-calcio>. Acesso em: 14 mar. 2023.

FERTILIZANTES-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf (ufla.br) <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2023.

LOUREIRO, Francisco E. Lapid; MONTE, Marisa Bezerra de Mello; NASCIMENTO, Marisa. CETEM - **Rochas e Minerais Industriais**, 2005. Disponível em <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1043/3/07.%20Agrominerais-FOSFATO%20ok.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

**Processo simplificado de produção de fertilizantes sólidos – macronutrientes**. São Paulo: Nutrição de Safra, 2021. <https://nutricaoadesafra.com.br/producao-fertilizantes-solidos>. Acesso em: 19 mar. 2023.

CUNHA, Luiza; GONZAGA Sreeldin. Repositório Institucional - Universidade Federal de Uberlândia: **Cenários e desafios da indústria de fertilizantes (ufu.br)**. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20598>. Acesso em: 14 mar. 2023.

RODRIGUES, Rafaella da Fonseca. UFU - **Influência das condições de processo na granulação de supersimples em tambor rotativo**. Uberlândia, 2012. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15092/1/InfluenciaCondicoesProcesso.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.

