

INFLUÊNCIA DO BALANÇO MATERIAL NO DESENVOLVIMENTO DE UMA FORMULAÇÃO DE FERTILIZANTE LÍQUIDO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO INDUSTRIAL

AUTOR

Tatiane Gonçalves da CUNHA

Discente do Curso de Engenharia Química – UNILAGO

Maria Angélica Marques PEDRO

Amarildo de Marchi LOPES

Docentes do Curso de Engenharia Química- UNILAGO

RESUMO

Os fertilizantes líquidos proporcionam diversas vantagens às culturas agrícolas, entre elas, uma maior eficiência no uso dos nutrientes presentes na composição, quando comparado às composições granuladas, pois os disponibiliza de forma mais rápida e eficiente, além de também possuir maior facilidade de manuseio e melhor cobertura por metro quadrado. A aplicação do balanço material no desenvolvimento de formulações de fertilizantes, tem por finalidade determinar as quantidades necessárias de matérias-primas na formulação. Portanto o objetivo deste trabalho foi desenvolver um balanço de massa para determinar as quantidades de água e de ureia para a produção de 1000 kg de fertilizante líquido (20:00:00) e avaliar no produto final a quantidade de nitrogênio requerida. A formulação desenvolvida foi produzida em escala laboratorial onde as quantidades de matérias-primas utilizadas foram reduzidas proporcionalmente aos dados obtidos no balanço de massas para o controle de qualidade e validação do teste para posterior produção em larga escala.

PALAVRAS - CHAVE

Balanço de massa, formulação, fertilizante líquido, ureia.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Decreto Nº 4.954 de Janeiro de 2004, o fertilizante é uma substância mineral ou orgânica de origem natural ou sintética, utilizado para fornecer um ou mais nutrientes ao solo, suprimindo as necessidades do mesmo, a fim de aumentar a capacidade de produção de culturas agrícolas.

Os fertilizantes podem ser sólidos ou líquidos. Os fertilizantes sólidos são os mais comercializados, principalmente no Brasil, porém, os fertilizantes líquidos vêm ganhando notoriedade devido sua eficiência no manejo de adubação.

Os fertilizantes líquidos proporcionam diversas vantagens às culturas agrícolas, entre elas, proporcionam uma maior eficiência no uso dos nutrientes presentes na composição, quando comparado às composições granuladas, pois disponibiliza os nutrientes de forma mais rápida e eficiente, por estes já se encontrarem em solução. Além disso, trata-se de um produto de maior facilidade de manuseio, sendo o seu transporte por tubulações, bombas, caminhões e melhor cobertura por metro quadrado (TAKATA, 2019). As matérias-primas para a produção desse tipo de fertilizante são em grande parte sólidas, que se dissolvem na água, em um sistema de tanque de mistura, como no caso da ureia granulada, que é uma matéria-prima fonte de nitrogênio, com teor de pureza de 45% do mesmo e uma solubilidade de 1000 g por litro de água, formando soluções homogêneas (FRIZZONE; BOTREL, 1994; VITTI *et al.*, 1994).

Para a produção em larga escala, são necessários controles de parâmetros que se iniciam com os testes dos tipos de formulações a serem desenvolvidas, a compatibilidade entre as matérias primas e as quantificações das mesmas para que seja obtido o produto final com as características desejadas, além de também evitar perdas no processo (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994). Para esse tipo controle devem ser realizados balanços de massas tanto para a formulação quanto para a produção.

A aplicação do balanço material no desenvolvimento de formulações de fertilizantes, para posterior produção em escala industrial, tem por finalidade otimizar o processo, por meio cálculos que especificam as quantidades necessárias de matérias-primas, evitando perdas caso estas estejam em excesso, ou em menores quantidades, gerando baixo rendimento na produção.

Além de quantificar os materiais sólidos, o balanço de massa, tem importante função na quantificação da água empregada no processo, padronizando a mesma, a fim de eliminar seu uso em excesso, evitando perdas e agregar maior contribuição para o meio ambiente, pois diminui a captação de água de rios, lagos e represas, permitindo também uma menor geração de efluentes através do uso correto das quantidades necessárias tanto de ureia, como de água, tornando o processo mais sustentável.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver o balanço material para quantificar a água empregada na produção de uma formulação de fertilizante líquido a base de ureia granulada, composta por 20% de nitrogênio e realizar uma análise química para a determinação do teor de nitrogênio no fertilizante final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de fertilizantes líquidos no Brasil

No Brasil, as indústrias de fertilizantes líquidos obtiveram considerável evolução, devido à crise nacional de petróleo, que instigou a substituição da gasolina, pelo álcool hidratado através da criação do programa nacional do álcool, PROÁLCOOL e do Programa Nacional de Fertilizantes e Calcários Agrícolas (PNFA) que priorizava

que o país atingisse sua auto suficiência na produção de matérias-primas para a produção de fertilizantes fluidos, já que a compra de matérias primas de outros países gerava um custo muito alto (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994).

O programa nacional do álcool foi responsável pela expansão da produção da cultura de cana-de-açúcar, devido o maior consumo de etanol. O processo de fabricação do etanol, gera como resíduo da fermentação, a vinhaça e, que a partir de 1 litro de etanol obtém-se em torno 11-12 litros de vinhaça, ou seja, um considerável volume de resíduos que é constituída por compostos que causam a poluição de rios, tais como teores significativos de sais compostos principalmente por sódio, cálcio, magnésio, potássio e elevado teor de matéria orgânica (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994).

A concentração de potássio na vinhaça foi considerada significativa para uso na lavoura, daí então, que as usinas de cana-de-açúcar começaram a implementar esse resíduo na fertirrigação. Essa prática além de destinar o resíduo da indústria, gerou grandes economias para o setor agrícola, pois as usinas passaram a ter menos gastos com a compra de potássio para aplicação na cultura (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994).

A primeira fábrica de produção de adubos líquidos no Brasil, para fins comerciais, foi a Ultrafertil, localizada em Jaú, SP, no ano de 1981, seguida de outras 4, que juntas estimavam uma capacidade de produção de 85 mil toneladas por ano (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994).

Os fertilizantes líquidos estão em constante desenvolvimento em nosso país, sua demanda de fabricação é mais voltada para a cana-de-açúcar, embora estudos atualmente desenvolvidos, demonstram sua eficiência na lavoura de café, feijão e soja.

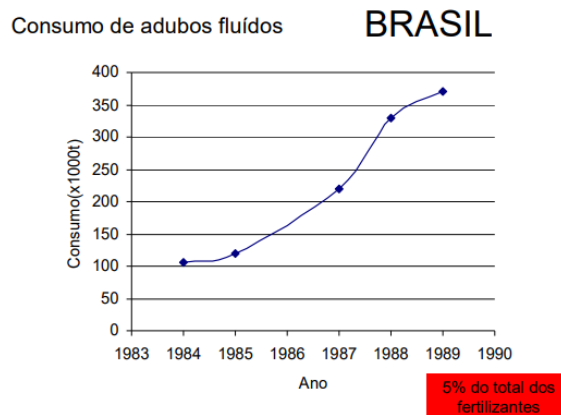
A cultura de cana-de-açúcar é responsável por 90% do consumo de fertilizantes líquidos no país, sendo o restante para cultura de soja, citros e outros (MALAVOLTA, 1994). A maior participação de produção dos fertilizantes líquidos é de usinas produtoras de cana-de-açúcar, que devido a necessidade de grandes quantidades de potássio, nitrogênio e fósforo exigidos para o desenvolvimento da mesma, aplicam misturas de tais nutrientes, por meio desse tipo de fertilizante, que permitem um resultado mais rápido no plantio, pelo fato de os nutrientes já estarem em solução, sendo disponibilizados mais facilmente ao sistema radicular das plantas.

O Brasil ocupa uma posição destaque no ranking global de consumos de fertilizantes, sendo o segundo maior consumidor de potássio, terceiro em consumo de fósforo e quarto no consumo de nitrogênio, além de ser o quarto maior mercado de fertilizantes do mundo, ficando atrás dos Estados Unidos que é o terceiro, Índia que é o segundo e China que ocupa a primeira posição (IFA, 2017).

Grandes produtoras nacionais de fertilizantes sólidos estão expandindo seus processos e fabricando também os fertilizantes líquidos. As principais matérias primas utilizadas na fabricação dessa linha de produto, são: ureia granulada ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) 45% de nitrogênio, cloreto de potássio 60% de óxido de potássio (K_2O) e mono fosfato de amônio (MAP) 52% de pentóxido difósforo (P_2O_5). Que podem fornecer uma solução contendo apenas nitrogênio e fósforo (NP), nitrogênio fósforo e potássio, (NPK) ou nitrogênio e potássio (NK) (IPNI BRASIL, 2008).

Apesar de caminhar para a evolução, os estudos que mostram o desenvolvimento da adubação líquida no Brasil, comparado a outros países ainda são muito restritos. A adubação sólida ainda ocupa o maior percentual de aplicação, cerca de 95%. A figura 1 mostra dados do consumo de fertilizantes líquidos no Brasil, o qual compreende 5% da adubação.

Figura 1 - Dados de consumo de fertilizantes líquidos no Brasil



Fonte: Malavolta, 1994.

2.2 Classificação e produção dos fertilizantes líquidos

De acordo com a instrução normativa N° 39, de 08 de agosto de 2018, os fertilizantes que se encontram no estado líquido, podem ser divididos em três classes:

- Soluções: fertilizantes que se apresentam em forma de solução verdadeira, isto é, não há material sólido contido no meio mistura homogênea, como por exemplo a ureia granulada em água, forma uma solução límpida de ureia e cloreto de potássio.
- Suspensões Coloidais: Tipo de solução obtida por meio da reação do ácido fosfórico e amônia, apresentando elevada viscosidade, tal solução pode ser enriquecida com potássio para posterior aplicação por meio de fertirrigação.
- Suspensões: fertilizantes líquidos que se apresentam na forma de suspensão, isto é, onde há uma fase sólida que fica dispersa ao meio. Como por exemplo a mistura de ureia, MAP, em que a ureia se dissolve na água, enquanto parte do MAP que não se dissolve devido a saturação da solução, permanece disperso no meio. Recomenda-se o emprego de argilas como atapulgita ou betonita para auxiliar na suspensão da matéria prima dispersa no meio e também a constante agitação da solução, para que não haja segregação e assentamento dos materiais, evitando assim, perdas na aplicação e entupimento de bicos.

A fabricação de fertilizantes líquidos pode ocorrer em dois tipos de processo: *Hot mix* e *Cold mix*. A obtenção pelo processo *hot mix*, se dá pela reação química entre a amônia ou aquamônia: fontes de nitrogênio e o ácido fosfórico: fonte fósforo. Tal reação resulta no fosfato de amônio como produto final e gera ainda a liberação de calor, por se tratar de uma reação exotérmica (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994).

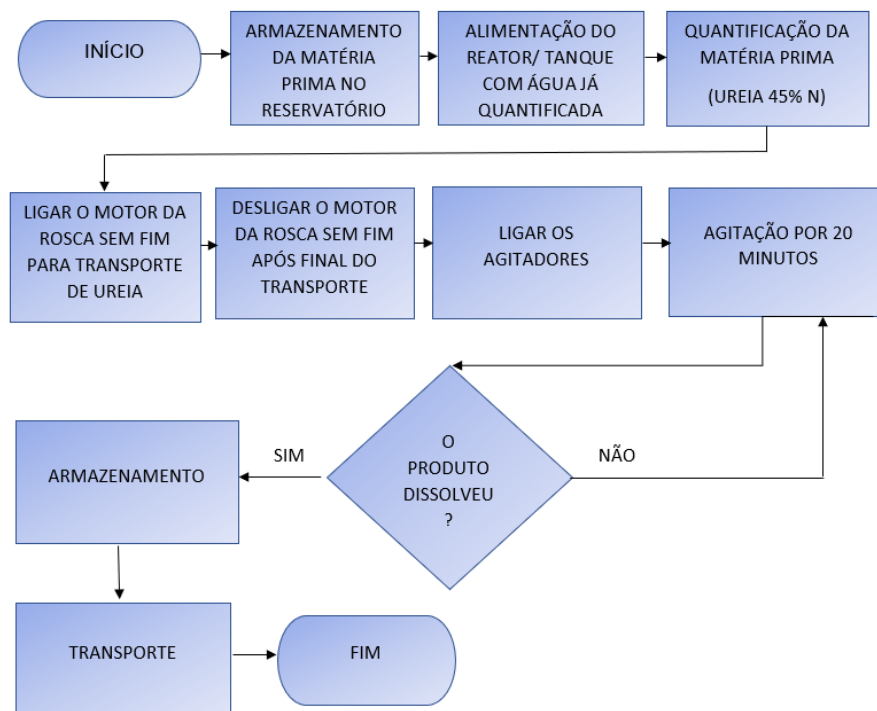
Já processo *cold mix*, se caracteriza pela mistura de matérias-primas em meio frio. Como por exemplo, a mistura de ureia que é fonte de nitrogênio, dissolvida em água, acrescida de MAP, para obtenção de um fertilizante líquido classificado como solução em suspensão, ou apenas dissolução da ureia em água, para obtenção de uma solução límpida e homogênea (BOARETO, CRUZ, LUZ, 1994).

A produção de fertilizantes se inicia com testes feitos em laboratório, onde são determinadas as quantidades de matérias-primas necessárias para formulação, compatibilidade entre os materiais, solubilidade em água, medidas de densidade e pH. A pesagem da formulação realizada em escala laboratorial, também estima o peso da mesma, para não exceder a capacidade total de produção do reator ou tanque de mistura que opera em escala industrial.

O teste realizado em laboratório tem por função quantificar a matéria prima de entrada que é a ureia e a quantidade necessária de água para a obtenção da solução. Após essa etapa, analisa-se o comportamento quanto a solubilidade entre estes, a densidade e pH obtidos, além da análise de controle de qualidade, para validação do teste, para que assim então a formulação seja produzida em escala industrial.

O processo de fabricação de fertilizantes líquidos é representado pelo fluxograma mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do processo de fabricação de fertilizantes líquidos



Fonte: Autoria própria, 2020.

As formulações são designadas por teores de nitrogênio, fósforo e potássio, (NPK), sendo a formulação 20:00:00 constituída apenas por 20% de nitrogênio, 0% de fósforo termo e 0% de potássio.

A rosca sem fim é movimentada através de um motor, levando então a ureia sólida para dentro do reator já contendo a quantidade de água especificada no desenvolvimento da formulação. Dentro do reator, tem-se uma balança que funciona por meio de células. Quando o peso de água atinge o esperado, fecha-se a válvula de passagem da mesma para o reator, o mesmo para a matéria prima sólida que utiliza a rosca sem fim para esse processo, levando para dentro do reator quantidades de cinco em cinco quilos, o que permite a interrupção da caída de matéria prima, quando o peso esperado é atingido.

Ao término da colocação das matérias que entram no reator, aciona-se o sistema de agitadores do mesmo, os agitadores podem ser contínuos, onde um único eixo, contendo várias hélices promovem a agitação, ou pode ainda contar com 2 e até mesmo 3 sistemas de agitação, dois eixos com pá em hélice na parte superior e um eixo na parte inferior.

Após o tempo de agitação, retira-se do reator uma amostra para verificar se as matérias primas se dissolveram na água. Se ainda houver grandes quantidades de sólidos, o produto é agitado novamente até atingir os aspectos físicos esperados, após completa solubilização, o fertilizante segue para os tanques de armazenamentos através de tubulações destinadas, aguardando então para ser carregado em caminhões que realizam o transporte do fertilizante líquido.

2.3 Balanço de massa

As entradas e saídas de processos são analisadas através do balanço de materiais, ou como geralmente é denominado: balanço de massa, fundamentado na lei da conservação de massas, onde a somatória da massa dos produtos formados numa dada reação é igual a massa dos reagentes que lhes dão origem (BRASIL, 2013). Para a aplicação do balanço material são necessárias informações sobre a carga de alimentação, tais como, vazão mássica ou molar, composição da corrente de entrada e saída do sistema e se houver reação química, especificá-la no desenvolvimento do balanço é fundamental. (BRASIL, 2013).

Antes de se iniciarem os cálculos, deve-se fazer uma simplificação do processo, denominado como caixa preta e definir suas fronteiras através de envoltórias, identificar os símbolos, vazões, e as composições das correntes, se são conhecidas e se podem ser imediatamente calculadas através das informações disponíveis, adotando-se uma base de cálculo e assim então escrever a equação do balanço material. (BRASIL, 2013).

A figura 3 mostra a equação geral de balanço material, que pode ser aplicada em qualquer processo, podendo-se fazer um balanço para massa total do material ou para qualquer espécie molecular ou atômica envolvida no mesmo.

Figura 3 - Equação geral de balanço material

$$\begin{array}{ccccccccc} \text{ENTRADA} & + & \text{GERAÇÃO} & - & \text{SAÍDA} & - & \text{CONSUMO} & = & \text{ACÚMULO} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Através das} & & \text{Dentro do} & & \text{Através das} & & \text{Dentro do} & & \text{Dentro do} \\ \text{fronteiras do} & & \text{sistema} & & \text{fronteiras do} & & \text{sistema} & & \text{sistema} \\ \text{sistema} & & & & \text{sistema} & & & & \end{array}$$

Fonte: Brasil, 2013.

O controle de processo, tem como objetivo avaliar o desempenho em torno da produção, eficiência de equipamentos e viabilidade econômica (FOGLER, 1999). Portanto balanço de materiais, é uma ferramenta indispensável aos processos químicos, pois, além de quantificar as matérias-primas que são necessárias para determinada produção, para assim reduzir perdas por excessos, também é um importante fator utilizado no dimensionamento de equipamentos em processos de regime permanentes, (contínuos) e quando voltado ao processo de regime transiente (batelada), este se torna primordial nas modelagens e controles do mesmo (BRASIL, 2013).

Além de medir a eficiência de equipamentos, o balanço de massas, viabiliza o processo por meio da sustentabilidade, pois devido a exatidão dos cálculos aplicados, o mesmo diminui a geração de resíduos pelo uso correto de matérias-primas, gerando maior economia na planta, aumentando o rendimento na produção e padronização dos processos.

Na indústria de fertilizantes, o balanço material, tem importante papel no desenvolvimento da matéria prima que dá origem aos fertilizantes, até mesmo nas fórmulas desenvolvidas a partir dela, como no caso de formulações líquidas. Para a fabricação de uma formulação de fertilizante líquido nitrogenado, são necessárias informações como: composição das correntes de matérias-primas que alimentam o tanque de mistura, informações disponíveis sobre essas, como: vazão mássica ou molar, adoção de uma base de cálculo, definição sobre o tipo de processo: batelada ou contínuo, e a determinação das características desejadas no produto final, tal como sua composição, para que assim, seja aplicado o balanço material, a fim de otimizar a fabricação em larga escala, agregando maior viabilidade econômica pela redução de desperdícios de matérias-primas, gerando

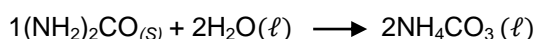
menores impactos ao meio ambiente, através da redução da água empregada no processo, tornando o mesmo mais sustentável, além de também estimar o rendimento da produção.

3. METODOLOGIA

Aplicou-se o balanço de massas para a fabricação de um fertilizante líquido de formulação (20:00:00) que tenha no produto final 20% de nitrogênio a partir da diluição da ureia granulada, que contém 45% de nitrogênio e o restante de sua composição enchimentos. Os cálculos foram baseados na produção de 1000 kg de fertilizante líquido para produção em escala. Além disso foi realizada a determinação do teor de nitrogênio no produto final.

3.1 Balanço de massa para a formulação de fertilizante líquido.

A produção desejada parte de uma base de cálculo de 1000 kg de uma formulação de fertilizante líquido (20:00:00) que tenha no produto final 20% de nitrogênio. Na equação química demonstrada, pode ser observada, uma proporção de 1:2, em que, para dissolver 1 mol de ureia, são necessários 2 mol de água, tendo como produto da reação, 2 mol de carbonato de amônio.



A ureia utilizada contém uma pureza de 45% de nitrogênio, sendo o restante impurezas e materiais para enchimento. O teor de pureza e nitrogênio é especificado pelo fabricante em porcentagem m/m, existem no mercado, ureias para venda com teor de nitrogênio de até 46% de pureza.

Em 1000 kg de ureia tem-se 450 kg de Nitrogênio, Como deseja-se produzir um fertilizante contendo 20% de nitrogênio, tem-se 200 kg de nitrogênio. A partir deste dado obteve-se, através de regra de três, 444,44 kg de ureia granulada como demonstrado no cálculo:

$$\begin{aligned} 1000 \text{ kg ureia} &- 450 \text{ kg de Nitrogênio} \\ X \text{ Kg de ureia} &- 200 \text{ kg de Nitrogênio} \\ X &= 444,44 \text{ kg de Ureia} \end{aligned}$$

O valor acima da massa da ureia corresponde a 7,4 kmol de ureia. De acordo com a relação estequiométrica de 1:2 entre a ureia e a água tem-se 14,8 kmol de água, que representa 266, 4 Kg de água. Estes valores são obtidos através dos seguintes cálculos:

Para ureia:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kmol de ureia} &- 60,06 \text{ kg de ureia} \\ X \text{ Kmol de ureia} &- 444,44 \text{ kg de ureia} \\ X &= 7,4 \text{ Kmol de ureia em } 444,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

Para água em Kmol :

$$\begin{aligned} 1 \text{ kmol de ureia} &- 2 \text{ kmol de água} \\ 7,4 \text{ kmol de ureia} &- X \text{ Kmol de água} \\ X &= 14,8 \text{ kmol de água} \end{aligned}$$

Para água em Kg:

$$\begin{aligned}1 \text{ kmol de água} &- 18 \text{ kg de água} \\14,8 \text{ kmol de água} &- X \text{ Kg de água} \\X &= 266,4 \text{ kg de água}\end{aligned}$$

O valor de 444,44 Kg de água não é suficiente para dissolver a massa de ureia calculada. A ureia apresenta solubilidade de 1000g por litro de água (g.L^{-1}). Portanto foi necessário dobrar a quantidade de água empregada obtendo-se excesso da mesma, para que assim, fosse possível a diluição da ureia.

Determinação da nova massa de água:

$$266,4 \times 2 = 532,8 \text{ kg de água}$$

Portanto:

$$\begin{aligned}14,8 \text{ kmol de água} &- 266,4 \text{ kg de água} \\X \text{ kmol de água} &- 532,8 \text{ kg de água} \\X &= 29,6 \text{ kmol de água necessários para } 7,4 \text{ kmol de ureia}.\end{aligned}$$

Onde:

- 7,4 kmol de ureia correspondem a 444,44 kg de ureia
- 29,6 kmol de água, correspondem a 532,8 kg de água

Essa quantidade de ureia e água, produzem 977,2 kg de fertilizante líquido. Como a produção desejada baseia-se em 1000 kg, tem-se por uma segunda relação estequiométrica:

$$\begin{aligned}444,44 \text{ kg Ureia} &- 977,2 \text{ kg de fertilizante} \\X \text{ de Kg Ureia} &- 1000 \text{ kg de fertilizante} \\X &= 454,8 \text{ kg de ureia}\end{aligned}$$

Da mesma forma, determinou-se a quantidade de água para a produção de 1000 kg de fertilizante líquido pela seguinte relação estequiométrica:

$$\begin{aligned}532,8 \text{ kg água} &- 977,2 \text{ kg de fertilizante} \\X \text{ de Kg água} &- 1000 \text{ kg} \\X &= 535,2 \text{ kg de água}\end{aligned}$$

Portanto, são necessários 454,8 kg de ureia e 545,2 kg de água para a produção de 1000 kg de fertilizante líquido (20:00:00).

3.2 Determinação da quantidade de nitrogênio no fertilizante líquido (20:00:00)

Utilizou-se o macro método da liga de *Raney*, para a determinação do teor de nitrogênio total em fertilizantes, de acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos desenvolvido pelo ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA, 2017).

O processo baseia-se na digestão do material orgânico com ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) utilizando a liga de *Raney* como catalisador na reação, onde o nitrogênio orgânico foi convertido em sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, em solução. Após a completa digestão, alcalinizou-se a solução contendo o NH_4^+ e, o NH_3 liberado foi destilado (com um grande excesso de vapor) e recolhido em solução de ácido bórico (H_3BO_3) contendo os indicadores ácido-base, verde de bromocresol e vermelho de metila. O borato (H_2BO_3^-) formado na reação da amônia com o ácido bórico foi titulado com solução padrão de ácido sulfúrico $0,05 \text{ mol.L}^{-1} \text{ N}$ (MAPA, 2017).

Os equipamentos utilizados para o teste preliminar do fertilizante foram uma chapa aquecedora para digestão e um destilador de nitrogênio tipo *Kjeldhal*, os reagentes empregados foram: pó catalítico ou liga de *Raney* (50% Al – 50% Ni), ácido sulfúrico concentrado. A., ácido sulfúrico $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, hidróxido de sódio 60 g.L^{-1} e uma solução de ácido bórico 2 g.L^{-1} contendo os indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol (MAPA, 2017).

Inicialmente, com a formulação de fertilizante líquido já pronta, fez-se uma diluição para melhor quantificação pois devido a elevada concentração do produto, a diluição favorece de forma precisa a determinação do teor de nitrogênio, além e também utilizar menores quantidades de reagentes para tal análise.

Pesou-se 1 g do mesmo para balão de 250 ml e completou-se o volume até o menisco (MAPA, 2017). Em seguida, pesou-se 0,70 g do pó catalítico de *Raney* em béquer de 250 ml e adicionou-se 10 ml do fertilizante diluído inicialmente, seguindo então para a digestão em chapa aquecida a 200°C , onde adicionou-se 5 ml do ácido sulfúrico concentrado antes do aquecimento e cobriu-se a amostra com vidro de relógio. Nessa etapa é feita a digestão do material orgânico contido na ureia onde o nitrogênio em sua forma orgânica é convertido em sulfato de amônio em solução. (MAPA, 2017).

Após completa digestão, obteve-se a formação de uma massa verde no béquer, a qual continha o sulfato de amônio formado na reação, a massa obtida foi adicionada a um tubo digestor com acréscimo de 125 ml de água destilada e colocada, posteriormente, no destilador tipo *Kjeldhal* e, por fim adicionou-se 15 ml do hidróxido de sódio 60 g.L^{-1} (alcalinização da amostra). A mesma foi vaporizada, condensada em 10 ml da solução de ácido bórico 2 g.L^{-1} e titulada com o ácido sulfúrico padronizado a $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$. O volume gasto de ácido foi anotado para utilização no cálculo da quantidade de nitrogênio (MAPA, 2017). De acordo com a Equação1:

$$N\% = \frac{(V_a - V_b) * n_{\text{ácido}} * F_c * 14 * 100 * F_d}{P_{mg}} \quad \text{Eq (1)}$$

Onde:

- $N\%$: Teor de nitrogênio em porcentagem obtido na amostra,
- V_a : Volume da amostra gasto na titulação
- V_b : Volume do branco gasto na titulação
- $n_{\text{ácido}}$: Normalidade do ácido sulfúrico: 0,1 N
- F_c : Fator de correção do ácido: 1 (reagente comprado)
- 14: Peso molecular do Nitrogênio
- F_d : Fator da diluição realizada: Volume do balão / alíquota
- P_{mg} : Peso inicial da amostra em miligramas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos com o balanço de massas são demonstrados nas Tabelas 1 e 2 a seguir e apresentam as quantidades de ureia e água obtidas para a produção de um fertilizante líquido a 20 % de nitrogênio. Como deseja-se produzir 1000 kg da formulação proposta, analisou-se as duas tabelas, para a demonstração da viabilidade do balanço de materiais desenvolvido, para otimização do processo.

Na tabela 1 pode ser observado que, as quantidades de ureia e água empregadas, produzem 977,2 kg do fertilizante líquido, apresentando um rendimento menor, pois a produção desejada é de 1000 kg de fertilizante, sendo fabricados 22,8 kg a menos da formulação. Caso seja produzido o fertilizante, com as matérias-primas quantificadas de acordo com a tabela 1, para a produção de 1000 kg, seriam necessários 555,56 kg de água, utilizando-se 444,44 kg de ureia para o fechamento da formulação em 1000 kg. Porém, são adicionados 22,8 kg a mais de água para cada 1000 kg de fertilizante produzido, tendo-se a água em excesso

TABELA 1 - Matérias-primas de entrada no sistema para a produção de 977,2 kg de fertilizante líquido.

	Entrada	Saída
Matéria-Prima	kg	kg
Ureia 45% N	444,44	-
Água	532,8	-
Fertilizante 20% N	-	977,2
Total	977,2	977,2

Fonte: Autoria própria, 2020.

Na tabela 2, tem-se a relação da quantidade correta de ureia e água para a fabricação de 1000 kg de fertilizante líquido. A quantidade de ureia que inicialmente era de 444,44 passou para 454,8 kg e a água que antes era 532,8, passou para 545,2 kg, para que sejam obtidos 1000 kg de fertilizante líquido a 20% de N.

Pode-se observar que o aumento das matérias-primas, são proporcionais as especificações do balanço de massas proposto, com relação a base de cálculo de 1000 kg, tanto para a ureia, como para a água, não havendo riscos de a mesma estar em excesso.

Através dos resultados obtidos nas análises químicas realizadas, observou-se que a primeira análise com a quantidade de água em excesso, afetou diretamente no teor de nitrogênio no fertilizante líquido, que foi de 18,2%, gerando uma perda de 1,8 % no teor desejado que era 20 %. Já na segunda análise, a formulação desenvolvida com as matérias-primas proporcionais aos cálculos de balanço, o resultado obtido foi um teor de 20,09 % de nitrogênio, sendo este, de acordo com as especificações requeridas para o produto final.

TABELA 2 - Matérias-primas de entrada no sistema para a produção de 1000 kg de fertilizante líquido

	Entrada	Saída
Matéria-Prima	kg	kg
Ureia 45% N	454,8	-
Água	545,2	-
Fertilizante 20% N	-	1000
Total	1000	1000

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os cálculos foram desenvolvidos para produção em escala industrial, porém as formulações testes analisadas, foram produzidas em escala laboratorial onde relacionou-se as quantidades de ureia e água

determinadas por balanço para produção de 1000 g do fertilizante líquido, a fim de garantir o controle de qualidade do mesmo e validar o teste para posterior produção em larga escala.

5 CONCLUSÃO

O balanço material desenvolvido no presente trabalho, teve por finalidade a otimização do processo de fabricação industrial, de uma formulação de fertilizante líquido contendo um teor de 20 % de nitrogênio, por meio de cálculos para as quantificações necessárias das matérias-primas empregadas no processo, além de também, reduzir a quantidade de água utilizada em excesso para o fechamento de 1000 kg dessa formulação.

Através do balanço de massas determinou-se que foram necessários 454,8 kg de ureia e 545,8 kg de água para a produção de 1000 Kg do fertilizante líquido, onde o teor de nitrogênio obtido no produto final foi de 20,09 % e que a quantidade de água determinada para tal produção, gera uma menor captação de recursos hídricos, tornando o processo mais sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, N. I., **Introdução a engenharia química**. 3ª. ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2013.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Decreto Nº 4.954 de 14 de Janeiro de 2004**. Brasília, DF. 2004.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm Acesso em: 23 Set. 2020

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Instrução Normativa Nº 39, de 08 de Agosto de 2018**. Brasília, DF, 2018.

Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/36278414/do1-2018-08-10-instrucao-normativa-n-39-de-8-de-agosto-de-2018-36278366 Acesso em: 20 Out, 2020

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. **Aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. In: VITTI, G. C; BOARETTO, A. E. (Ed.). Fertilizantes fluidos. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 227-260.

FOGLER, H. S., **Elements of Chemical Reaction Engineering**, New Jersey: Prentice Hall, 1999.

MAPA, **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, 2018.

MALAVOLTA, E. **A situação da adubação fluida no Brasil**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. Fertilizantes fluidos. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p.31-51

STIPP, S. R. e PROCHNOW, A. L. I. **Panorama atual dos setores de fertilizantes fluidos e foliares**, informações agrônomicas nº 123, IPNI BRASIL, 2008. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/DFD088B6DD07FB7683257A90005EBB87/\\$FILE/Page8-20-123.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/DFD088B6DD07FB7683257A90005EBB87/$FILE/Page8-20-123.pdf). Acesso em: 01 Out. 2020

TAKATA, T. F. **Estudo da viabilidade econômica da implantação e ampliação de um processo de produção de fertilizantes**. 2019. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia mecânica. Minas Gerais, 2019.

VILLAS BOAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; VITTI, G. C. **Aspectos da fertirrigação**. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Ed.). Fertilizantes fluidos. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 283-308