



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**ESTUDO DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS:
FONTES, PRODUÇÃO, MERCADO E IMPACTO AMBIENTAL**

MARIANA CRISTINA SANTOS FERNANDES

UBERLÂNDIA - MG

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS:
FONTES, PRODUÇÃO, MERCADO E IMPACTO AMBIENTAL**

MARIANA CRISTINA SANTOS FERNANDES

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Amâncio
Malagoni

UBERLÂNDIA - MG

2022

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DE MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MARIANA CRISTINA SANTOS
FERNANDES APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM
12/04/2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni
Orientador – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Luiz Gustavo Martins Vieira
PPGEQ/UFU

MSc Dayana D'Arc de Fátima Palhares
PPGEQ/UFU

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que com seu infinito amor e bondade me ajudou a chegar até aqui, me dando forças para superar todas as dificuldades e desafios durante a graduação, sempre me protegendo e abençoando o meu caminho.

Agradeço ao meu pai Alessandro e minha mãe Juliana pelo amor incondicional, por todo o suporte dado em toda a minha vida, por terem acreditado em mim, por me apoiarem em todas as minhas escolhas e celebrarem comigo cada vitória. Todo o apoio foi imprescindível para que eu conseguisse chegar até aqui.

À minha avó Maria Aparecida (in memoriam) por ter sonhado esse sonho junto comigo, por todo carinho e por ter torcido muito pelo meu sucesso. Mesmo não estando mais presente, continua viva em meu coração e em minhas lembranças.

A todos os professores, desde o ensino fundamental, médio e da graduação, que compartilharam do conhecimento, se dedicaram e que contribuíram para a minha formação. Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni, pela oportunidade, por ter acreditado em mim e por todo apoio, incentivo e auxílio na realização deste trabalho.

Aos convidados da banca, Prof. Dr. Luiz Gustavo Martins Vieira e a MSc Dayana D'Arc de Fátima Palhares por se disporem a participar e avaliar o meu trabalho.

Aos colegas e amigos que conquistei ao longo dessa trajetória, em especial ao Matheus Carmozine e a Rayara Lima. Obrigada por toda ajuda, conselhos, pelos momentos de estudos juntos e por tornarem a caminhada mais leve.

E a todos que de alguma maneira participaram dessa longa caminhada e contribuíram com a minha formação, muito obrigada!

*“Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus,
estará com você por onde você andar.”*

Josué 1:9

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES	iii
RESUMO.....	iv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral.....	4
1.2 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Nutrientes necessários para o solo e as plantas.....	4
2.2 Fertilizantes.....	8
2.2.1 Definição e classificação.....	8
2.3 Fertilizantes Nitrogenados	11
2.3.1 Matéria-Prima	14
2.3.1.1 Gás Natural	15
2.3.2 Processo de produção.....	17
2.3.2.1 Síntese da amônia.....	18
2.3.2.2 Reforma do gás natural	19

2.3.2.3	Ureia.....	21
2.3.2.4	Nitrato de amônio.....	24
2.3.2.5	Sulfato de amônio	25
3	ANÁLISE DA CONJUNTURA MUNDIAL	26
3.1	Mercado Mundial.....	26
3.1.1	Consumo	26
3.1.2	Produção.....	30
3.1.3	Exportação e importação.....	32
3.1.4	Cenário brasileiro	37
3.2	Panorama atual.....	40
4	IMPACTOS AMBIENTAIS	43
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fertilizantes entregues ao mercado brasileiro (em milhões de toneladas).....	3
Figura 2 - Planta com deficiência de nitrogênio.....	12
Figura 3 - Etapas da produção de fertilizantes nitrogenados.....	18
Figura 4 - Processo de produção de amônia.....	19
Figura 5 - Fluxograma do processo de síntese industrial da Ureia.....	23
Figura 6 - Fluxograma simplificado do processo de fabricação do nitrato de amônio.....	25
Figura 7 - Etapas da produção do sulfato de amônio.....	26
Figura 8 - Consumo mundial de fertilizantes NPK ao longo dos anos por nutriente (em milhões de toneladas).	27
Figura 9 - Consumo dos fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).....	28
Figura 10 - Consumo dos principais fertilizantes nitrogenados no mundo (em milhões de toneladas).	28
Figura 11 - Consumo de Ureia (em milhões de toneladas).....	29
Figura 12 - Consumo de Nitrato de amônio (em mil toneladas).	29
Figura 13 - Consumo de Sulfato de amônio (em mil toneladas).	30
Figura 14 - Produção mundial de fertilizantes por nutriente (em milhões de toneladas).	31
Figura 15 - Produção de fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).....	31
Figura 16 - Produção mundial dos principais fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).....	32
Figura 17 - Dependência externa por fertilizantes.....	38
Figura 18 - Consumo nacional dos principais fertilizantes nitrogenados (em toneladas).	38
Figura 19 - Produção nacional dos principais fertilizantes nitrogenados (em mil toneladas).....	39
Figura 20 - Principais origens das importações de nitrogenados.	39
Figura 21 - Importações dos principais fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de fertilizantes no Brasil (em milhões de toneladas).....	2
Tabela 2 - Nutrientes essenciais para as plantas e suas respectivas funções.	6
Tabela 3 - Comparação dos custos de produção da amônia a partir de diferentes matérias-primas.....	14
Tabela 4 - Ranking dos países com maiores reservas de gás natural.	16
Tabela 5 - Ranking dos maiores produtores de gás natural do mundo.	16
Tabela 6 - Ranking dos maiores consumidores de gás natural.	17
Tabela 7 - Maiores importadores de fertilizantes.	33
Tabela 8 - Maiores exportadores de fertilizantes.....	33
Tabela 9 - Os maiores importadores de fertilizantes nitrogenados.....	34
Tabela 10 - Os maiores exportadores de fertilizantes nitrogenados.	34
Tabela 11 - Dados de importação de Ureia.	34
Tabela 12 - Dados de exportação da Ureia.	35
Tabela 13 - Dados de importação do Nitrato de amônio.	35
Tabela 14 - Dados de exportação do Nitrato de amônio.	36
Tabela 15 - Dados de importação do Sulfato de amônio.....	36
Tabela 16 - Dados de exportação do Sulfato de amônio.	37

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ONU - Organização das Nações Unidas

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural

FAO - Organização para a Alimentação e Agricultura

NH_3 - amônia anidra

P_2O_5 - pentóxido de fósforo

MAP - fosfato monoamônico

DAP - fosfato diamônico

K_2O - óxido de potássio

NO_3^- - Nitrato

NH_4^+ - amônio

H_2PO_4 - ácido fosfórico

SO_4^{2-} - sulfato

H_3BO_3 - ácido bórico

MoO_4^{2-} - molibdato

HNO_3 - ácido nítrico

NH_2CONH_2 - ureia

NH_4NO_3 - nitrato de amônio

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - sulfato de amônio

RESUMO

Os fertilizantes nitrogenados constituem uma das classes dos fertilizantes minerais e apresentam em sua composição o nitrogênio como macronutriente principal, o qual é o nutriente mais requerido pelas plantas e, conseqüentemente, o mais consumido e produzido no mundo todo. Os principais fertilizantes nitrogenados e que ganharam destaque neste trabalho foram a Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio, pois são os mais difundidos no mundo. Apesar de serem produzidos através de diferentes formulações, todos partem da síntese da amônia anidra, a qual é produzida através da reação do nitrogênio (proveniente do ar) com o hidrogênio (obtido principalmente do gás natural). Em comparação com outras matérias-primas, o gás natural é o mais utilizado por apresentar menor custo de instalação e operação da planta. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre a indústria de fertilizantes nitrogenados, analisando a principal fonte de matéria-prima, descrevendo os processos de produção dos principais fertilizantes nitrogenados, analisando o mercado consumidor, produtor e o panorama atual, além dos impactos ambientais causados por esse setor. Constatou-se que a Rússia é o país com maior reserva de gás natural do mundo e que ocupa o 2º lugar no ranking dos produtores de gás, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. A China é o maior produtor, consumidor e exportador de fertilizantes nitrogenados. Em relação ao Brasil, o país ainda é muito dependente das importações, pois a produção nacional não acompanha a demanda brasileira. Nos últimos anos, houve um aumento do preço do gás natural, o que afeta diretamente os preços dos fertilizantes nitrogenados. Além disso, devido à pandemia da Covid-19 e das tensões geopolíticas, houve restrições de exportação e importação dos fertilizantes, conseqüentemente, as previsões mostram que para as próximas safras haverá uma redução na demanda.

Palavras-chave: fertilizantes, nitrogênio, ureia, gás natural, mercado mundial, impacto ambiental.

1 INTRODUÇÃO

A fertilização do solo refere-se à prática de aplicação de fertilizantes (adubos) para repor os nutrientes que são necessários para o desenvolvimento das plantações. A utilização de adubos iniciou-se na China (8.000 a.C), quando os Chineses utilizavam restos animais e esterco humano nas lavouras. Na Idade Média, a adubação estendeu-se por outras regiões como França e Bélgica, onde era utilizado esterco animal e lixo humano (DIAS, 2005).

Um grande marco histórico sobre a adubação dos solos deu-se por meio das publicações do renomado químico e cientista Justus Von Liebig. Em seus estudos, Liebig relatou a importância dos compostos químicos presentes no solo para o crescimento das plantas. O cientista concluiu que os elementos minerais nutriam a vegetação, e que o ácido carbônico, a água e a amônia eram fontes de carbono, hidrogênio e nitrogênio, respectivamente (DEROSSI, 2018; DIAS, 2005).

Outra observação feita por Liebig foi que, a cada colheita, uma porção dos materiais necessários para o crescimento das plantas é removida. Uma parte é novamente suprida pela fonte atmosférica, porém outra parte só pode ser substituída pelo homem. Além disso, a fertilidade de um solo mantém-se constante se os componentes necessários são repostos a terra (DEROSSI, 2018).

Em 1843, surgiu na Inglaterra a primeira fábrica de fertilizantes com a produção de superfosfato simples. Porém, a evolução da indústria desse setor aconteceu com a produção da amônia, com uma tecnologia alemã, com a qual foi possível poupar de novas plantações milhões de hectares agrícolas (QUARTUCCI, 2005).

A utilização de fertilizantes na agricultura é um dos principais fatores que possibilita o aumento da produção alimentar global. Sem a sua aplicação no solo, seria possível produzir somente metade dos alimentos básicos e mais áreas teriam que ser convertidas em áreas de cultivo. O aumento da produtividade agrícola ao longo dos anos se faz necessário devido ao constante aumento da população. Segundo o relatório da ONU, estima-se que até 2050, a população mundial chegue a 10 bilhões de pessoas (ONU, 2021; REETZ JR, 2017).

Conforme as produções das culturas aumentam, a quantidade de nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantações também aumenta, e caso não haja reposição dessas substâncias, há grandes chances de perda na produção. Por essa razão, os empregos dos fertilizantes na agricultura asseguram o suprimento desses nutrientes, garantindo altos níveis

de produção e, conseqüentemente, retorno econômico significativo para os agricultores (REETZ JR, 2017).

De acordo com REETZ Jr (2017), para suprir a demanda necessária para a população em 2050, a produção agrícola mundial necessitará ser 60% maior do que em 2005/2007. Contudo, também será necessário manusear o uso de fertilizantes no solo de maneira sustentável para uma melhora contínua no cultivo agrícola e para gerar menos impacto ao meio ambiente.

Conseqüentemente, ao longo dos anos, o consumo de fertilizantes vem aumentando em todo o mundo. No Brasil, houve um aumento considerável ao longo dos anos, principalmente a partir de 2009/2010. Considerando o consumo no ano de plantio da safra, a média trienal da quantidade consumida de adubos está representada na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de fertilizantes no Brasil (em milhões de toneladas).

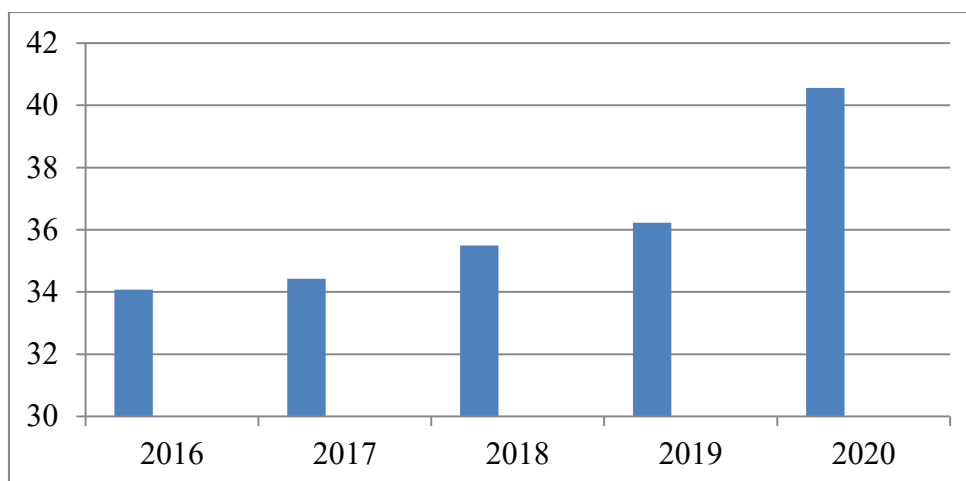
Período	Consumo
00/01 a 02/03	7.029
03/04 a 05/06	9.195
06/07 a 08/09	9.626
09/10 a 11/12	10.279
12/13 a 14/15	13.352
15/16 a 17/18	14.507
18/19 a 20/21	16.297

Fonte: ANDA (2021).

Aumentando a quantidade consumida, a entrega de fertilizantes ao mercado também aumenta para conseguir acompanhar a demanda. Em 2018, foi obtida a maior quantidade de entrega de fertilizantes da história do Brasil até então, superando a marca de 2017 em 3,1%. A soja seguida pelo milho foi a cultura onde houve a maior utilização desses produtos. No ano de 2020, o país registrou um crescimento de 11,9% em relação ao ano de 2019. No mês de novembro de 2021, o país já havia passado a marca do ano anterior, entregando 42.540.832 toneladas, o que representou um aumento de 14,20%, antes mesmo do término do ano de 2021. A quantidade de fertilizantes entregue ao mercado considera alguns fatores como, o estoque inicial da indústria, a quantidade produzida, importada e exportada (ANDA, 2018).

É possível observar todo o crescimento ao longo dos anos através da Figura 1.

Figura 1 - Fertilizantes entregues ao mercado brasileiro (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da ANDA (2021).

Dentre os elementos químicos necessários para a fertilização das plantas, o nitrogênio (N), o potássio (K) e o fósforo (P) são os mais importantes e constituem os fertilizantes Nitrogenados, Potássicos e Fosfatados, respectivamente. Além disso, dentre estas três categorias, os nitrogenados ganham grande destaque, pois são responsáveis por grande quantidade do consumo e produção de fertilizantes no mundo, além do alto impacto ambiental gerado através da sua produção e utilização (REETZ JR, 2017).

Apesar de produzir fertilizantes nitrogenados, o Brasil ainda importa grande parte deste adubo sintético. Em 2018, o país importou mais de nove milhões de toneladas, o dobro comparado a 2008. Um dos principais fatores que explica este fato é a indisponibilidade de matéria-prima básica (gás natural) para a produção deste fertilizante. Porém, há vários anos, o Governo Federal vem criando algumas medidas como leis e programas para incentivar e atrair novos investidores no setor do gás natural visando aumentar a produção no Brasil, impactando diretamente na produção de fertilizantes nitrogenados (JUNIOR, 2019).

Considerando o crescimento e a importância da utilização dos fertilizantes na produção agrícola, a grande quantidade de fertilizantes nitrogenados utilizados, e os estímulos do governo brasileiro para a entrada de novos fornecedores do gás natural, há a necessidade de analisar a indústria de fertilizantes nitrogenados para compreender melhor as perspectivas futuras desse setor.

1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho foi realizar um estudo da Indústria de fertilizantes nitrogenados, levando em consideração a fonte, a produção, o consumo e o impacto ambiental causado. Realizou-se uma pesquisa descritiva e explicativa para atingir o objetivo apresentado.

1.2 Objetivos Específicos

A fim de cumprir o objetivo geral do trabalho, alguns objetivos específicos estão listados a seguir:

- identificar a principal fonte de matéria-prima para a produção de fertilizantes nitrogenados;
- descrever o processo de fabricação dos principais tipos de fertilizantes nitrogenados;
- analisar o cenário mundial incluindo consumo, produção, importação e exportação;
- analisar o impacto ambiental causado pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados no solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nutrientes necessários para o solo e as plantas

O solo é constituído por componentes químicos, físicos e biológicos, e sofre influência do clima e das práticas de manipulação do homem que geram intensas transformações. A prática de fertilização é fundamental para a vegetação, pois fornece todos os nutrientes necessários para o crescimento das plantas. A fertilidade da terra é a capacidade do solo em suprir os elementos que são essenciais à vegetação e depende de suas características físicas e químicas. Se um solo é rico em nutrientes, ele é considerado fértil (CUNHA, 2017; VARASCHINI, 2012).

Como descrito anteriormente, solos ricos em nutrientes garantem boa capacidade de produção e o desenvolvimento das vegetações, o que é primordial para a produção de alimentos, e produtos industriais. Os solos diferem entre si na capacidade em atender a necessidade de nutrientes das plantas e a maioria apresenta uma fertilidade mediana. Logo, para atingir a capacidade de produção almejada, mais nutrientes são necessários do que aqueles que o solo é capaz de suprir. Além disso, com o aumento na produção de culturas, há um esgotamento de nutrientes, portanto é necessário realizar a reposição dos mesmos para manter o solo fértil (REETZ JR, 2017).

A carência nutricional das plantas é definida pela quantidade de nutrientes que é extraída durante seu ciclo. Para o crescimento e manutenção celular, é preciso fornecer água e sais minerais. Assim, para garantir um bom desenvolvimento das vegetações, é preciso deixar à disposição das plantas a quantidade total de nutrientes que a mesma extrai e que deve ser fornecida ao solo por meio de adubações. Através da energia luminosa as plantas conseguem realizar a fotossíntese, transformando CO_2 e água em compostos orgânicos e inorgânicos para a produção de aminoácidos e vitaminas (CUNHA, 2017; VARASCHINI, 2012).

As plantas possuem praticamente todos os elementos químicos naturais, no entanto, alguns deles são nutrientes essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento e precisam ser fornecidos pelo solo, por fontes orgânicas ou por fertilizantes minerais. O oxigênio (O), carbono (C) e o hidrogênio (H) são fornecidos pelo ar e pela água, por isso são classificados como macronutrientes orgânicos. O restante são elementos minerais que as raízes das plantas adquirem no solo (REETZ JR, 2017).

Os nutrientes essenciais para as plantas são divididos em macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes. Os macronutrientes primários são os mais requeridos pelas plantas, por isso são considerados os elementos mais importantes para o processo produtivo, pois os outros nutrientes são utilizados em pequenas quantidades (CUNHA, 2017; PAULA, 2020).

A Tabela 2 apresenta os nutrientes fundamentais para as plantas e suas respectivas funções.

Tabela 2 - Nutrientes essenciais para as plantas e suas respectivas funções.

(continua)

Macronutrientes Primários		
Elemento	Forma primária de absorção	Função na vegetação
Nitrogênio (N)	NO_3^- ou NH_4^+	Processo de fotossíntese e produção de aminoácidos e de proteínas.
Fósforo (P)	H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}	Processo de fotossíntese e metabolismo dos açúcares e amidos.
Potássio (K)	K^+	Balanco hídrico e iônico, regulamentação de processos químicos e enzimáticos e absorção de nutrientes.
Macronutrientes Secundários		
Elemento	Forma primária de absorção	Função na vegetação
Cálcio (Ca)	Ca^{2+}	Componente das paredes celulares Regulador da atividade enzimática.
Magnésio (Mg)	Mg^+	Participação da molécula de clorofila e ativador de enzimas.

(conclusão)

Macronutrientes Secundários		
Elemento	Forma primária de absorção	Função na vegetação
Enxofre (S)	SO_4^{2-}	Componente de aminoácidos e proteínas.
Micronutrientes		
Elemento	Forma primária de absorção	Função na vegetação
Cloro (Cl)	Cl^-	Participação na osmose e no balanço iônico.
Ferro (Fe)	Fe^{2+}	Participação na fotossíntese e na síntese de clorofila.
Boro (B)	H_3BO_3	Participação na síntese de ácidos nucleicos e formação da parede celular.
Manganês (Mg)	Mn^{2+}	Ativador de enzimas e crescimento das plantas.
Zinco (Zn)	Zn^{2+}	Ativador de enzimas e importante para integridade da parede celular.
Cobre (Cu)	Cu^{2+}	Participa na produção de enzimas e proteínas.
Molibdênio (Mo)	MoO_4^{2-}	Participação na fixação do Nitrogênio.

Fonte: (CUNHA, 2017; REETZ JR, 2017).

2.2 Fertilizantes

A quantidade necessária de nutrientes depende da cultura. Após o ciclo de plantio e colheita, ocorre a perda de elementos do solo, devido à absorção pela vegetação, deixando o solo desgastado e pobre em nutrientes. A utilização dos fertilizantes é justamente para repor os componentes perdidos, a fim de suprir e garantir o rendimento e até aumentar a produtividade agrícola (REETZ JR, 2017).

2.2.1 Definição e classificação

Segundo a Legislação Brasileira (Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004), os fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas. Podem ser classificados em:

- **Fertilizante Mineral:** produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas;
 - **Fertilizante mineral simples:** produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas.
 - **Fertilizante mineral misto:** produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes minerais.
 - **Fertilizante mineral complexo:** produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes.

- **Fertilizante Orgânico:** produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;
 - **Fertilizante orgânico simples:** produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas.
 - **Fertilizante orgânico misto:** produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas.

- **Fertilizante orgânico composto:** produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas.
- **Fertilizante Organomineral:** produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

Quanto à quantidade de macronutrientes presentes, os fertilizantes podem ser classificados como:

- **Fertilizante mononutriente:** produto que contém um só dos macronutrientes primários.
- **Fertilizante binário:** produto que contém dois macronutrientes primários.
- **Fertilizante ternário:** produto que contém os três macronutrientes primários.

De acordo com a Normativa nº 61, de 8 de Julho de 2020, os fertilizantes minerais podem ser classificados quanto à sua natureza física sólida:

- **Pó:** 100% das partículas possuem diâmetro menor que 2,00 mm (ABNT 10)
70% das partículas possuem diâmetro menor que 0,84 mm (ABNT 20)
50% das partículas possuem diâmetro menor que 0,30 mm (ABNT 50)
- **Farelado:** 90% das partículas possuem diâmetro menor que 4,80 mm (ABNT 4)
80% das partículas possuem diâmetro menor que 2,83 mm (ABNT 7)
30% das partículas possuem diâmetro menor que 0,50 mm (ABNT 35)
- **Granulado:** 90% das partículas possuem diâmetro menor que 4,80 mm (ABNT 4)
40% das partículas possuem diâmetro menor que 2,00 mm (ABNT 10)
5% das partículas possuem diâmetro menor que 1,00 mm (ABNT 18)

Os fertilizantes minerais podem ser divididos em quatro classes: fertilizantes nitrogenados, fertilizantes fosfatados, fertilizantes potássicos e fertilizantes NPK, levando em consideração a presença dos macronutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio), pois são os mais requeridos pela vegetação (ALMEIDA, 2018). A seguir estão descritas cada uma das classes e suas respectivas características.

- **Fertilizantes nitrogenados:** apresentam na composição o nitrogênio como o macronutriente principal. Este elemento é fundamental para o processo de fotossíntese e para a produção de proteínas nas culturas. Este tipo de fertilizante é produzido a partir de uma variedade de formulações com diferentes propriedades, porém, todos partem da síntese da amônia anidra (NH_3) que é produzida a partir do nitrogênio (obtido da atmosfera) e hidrogênio (obtido do gás natural). A amônia é combinada com outros compostos para formar diferentes fertilizantes nitrogenados, como: Ureia, Sulfato de amônio, Nitrato de amônio, entre outros (ALMEIDA, 2018; REETZ JR, 2017).
- **Fertilizantes Fosfatados:** Possui na composição o fósforo como macronutriente principal, e é expresso na forma de óxido (P_2O_5), atuando no metabolismo e participando da transferência de energia da célula, da respiração e da fotossíntese. A matéria-prima deste fertilizante é o minério de rocha fosfática. Essas rochas são formadas através da sedimentação derivada de vida animal ou decorrente da atividade de vulcões. Assim que é extraída, a rocha passa por alguns processos para obtenção dos fertilizantes fosfatados. Quando é solubilizado por vias úmida e térmica, é formado o superfosfato simples e fosfato parcialmente acidulado. Quando é processado com ácido fosfórico, é obtido os fertilizantes MAP, DAP e superfosfato triplo (ALMEIDA, 2018; CUNHA, 2017).
- **Fertilizantes Potássicos:** Em sua composição, está o potássio como macronutriente principal e é expresso na forma de óxido (K_2O). Este nutriente regula o fluxo de água e de outros materiais através das membranas celulares nas plantas e ajuda a regular diversos processos químicos e enzimáticos, sendo fundamental para a absorção de nutrientes. O potássio pode ser encontrado em minerais como silvinita e canalita, por exemplo. O minério passa por três processos: flotação, separação por meios densos e

dissolução, e cristalização. Os principais fertilizantes potássicos são: Cloreto de potássio e sulfato de potássio (ALMEIDA, 2018; REETZ JR, 2017).

- **Fertilizantes NPK:** São misturas de grânulos contendo os três macronutrientes ditos anteriormente. Os nutrientes precisam estar na proporção adequada para definir as matérias-primas necessárias para a produção deste fertilizante. Eles foram desenvolvidos para atender as exigências nutricionais de vários tipos diferentes de solo. A concentração dos nutrientes é expressa em relação à porcentagem no fertilizante. Por exemplo, um fertilizante com fórmula 12-32-16, indica a presença de 12% de N, 32% de P e 15% de K (ALMEIDA, A., 2018; REETZ JR, 2017).

2.3 Fertilizantes Nitrogenados

Como dito anteriormente, o nitrogênio é o principal nutriente dos fertilizantes nitrogenados e em termos de quantidade, é o composto mais requerido pelas plantas. Além de compor a molécula de clorofila, que é responsável pela fotossíntese, ele é necessário também para a produção de proteínas das culturas e para o desenvolvimento das plantas, pois participa da composição dos aminoácidos, ácidos nucleicos e diversas enzimas que são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento da vegetação. Portanto, é um composto essencial e que participa de todas as fases: crescimento, floração e frutificação (RAMOS, 2020).

O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), e pode ser incorporado ao solo por diferentes maneiras, como: através de compostos orgânicos (restos de animais e vegetais), compostos inorgânicos (fertilizantes nitrogenados sintéticos), ou através da fixação biológica simbiótica. Contudo, o manejo deste composto na agricultura é um processo complexo devido á reações biológicas e químicas que ele pode sofrer no ambiente. Além disso, ele pode ser perdido ou imobilizado por lixiviações causadas pela irrigação, ou por volatilização, já que ele tem como composição a amônia, que é um produto volátil (COLOMBO, 2017; PAULA, 2020).

A deficiência de nitrogênio nas plantas provoca retardamento no crescimento e clorose nas folhas, deixando-as de tom verde-amarelado. A clorose pode ser generalizada, ocorrendo perda foliar (MELO, 2014). A Figura 2 apresenta uma folha com deficiência de nitrogênio.

Figura 2 - Planta com deficiência de nitrogênio.



Fonte: (RAMOS, 2020).

Existem vários tipos de fertilizantes nitrogenados com diferentes fórmulas, propriedades e usos na agricultura. Contudo, todos eles são obtidos a partir da amônia anidra, fornecendo aos agricultores uma ampla variedade deste produto para manejar o nitrogênio e atender as necessidades de cada cultura (REETZ JR, 2017).

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no mundo estão descritos a seguir:

- **Amônia anidra (NH_3):** é a forma de fertilizante nitrogenado comercial mais concentrado (82% de N). Pode ser transportada através de caminhões, dutos e navios, em forma de líquido sobre refrigeração para mantê-la abaixo do seu ponto de ebulição. Devido à alta perda por volatilização, a amônia simples não é mais utilizada como fertilizante, e somente como matéria-prima para a produção de outros fertilizantes. É comum que as fábricas que produzem amônia fiquem próximas aos suprimentos de gás natural, visto que é a fonte mais comum de energia para a fabricação dos fertilizantes nitrogenados.
- **Ureia (NH_2CONH_2):** é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo devido à facilidade de produção. É um produto sólido, contém 46% de nitrogênio na forma amídica (NH_2) e é aplicado para melhorar o rendimento das culturas. Possui baixo

custo de obtenção, baixa corrosividade, alta solubilidade e é de fácil mistura com outras fontes. Porém, também apresenta maior susceptibilidade à volatilização. É obtido a partir da reação da amônia (NH_3) com o dióxido de carbono (CO_2). Devido à alta solubilidade em água, é rapidamente introduzida ao solo através da água da chuva ou por irrigação (PAULA, 2020; REETZ JR, 2017).

- **Nitrato de amônio (NH_4NO_3):** contém 33 a 34% de N e é produzido como uma solução concentrada pela reação do gás (NH_3) com ácido nítrico (HNO_3). É considerado uma das formas mais eficientes e rápidas, pois os outros tipos de nitrogenados precisam passar por uma conversão da forma de nitrato no solo antes de serem assimilados pelas plantas. É apresentado na forma nítrica e metade na forma amoniacal, cuja combinação proporciona menor perda por volatilização e acidificação do solo. Contudo, apresenta perdas por lixiviação, pois fica prontamente disponível na solução do solo (COLOMBO, 2017; MENDONÇA, 2015).
- **Sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$:** possui 21% de nitrogênio e é produzido pela reação da amônia com o ácido sulfúrico. Apesar de possuir alto preço por unidade de N, é uma fonte bastante utilizada e apresenta também em sua composição, o enxofre (24%). Apesar da baixa concentração de N, a sua utilização é favorável em solos com baixo teor de enxofre. Possui boas propriedades físicas que garantem poucas perdas por volatilização, baixa taxa de nitrificação, aumento da solubilidade do fósforo no solo, o que aprimora e potencializa a absorção dos nutrientes pelas plantas. Porém, é o nitrogenado com maior preço por unidade N, o que diminui a sua participação no mercado. Além disso, ele apresenta um alto poder acidificante do solo (COLOMBO, 2017; REETZ JR, 2017).

A aplicação do nitrogênio de diferentes formas no solo dão respostas semelhantes em relação à produtividade. A eficiência é reduzida devido à perdas por lixiviação de nitrato ou volatilização de amônia, que acontece em certas condições de umidade do solo e temperatura. A maioria dos nitrogenados é convertida no solo na forma de nitrato e amônio. Na forma de nitrato é imediatamente disponível, atuando mais rapidamente, porém com mais probabilidade de perdas por lixiviação e/ou desnitrificação. Na forma de amônio o efeito é mais lento, pois primeiro é adsorvido pelas partículas do solo, para depois ser gradualmente liberado e

nitrificado. Entretanto, nessa forma há menos perdas por lixiviação (REETZ JR, 2017). O presente trabalho apresenta como objeto de estudo os três principais fertilizantes nitrogenados mais difundidos no mundo: Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio.

2.3.1 Matéria-Prima

Os fertilizantes nitrogenados são obtidos a partir da fabricação de amônia anidra (NH_3), que por sua vez é produzida através da reação do gás de síntese, uma mistura na relação de 1:3 de nitrogênio (N) proveniente do ar, com o hidrogênio (H) obtido de várias fontes: gás natural, da nafta, do gás de refinaria, do óleo pesado ou carvão, e de outros derivados do petróleo, dependendo da disponibilidade e do custo na região que será localizada a planta (CUNHA, 2017).

Entre os diversos processos de produção de amônia, os mais comuns são: a reforma a vapor do gás natural e a oxidação parcial de óleos pesados ou carvão. A reforma a vapor é responsável por cerca de 85% da produção de amônia, devido ao seu menor custo de implementação e operação da planta em comparação com as outras técnicas, como é possível observar na Tabela 3 (BARROS; FARIA, 2015).

Tabela 3 - Comparação dos custos de produção da amônia a partir de diferentes matérias-primas.

	Reforma a vapor		Oxidação parcial	
	Gás Natural	Óleo Pesado	Óleo Pesado	Carvão
Custo de investimento	1,0	1,5	1,5	2,5
Custo de energia	1,0	1,3	1,3	1,7
Custo de produção	1,0	1,2	1,2	1,7

Fonte: Adaptado de Barros e Faria (2015).

Através da Tabela 3, é possível observar que os custos relativos para o processo utilizando gás natural é inferior aos custos utilizando óleo pesado e carvão. Conseqüentemente, o gás natural é utilizado como a matéria prima básica para a produção de amônia e conseqüentemente para os fertilizantes nitrogenados. Visto isso, se faz necessário entender e estudar um pouco mais sobre este produto.

2.3.1.1 Gás Natural

Segundo a Legislação Brasileira, pelo art. 3º, inciso XXI, da Lei nº 14.134, de 8 de Abril de 2021, o gás natural é todo hidrocarboneto que permanece em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, cuja composição poderá conter gases úmidos, secos e residuais.

O gás natural é composto por metano, hidrocarbonetos líquidos e alguns gases que não são hidrocarbonetos. Pode ser utilizado como combustível ou como matéria-prima para produção de hidrogênio, gás de síntese, amônia e outros (PAULA, 2020).

Na indústria, o gás natural é aplicado como combustível para geração de eletricidade, força motriz e fornecimento de calor. É utilizado também como matéria-prima nos setores químicos e petroquímicos na produção de metanol e fertilizantes como amônia e ureia. Com a sua utilização, é possível realizar uma combustão limpa, sem poluição, sendo ideal para processos com queima em contato direto com o produto final (PETROBRAS, 2021).

No Brasil, a utilização do gás natural como matéria-prima para a produção dos fertilizantes nitrogenados teve início em 1971 com uma fabrica localizada em Camaçari (BA), a qual deu origem à Nitrofertil e, posteriormente, com a construção de outra unidade em Laranjeiras (SE), consolidando a indústria de fertilizantes nitrogenados no país (DIAS; FERNANDES, 2006).

Atualmente, a obtenção do gás natural é através do petróleo extraído de campos marítimos em águas profundas. A maioria dos gasodutos de transporte pertence à Petrobras. A pressão para redução do consumo de combustíveis fósseis aumenta cada vez mais, ampliando o mercado de fontes renováveis, fazendo com o que as empresas petrolíferas invistam em projetos renováveis (ANP, 2018).

Nos Estados Unidos, o gás natural é produzido diretamente de formações rochosas que possuem hidrocarbonetos em seus poros. O processo consiste em fraturar as rochas com água a alta pressão, para forçar água, produtos químicos e areia, liberando o gás natural e o

petróleo. Este processo está revolucionando a indústria americana, reduzindo as importações dos países do Oriente Médio (ANP, 2018).

As reservas mundiais de gás natural em 2020 somaram 188,1 trilhões de m³. A Tabela 4 mostra o ranking de países com as maiores reservas de gás natural.

Tabela 4 - Ranking dos países com maiores reservas de gás natural.

País	Área de reservas de gás de natural (trilhões de m ³)	Ranking
Rússia	37,4 (19,9% do total mundial)	1º
Irã	32,1 (17,1% do total mundial)	2º
Catar	24,7 (13,1% do total mundial)	3º
Brasil	0,35	33º

Fonte: (ANP, 2021).

Em 2020, a produção de gás natural alcançou 3,9 trilhões de m³. A Tabela 5 mostra o ranking mundial dos maiores produtores de gás natural no mundo.

Tabela 5 - Ranking dos maiores produtores de gás natural do mundo.

País	Produção de gás de natural (bilhões de m ³)	Ranking
Estados Unidos	914,6 (23,7% do total mundial)	1º
Rússia	638,5 (16,6% do total mundial)	2º
Brasil	23,9 (0,6% do total mundial)	30º

Fonte: (ANP, 2021).

Em 2020, o consumo global de gás natural alcançou aproximadamente 3,8 trilhões de m³. A Tabela 6 mostra o ranking mundial dos maiores consumidores de gás natural no mundo.

Tabela 6 - Ranking dos maiores consumidores de gás natural.

País	Consumo de gás de natural (bilhões de m ³)	Ranking
Estados Unidos	838 (21,8% do total mundial)	1º
Rússia	411,4 (10,8% do total mundial)	2º
China	330,6 (8,6% do total mundial)	3º
Brasil	32,1 (0,8% do total mundial)	30º

Fonte: (ANP, 2021).

O alto preço do gás natural dos últimos anos reduziu drasticamente os benefícios da produção de fertilizantes, causando desinteresse no investimento da indústria, tornando o Brasil cada vez mais dependente das importações. Porém, com a descoberta das novas Bacias Sergipe-Alagoas e Solimões, há uma perspectiva de aumento da produção nacional nos próximos anos, causando redução do preço e retorno da atratividade da produção de fertilizantes, que são derivados do gás (RAMOS, 2020).

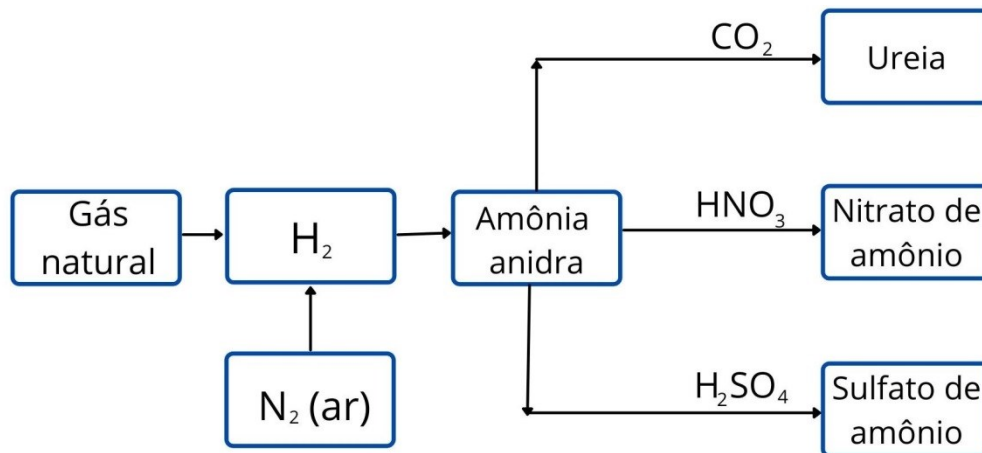
Ao longo dos anos, o governo brasileiro propõe leis e programas que visam atrair novos investidores no setor de gás natural, visando aumentar a produção deste gás no país, impactando diretamente na produção de fertilizantes nitrogenados. A nova Lei do Gás Natural (14.134/2021) visa aumentar a concorrência no mercado deste setor para reduzir o custo de produção e, conseqüentemente, o preço final para o consumidor. Ela também coloca fim ao regime de concessão e licitação por parte do poder público e permite que sejam construídos gasodutos com a autorização da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), tornando o processo mais simples, transparente e promovendo a competitividade desse setor no país (BRASIL, 2021).

2.3.2 Processo de produção

A produção dos fertilizantes nitrogenados inicia-se com a reforma do gás natural para a obtenção do hidrogênio. Em seguida, acontece a reação do gás de síntese, onde o nitrogênio proveniente do ar reage com o hidrogênio em uma relação de 1:3, para obtenção da amônia anidra. Então a partir da reação da amônia com outros compostos, é possível obter os

fertilizantes nitrogenados. A Figura 3 mostra as etapas do processo de produção a partir do gás natural até a produção dos três principais fertilizantes nitrogenados (REETZ JR, 2017).

Figura 3 - Etapas da produção de fertilizantes nitrogenados.



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir estão descritos as etapas do processo de produção dos fertilizantes nitrogenados.

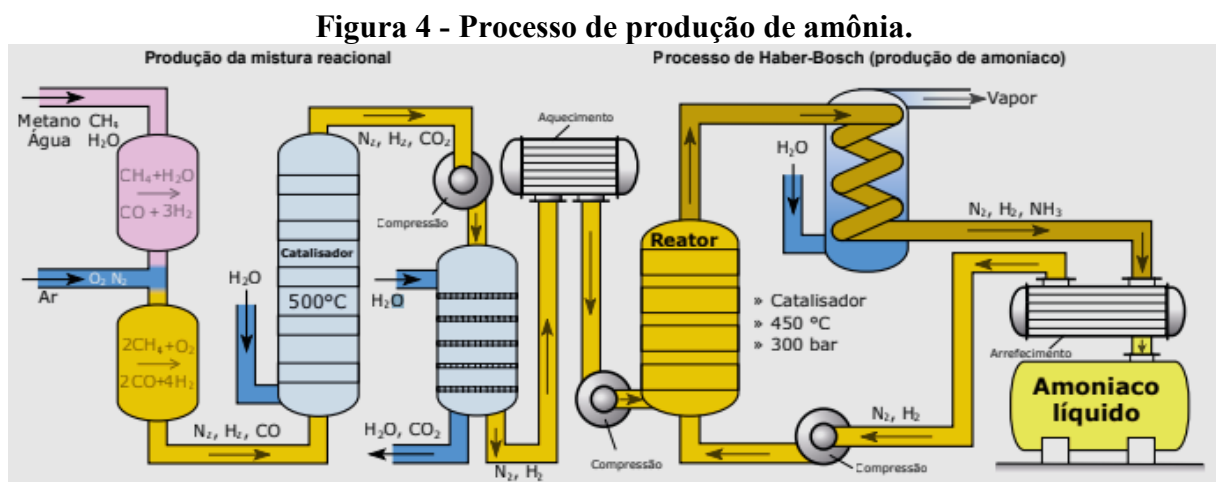
2.3.2.1 Síntese da amônia

Desde o século XIX, houve muitas tentativas para sintetizar a amônia. Com o progresso dos estudos científicos, principalmente de catálise, foi possível obter esse composto. O químico alemão Fritz Haber conseguiu criar uma forma de reagir o nitrogênio atmosférico com o hidrogênio na presença de catalisador de ferro em pressões e temperaturas elevadas para produzir amônia. Posteriormente, o químico Carl Bosch implementou a síntese da amônia em escala industrial. O processo industrial foi desenvolvido em 1909 e foi o que possibilitou a produção em massa de fertilizantes a partir da amônia. O método mistura nitrogênio atmosférico com hidrogênio em proporção estequiométrica de 1:3. (Equação 1) (REETZ JR, 2017; RIBEIRO, 2013) .



A partir disso o processo para obtenção da amônia recebeu o nome de Haber-Bosch em homenagem ao cientista alemão Fritz Haber, e ao químico industrial Carl Bosch. O processo é considerado o desenvolvimento tecnológico mais importante do século XX, fazendo com que Haber e Bosch ganhassem o Prêmio Nobel. Para a realização do processo, N_2 e H_2 são colocados dentro de um reator e após reagirem e atingirem o equilíbrio, são transferidos para um condensador. Nesta etapa do condensador, a amônia que se encontrava em estado gasoso, se torna líquida (BARROS; FARIA, 2015; RIBEIRO, 2013).

A Figura 4 ilustra todo o processo desde a produção de H_2 até a obtenção da amônia pelo processo de Haber-Bosch. O início do processo ilustra a obtenção de H_2 , que hoje é obtido através da reforma do gás natural que está descrita no próximo item.



Fonte: (RIBEIRO, 2013).

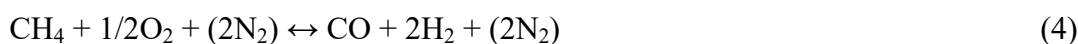
2.3.2.2 Reforma do gás natural

O processo até a obtenção da amônia a partir da reforma do gás natural é dividido em algumas etapas:

- **Purificação do gás natural:** nesta primeira etapa, ocorre a purificação do gás natural. Há a remoção dos compostos de enxofre, como o ácido sulfídrico (H_2S), sulfeto de carbonila (COS) e tiofenos (C_4H_4S), para evitar envenenamento dos catalisadores da reforma e da síntese. O ácido sulfídrico é removido utilizando um adsorvente de óxido de zinco (Equação 2) (BARROS; FARIA, 2015).



- **Reforma a vapor:** na segunda etapa, os hidrocarbonetos são convertidos em óxidos de carbono e hidrogênio (reforma primária). Porém, somente 60% do CH₄ alimentado são convertidos em gás de síntese, portanto, se torna necessária uma reação posterior (reforma Secundária) que será a oxidação parcial. Nessa fase, nitrogênio proveniente do ar no processo é introduzido (Equações 3 e 4) (BARROS; FARIA, 2015).



- **Conversão de monóxido de carbono e remoção de CO₂:** nesta etapa, o monóxido de carbono gerado passa por um processo de conversão a CO₂ com geração adicional de hidrogênio (Equação 5). Essa reação ocorre em dois estágios para garantir a mínima concentração de CO no final. O primeiro estágio acontece em alta temperatura (HTS – High Temperature Shift) que favorece a cinética da reação. E, o segundo estágio, acontece em baixa temperatura Al₂O₃ (LTS – Low Temperature Shift) que favorece o equilíbrio químico. É preciso também remover todo o CO₂ da corrente, pois ele causa a redução da atividade catalítica e a deposição de carbonato de amônio na etapa de síntese (BARROS; FARIA, 2015).



A remoção é realizada por meio do processo de absorção física, utilizando dimetil éter de polietilenoglicol, metanol, ou por absorção química utilizando soluções aquosas de aminas e soluções de carbonato de potássio a quente.

- **Metanação:** no final do processo, o gás contém traços de CO e CO₂ não convertidos, e que precisam ser removidos em um metanador (Equações 6 e 7) (BARROS; FARIA, 2015).



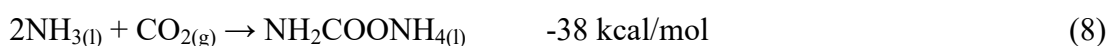


- **Síntese da amônia:** várias purificações são realizadas na corrente de hidrogênio para posteriormente ser comprimida e resfriada para atender as condições da reação de produção da amônia.

2.3.2.3 Ureia

Segundo Chinda (2015), a ureia foi produzida pela primeira vez por Wöhler em 1828, a partir da reação entre cianeto de prata e cloreto de amônio. Em 1868, o cientista russo Basarov obteve a ureia a partir do carbamato de amônio ($\text{NH}_2\text{COONH}_4$) e a ureia como fertilizante foi produzida comercialmente pela primeira vez por J.G. Farben em 1920. A reação de Basarov foi estudada e otimizada nos anos seguintes e até hoje é a base da produção comercial de ureia. O carbamato de amônio é obtido por reação direta entre amônia e dióxido de carbono, em temperaturas e pressões elevadas, e posteriormente o carbamato é desidratado a ureia e água.

A reação de Basarov é composta por 2 etapas. Na primeira, a amônia reage com dióxido de carbono formando o carbamato de amônio, sendo uma reação rápida e exotérmica. Na segunda, o carbamato de amônio é desidratado a ureia e água, sendo uma reação lenta, endotérmica e que só ocorre na fase líquida (Equações 8 e 9) (CHINDA, 2015).



A reação global é exotérmica, portanto são necessárias altas pressões e temperaturas para realização do processo. As condições típicas de operação variam de 170°C a 220°C e de 125 a 250 bar (CHINDA, 2015).

O processo de fabricação da Ureia segue quatro etapas (Figura 5) que estão descritas a seguir:

- **Etapa 1 - Fabricação do Carbamato de amônia:** inicialmente, a amônia no estado líquido é armazenada no “tanque de amoníaco”. Posteriormente, o composto é

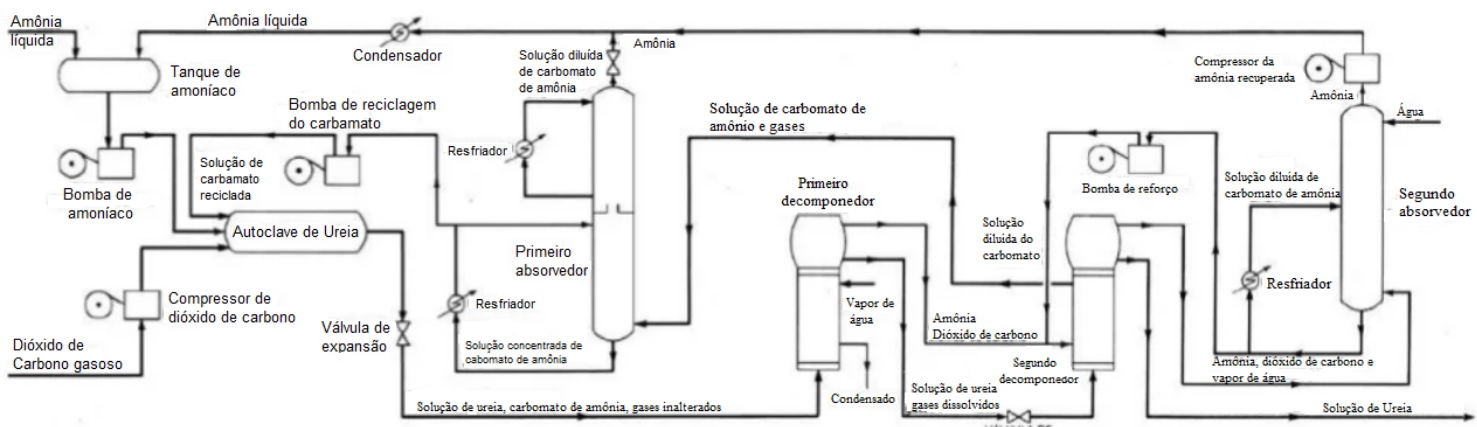
encaminhado para a autoclave com o auxílio de uma bomba para possibilitar a pressão necessária para ser introduzido no equipamento. O dióxido de carbono é impulsionado no estado gasoso à autoclave por um compressor. A autoclave é um equipamento responsável por promover as condições energéticas (pressão e temperatura) favoráveis à reação (CABRAL, 2013).

- **Etapa 2 - Desidratação do Carbamato de amônia:** o carbamato é encaminhado para o primeiro decomponedor, onde iniciará o processo de desidratação para obter a ureia. O decomponedor é uma torre de pratos com o objetivo de separar o $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_2$ do carbamato, para formar a ureia. No primeiro decomponedor, o carbamato é aquecido por vapor. Nas bandejas inferiores fica a solução de ureia e os compostos que não reagiram (carbanato de amônia) e água. Nas bandejas superiores ficam os gases: cabônico, amônia e os vapores de água. Devido ao baixo rendimento, os compostos que não reagiram e os produtos de reação de decomposição serão encaminhados para um segundo decomponedor. Os vapores de água são responsáveis por aumentar a temperatura e a pressão para desidratar o composto. No segundo decomponedor, o aquecimento é realizado pelos vapores do próprio produto, reduzindo os custos de operação. Nesta etapa é possível aumentar a concentração de ureia reaproveitando o carbamato de amônia (CABRAL, 2013).
- **Etapa 3 - Reciclo do Carbamato de amônia:** nesta etapa, o carbamato que não foi desidratado é reciclado para otimizar o processo. No reciclo, o carbamato diluído que sai do segundo decomponedor é encaminhado para o primeiro absorvedor para aumentar a concentração da substância que foi perdida com as condições de temperatura e pressão dos decomponedores. Portanto, o absorvedor irá diminuir o volume através da diminuição da temperatura do mesmo fazendo com que a concentração aumente. O carbamato reciclado é enviado de volta para a autoclave para ser reaproveitado. Na parte superior dos absorvedores, há saída de amoníaco, em consequência da maior concentração deste na reação. Esse processo é necessário para evitar a formação de biureto que é o principal contaminante da ureia e é tóxica para as plantas causando uma série de danos (CABRAL, 2013).

Ainda nesta terceira etapa, ocorre a reidratação do carbamato de amônia para gerar uma solução diluída e concentrada do composto. No absorvedor 2, ocorre a entrada do carbamato de amônia desidratado em alta temperatura. Posteriormente, é inserido água. Para aumentar a sua concentração, o carbamato é enviado a um trocador de calor resfriador. Por fim, a solução de carbamato de amônia é encaminhada ao segundo decomponedor para reciclá-la no sistema, aumentando a produtividade. Aqui, a vazão de amoníaco dos absorvedores se encontram e são condensados pelo trocador de calor condensador para possibilitar também o reciclo do amoníaco ao processo. São então armazenados no tanque amoníaco para serem utilizados no processo (CABRAL, 2013).

- **Etapa 4 - Perolação da Ureia:** após ser extraída do primeiro decomponedor, a ureia é encaminhada para o sistema de acabamento que tem o objetivo de conferir ao composto características adequadas para o seu manuseio. Primeiro ocorre a evaporação para remoção da água presente na solução. Posteriormente acontece a perolação para obter o produto na forma de sólido granulado. Por fim, ocorre o abatimento de finos que minimiza as perdas e contaminação ambiental provocada pelo arraste de partículas de tamanho muito reduzido e o recobrimento que confere ao produto determinadas características físico-químicas: maiores resistência mecânica dos grãos e menor tendência à aglomeração (CABRAL, 2013).

Figura 5 - Fluxograma do processo de síntese industrial da Ureia.



Fonte: CABRAL (2013).

2.3.2.4 Nitrato de amônio

A produção do nitrato de amônio é realizada através do processo de Stengel em que o ácido nítrico é neutralizado com a amônia produzindo o nitrato de amônio com concentração entre 78 e 87% em fração mássica (Equação 10).



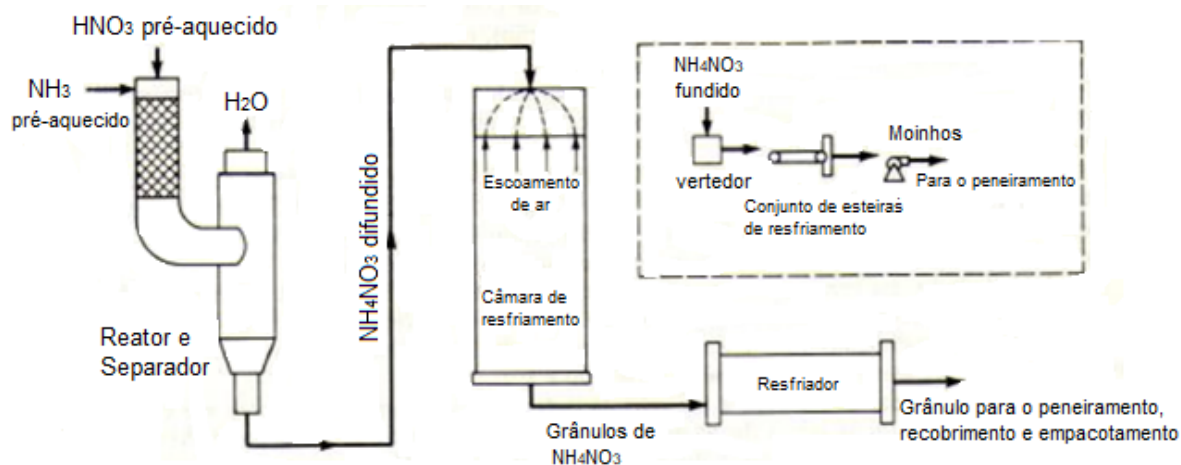
No processo de Stengel, a reação do ácido nítrico pré-aquecido com a amônia ocorre em um reator contínuo, onde o vapor é separado do nitrato de amônio fundido, o qual é enviado para uma torre de pelotização.

Segundo MADUREIRA (2018), o processo de produção ocorre em três etapas. São elas:

- **Etapa 1 - Neutralização:** inicialmente ocorre a neutralização, que pode ser realizada a pressão atmosférica ou a vácuo dependendo da disponibilidade de vapor na planta, sendo a operação atmosférica preferível. A reação é exotérmica ocorrendo o aumento da temperatura do produto final e a evaporação de parte da água do nitrato de amônio. Na saída do reator, a mistura passa por um vaso flash para que ocorra reevaporação de parte da água para aumentar a concentração da solução de Nitrato de amônio.
- **Etapa 2 - Concentração:** nesta etapa, a solução aquosa de nitrato de amônio é alimentada em um evaporador a vácuo ou em um evaporador de película descendente para concentrar a solução de nitrato de amônio.
- **Etapa 3 - Perolação:** esta etapa é realizada em uma torre, onde a solução concentrada é aspergida no topo da torre e as gotas são secas em contracorrente com fluxo de ar. As pérolas precisam ser revestidas com substâncias anti-higroscópicas para evitar a aglomeração e absorção de umidade. Por fim, as pérolas são resfriadas, secas e armazenadas.

Na Figura 6 encontra-se um fluxograma simplificado do processo de Stengel para fabricação do Nitrato de amônio.

Figura 6 - Fluxograma simplificado do processo de fabricação do nitrato de amônio.



Fonte: (LUCRÉCIO, 2019).

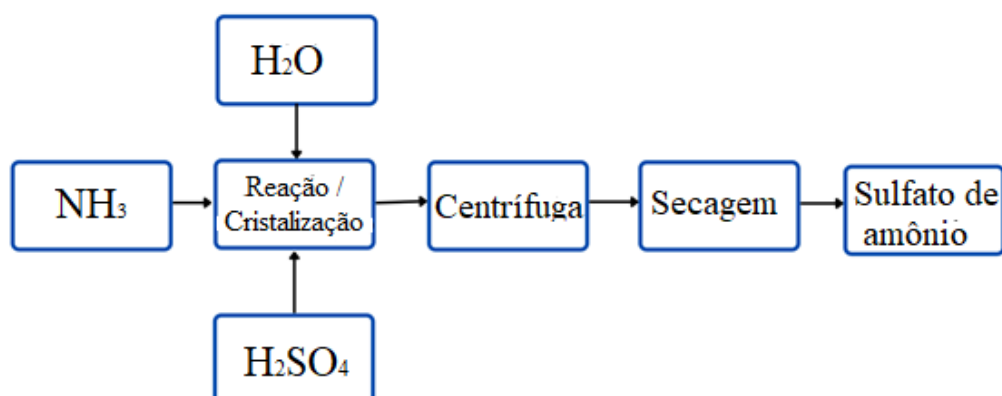
2.3.2.5 Sulfato de amônio

A produção de Sulfato de amônio é realizada a partir da reação do ácido sulfúrico com a amônia em um processo de reação-evaporação (Equação 11).



O processo de produção inicia-se com a amônia e o ácido sulfúrico sendo alimentados em um evaporador-cristalizador para formar pequenos cristais de sulfato de amônio. O calor que é liberado na reação é retirado através da evaporação da água que é alimentada no sistema para controlar a temperatura ou da água presente no ácido sulfúrico. Em seguida, os cristais seguem para as centrífugas, onde são removidos e posteriormente seguem para um secador rotativo. As etapas do processo de produção do Sulfato de amônio estão ilustradas na Figura 7 (SARTORE, 2014).

Figura 7 - Etapas da produção do sulfato de amônio.



Fonte: Elaborado pela autora.

3 ANÁLISE DA CONJUNTURA MUNDIAL

3.1 Mercado Mundial

3.1.1 Consumo

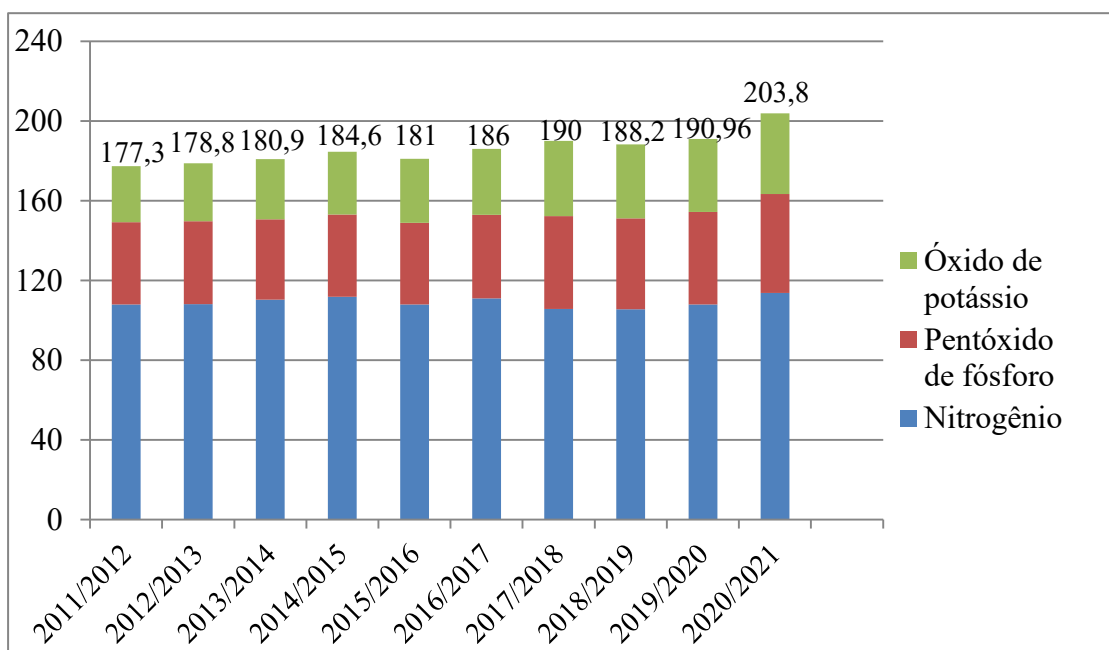
Apesar da utilização dos adubos minerais ter iniciado na Europa no século XIX e se acentuado nos países industriais no século XX, foi somente depois da 2ª Guerra Mundial que seu uso se difundiu. O consumo mundial dos três maiores fertilizantes minerais (nitrogenados, fosfatados e potássicos) teve um crescimento exponencial: Em 1900 o consumo mundial era de quatro milhões de toneladas, enquanto em 1950 ultrapassou 17 milhões de toneladas e no final dos anos de 1980 o consumo foi de 130 milhões de toneladas. Atualmente, a demanda de fertilizantes no mundo já é superior a 185 milhões de toneladas (ALMEIDA; VOLOTÃO, 2020; TEIXEIRA, 2021).

O que causou esse aumento no consumo dos fertilizantes foi a revolução verde que ocorreu nos anos 1960, e que consistia na modernização da agricultura por meio de inovações tecnológicas na produção como os maquinários agrícolas e os insumos químicos (fertilizantes). As novas técnicas da revolução verde geraram um cenário de maior lucratividade em regiões que possuíam solo fértil e com isso foi ampliado o escopo produtivo

de países que até o momento não haviam alcançado níveis de produtividade eficiente (SANTOS, 2021).

Os fertilizantes nitrogenados são os mais consumidos no mundo todo. É possível observar através da Figura 8 que ao longo dos anos o nitrogênio foi o nutriente que sempre representou mais de 50% no consumo global de fertilizantes.

Figura 8 - Consumo mundial de fertilizantes NPK ao longo dos anos por nutriente (em milhões de toneladas).



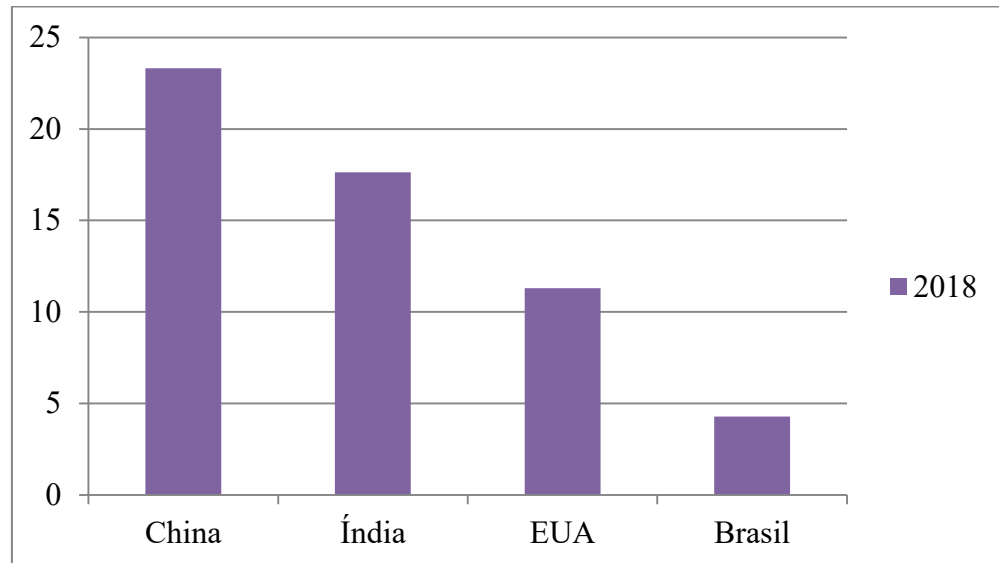
Fonte: (STATISTA, 2022b).

Na Figura 8, os valores no período de 2011 a 2020 representam a quantidade consumida, enquanto que no período de 2020/2021 representam uma estimativa e em 2021/2022 uma previsão.

A China, Índia, EUA e Brasil são os maiores consumidores de fertilizantes minerais e juntos são responsáveis por 58% do consumo global. Além disso, somente a China é responsável por 24% de todo consumo mundial (SANTOS, 2021).

Na Figura 9 está ilustrado o consumo deste tipo de fertilizante nos principais países no ano de 2018. É possível observar que a China lidera o ranking, seguida da Índia, EUA e Brasil.

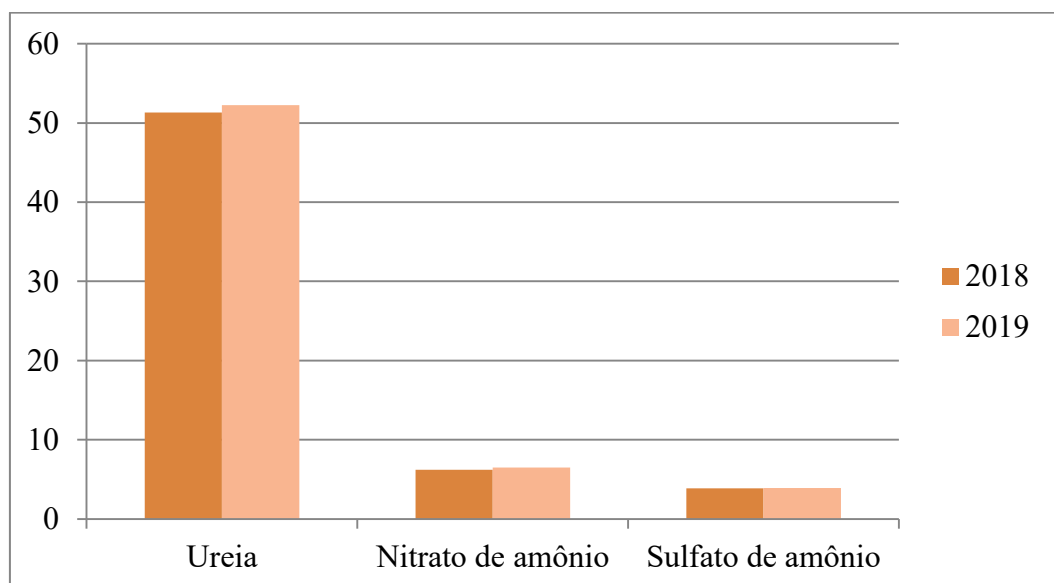
Figura 9 - Consumo dos fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da STATISTA (2022a).

Como dito anteriormente, os principais fertilizantes nitrogenados são: Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio. Nos anos de 2018 e 2019, o consumo global de Ureia ultrapassou as 50 milhões de toneladas. O consumo de Nitrato de amônio atingiu mais de seis milhões de toneladas, e o Sulfato de amônio quase quatro milhões. Está ilustrado na Figura 10 o consumo mundial destes três produtos nos anos de 2018 e 2019.

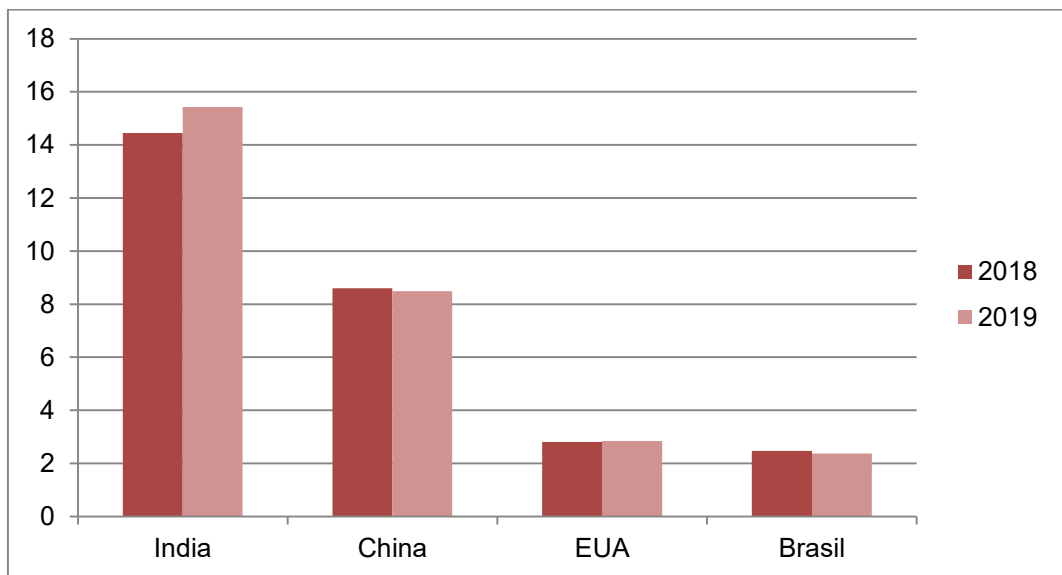
Figura 10 - Consumo dos principais fertilizantes nitrogenados no mundo (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da IFA (2022).

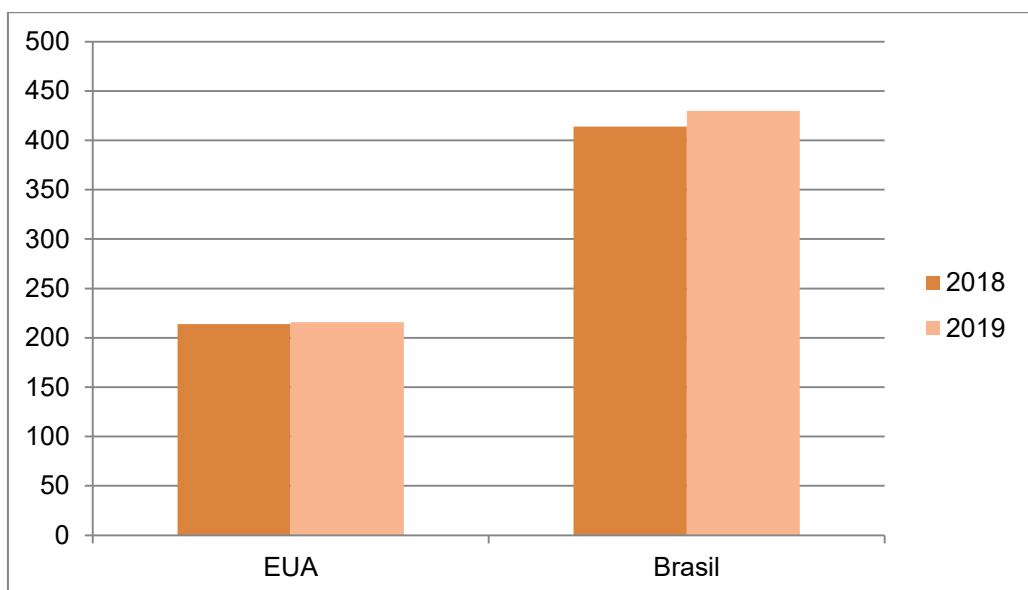
Através da Figura 10 é possível observar que dentre os principais fertilizantes nitrogenados, a Ureia lidera o ranking dos nitrogenados mais consumidos no mundo. As Figuras 11, 12 e 13 ilustram o consumo de cada país (Índia, China, EUA e Brasil) de Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio, respectivamente.

Figura 11 - Consumo de Ureia (em milhões de toneladas).

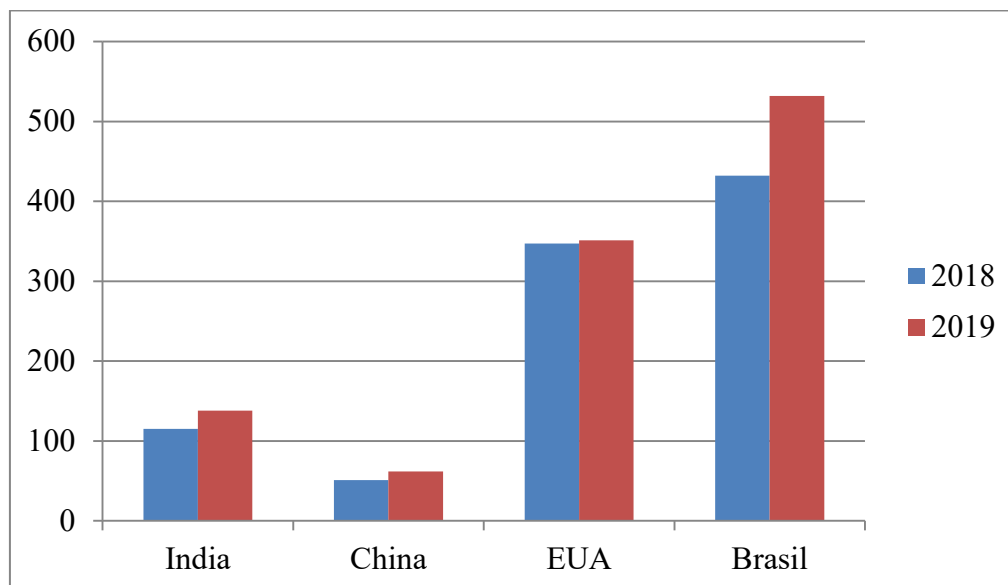


Fonte: Elaborado pela autora com dados da IFA (2022).

Figura 12 - Consumo de Nitrato de amônio (em mil toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da IFA (2022).

Figura 13 - Consumo de Sulfato de amônio (em mil toneladas).

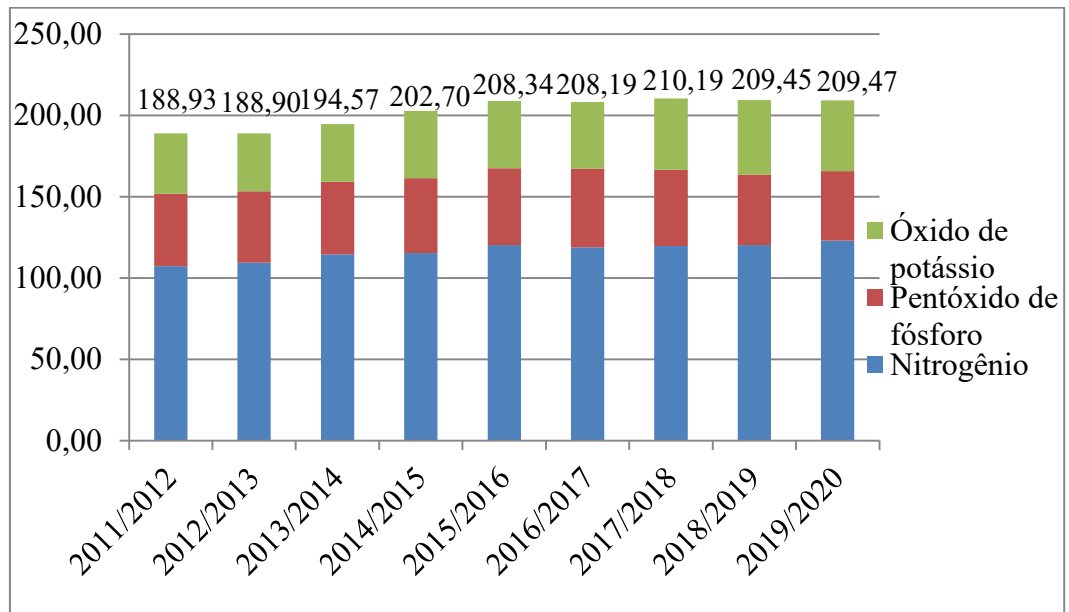
Fonte: Elaborado pela autora com dados da IFA (2022).

De acordo com as Figuras 11, 12 e 13, é possível observar que o maior consumidor de Ureia é a Índia, seguida da China, EUA e Brasil. Os países que consomem Nitrato de amônio são os EUA e o Brasil. E, em relação ao Sulfato de amônio, o Brasil ganha grande destaque sendo o maior consumidor deste produto.

3.1.2 Produção

Os fertilizantes nitrogenados são os mais consumidos mundialmente, conseqüentemente, também são os mais produzidos. No ano de 2019, a produção de nitrogênio ultrapassou a marca de 120 milhões de toneladas, enquanto a produção de pentóxido de fósforo foi de 42 milhões e de óxido de potássio foi de 43 milhões. A Figura 14 ilustra a quantidade produzida dos três tipos de fertilizantes ao longo dos anos.

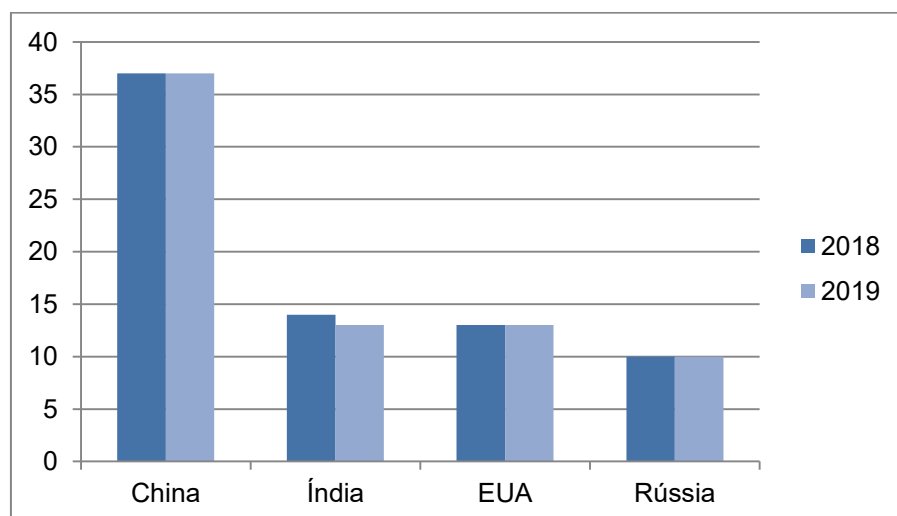
Figura 14 - Produção mundial de fertilizantes por nutriente (em milhões de toneladas).



Fonte: (STATISTA, 2022c).

Os países que mais produzem fertilizantes minerais são: China, Rússia, EUA, Marrocos, Canadá e Bielorrússia. Contudo, os países que mais produzem nitrogenados são: China, Índia, EUA e Rússia (GLOBALFERT, 2021). A Figura 15 ilustra a quantidade produzida de fertilizantes nitrogenados nos principais países produtores.

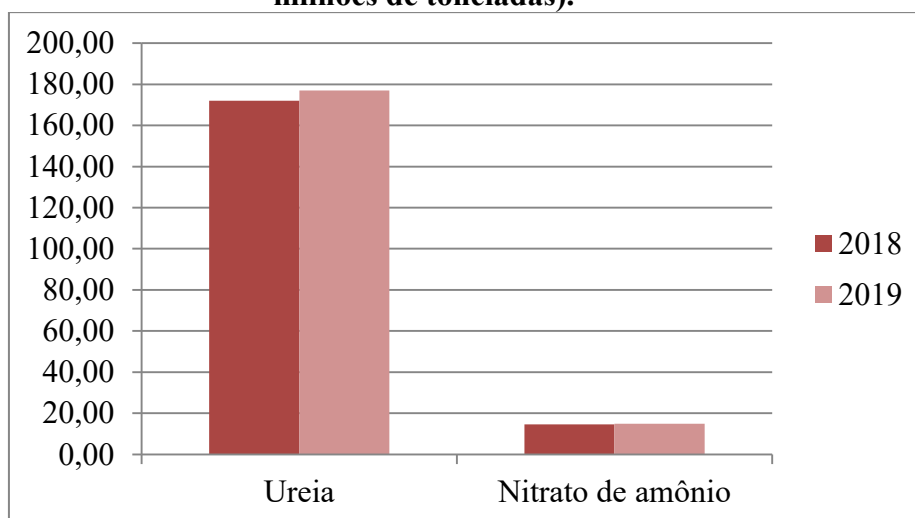
Figura 15 - Produção de fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da Nationmaster (2022)

A produção mundial de Ureia e Nitrato de amônio nos anos de 2018 e 2019 está representada na Figura 16. É possível observar que a quantidade produzida de Ureia ultrapassa 180 milhões de toneladas, isso acontece devido à produção também ser destinada a mistura do produto com outros tipos de fertilizantes para formulação de fertilizantes complexos.

Figura 16 - Produção mundial dos principais fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da STATISTA (2022e, 2022d).

3.1.3 Exportação e importação

Os dados de exportação e importação são com base no valor (em bilhões de dólares americanos). No ano de 2020, o total mundial de fertilizantes minerais importados e exportados foi de U\$\$ 62.6B. As Tabelas 7 e 8 mostram os maiores importadores e exportadores mundiais de fertilizantes, respectivamente.

Tabela 7 - Maiores importadores de fertilizantes.

Importação	
Brasil	\$7.82B (12,5% do total)
Índia	\$6.5B (10,4% do total)
Estados Unidos	\$5.34B (8,53% do total)
China	\$2.62B (4,18% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2021a).

Tabela 8 - Maiores exportadores de fertilizantes.

Exportação	
Rússia	\$7.6B (12,1% do total)
Índia	\$6.99B (11,2% do total)
Canadá	\$5.49B (8,77% do total)
Marrocos	\$3.71B (5,92% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2021a).

Pode-se observar na Tabela 7 que o país que mais importa fertilizante é o Brasil, representando 12,5% do total mundial importado. E de acordo com a Tabela 8, o país que mais exporta fertilizante é Rússia, representando 12,1% do total mundial exportado.

Como dito anteriormente, os fertilizantes nitrogenados são os mais consumidos no mundo. Em 2020, os fertilizantes nitrogenados tiveram um comércio total de U\$\$ 22,5 bilhões.

As Tabelas 9 e 10 mostram, respectivamente, os principais importadores e exportadores deste tipo de fertilizante no ano de 2020.

Tabela 9 - Os maiores importadores de fertilizantes nitrogenados.

Importação	
Índia	\$2.64B (11,7% do total)
Brasil	\$2.49B (11,1% do total)
Estados Unidos	\$1.78B (7,93% do total)
França	\$963M (4,28% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2021b).

Tabela 10 - Os maiores exportadores de fertilizantes nitrogenados.

Exportação	
China	\$2.77B (12,3% do total)
Rússia	\$2.6B (11,5% do total)
Arábia Saudita	\$1.23B (5,48% do total)
Holanda	\$1.19B (5,27% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2021b).

A seguir estão descritos os dados do comércio de Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio. Em 2020, houve um comércio total de Ureia de US\$ 13,7 bilhões. Os valores das importações e exportações estão nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11 - Dados de importação de Ureia.

Importação	
Índia	\$2.53B (18,4% do total)
Brasil	\$1.63B (11,9% do total)
Estados Unidos	\$991M (7,22% do total)
Austrália	\$615M (4,48% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2020c).

Tabela 12 - Dados de exportação da Ureia.

Exportação	
Rússia	\$1.55B (11,3% do total)
China	\$1.5B (10,9% do total)
Arábia Saudita	\$1.21B (8,85% do total)
Qatar	\$1.15B (8,36% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2020c).

Em 2020, o comércio total de Nitrato de amônio foi de US\$ 1,96 bilhão. Os dados de importação e exportação estão nas Tabelas 13 e 14, respectivamente.

Tabela 13 - Dados de importação do Nitrato de amônio.

Importação	
Brasil	\$245M (12,5% do total)
Romênia	\$75,4M (3,84% do total)
Canadá	\$70,7M (3,6% do total)
Índia	\$62,7M (3,2% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2020a).

Tabela 14 - Dados de exportação do Nitrato de amônio.

Exportação	
Rússia	\$644M (32,8% do total)
Estados Unidos	\$105M (5,38% do total)
Bulgária	\$89,9M (4,58% do total)
Lituânia	\$89,4M (4,56% do total)

Fonte: Elaborado pela autora com dados da OEC (2020a).

Em 2020, o comércio total de Sulfato de amônio foi de US\$ 2,05 bilhões. Os dados de importação e exportação estão nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 - Dados de importação do Sulfato de amônio.

Importação	
Brasil	\$416M (20,3% do total)
Estados Unidos	\$174M (8,49% do total)
Indonésia	\$125M (6,1% do total)
Vietnã	\$121M (5,9% do total)

Fonte: Elaborada pela autora com dados da OEC (2020b).

Tabela 16 - Dados de exportação do Sulfato de amônio.

Exportação	
China	\$1.07B (52,2% do total)
Bélgica	\$171M (8,32% do total)
Canadá	\$110M (5,35% do total)
Estados Unidos	\$105M (5,14% do total)

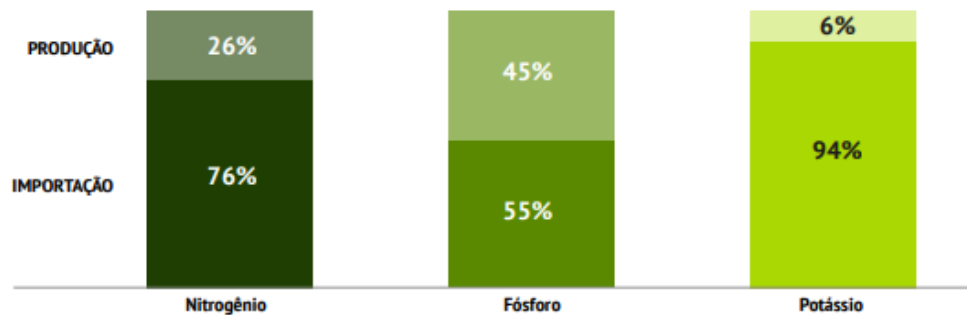
Fonte: Elaborada pela autora com dados da OEC (2020b).

3.1.4 Cenário brasileiro

O Brasil é responsável por aproximadamente 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o quarto país que mais consome este produto, ficando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. A demanda brasileira supera a quantidade ofertada de fertilizantes, por isso o país é dependente das importações. O país chega a importar mais de 80% dos fertilizantes consumidos. Além disso, do total de nitrogênio consumido, 70% é importado (ALMEIDA; VOLOTÃO, 2020; TEIXEIRA, 2021).

Atualmente, a maior cultura brasileira é a soja e o principal nutriente aplicado nas culturas é o potássio (38%), seguido do cálcio (33%) e o nitrogênio (29%). Em 2018, o país importou 24,96 milhões de toneladas de fertilizantes, 4% maior que em relação a 2017. Deste total, 35% são fertilizantes nitrogenados, com 8,77 milhões. Os fosfatados foram 23% do volume total, com 5,59 milhões de toneladas. E o cloreto de potássio representou 42%, com 10,5 milhões de toneladas (ALMEIDA; VOLOTÃO, 2020). A Figura 17 mostra a dependência externa do Brasil com os fertilizantes.

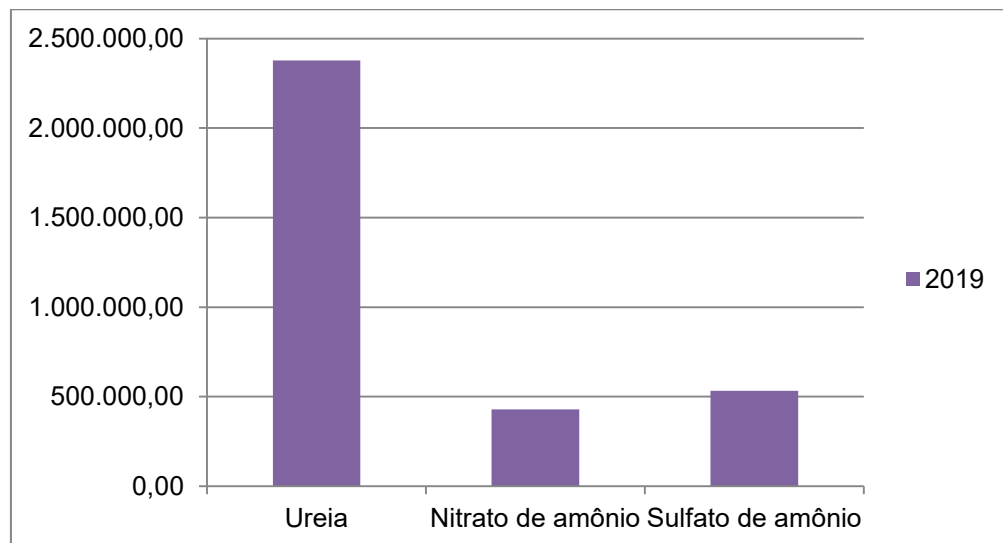
Figura 17 - Dependência externa por fertilizantes



Fonte: (ALMEIDA; VOLOTÃO, 2020)

Analisando o consumo dos principais fertilizantes nitrogenados, a Figura 18 ilustra o consumo de Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio em 2019. É possível observar que a Ureia é o produto nitrogenado mais utilizado no Brasil.

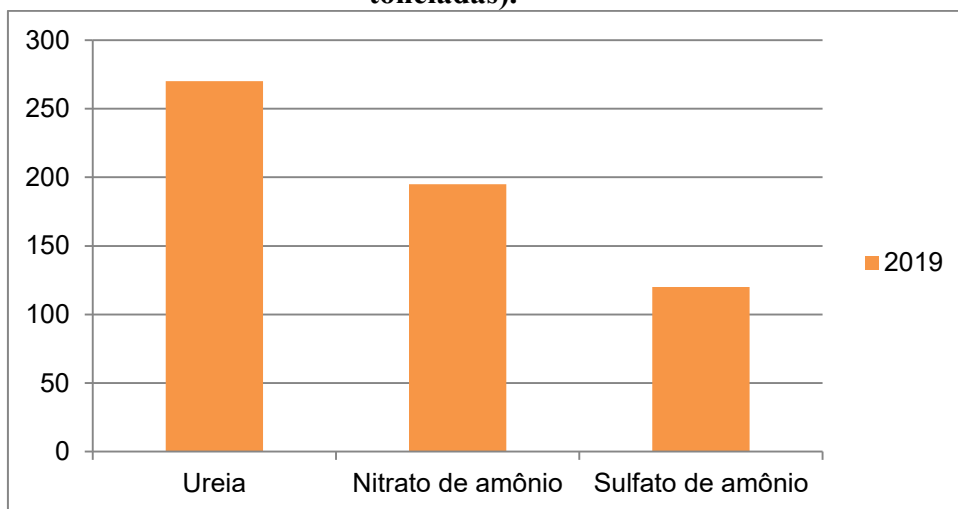
Figura 18 - Consumo nacional dos principais fertilizantes nitrogenados (em toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da IFA (2022).

Apesar de importar a maior parte dos fertilizantes utilizados, no Brasil também ocorre a sua produção, mesmo que em pouca quantidade. A Figura 19 ilustra a produção de Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio em 2019.

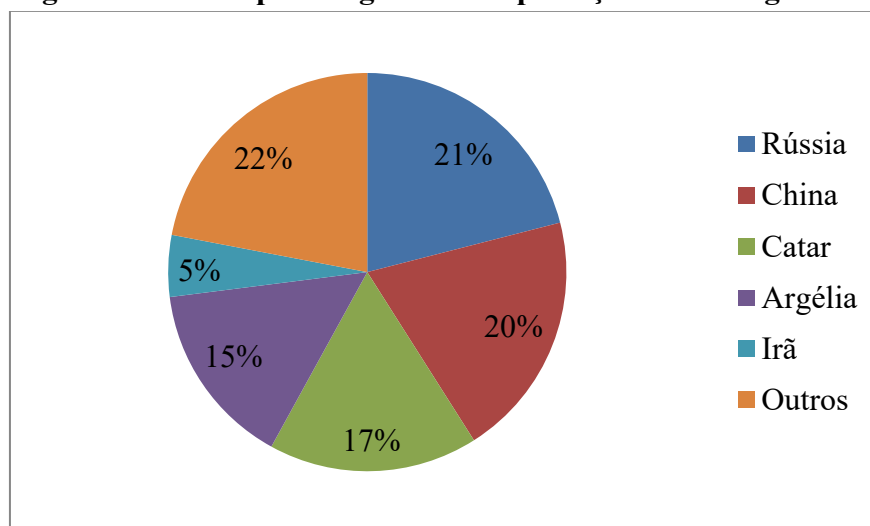
Figura 19 - Produção nacional dos principais fertilizantes nitrogenados (em mil toneladas).



Fonte: Elaborado pela autora com dados da ANDA (2021).

As principais origens das importações de fertilizantes nitrogenados estão ilustradas na Figura 20. É possível observar que os principais países que o Brasil importa são a Rússia e a China.

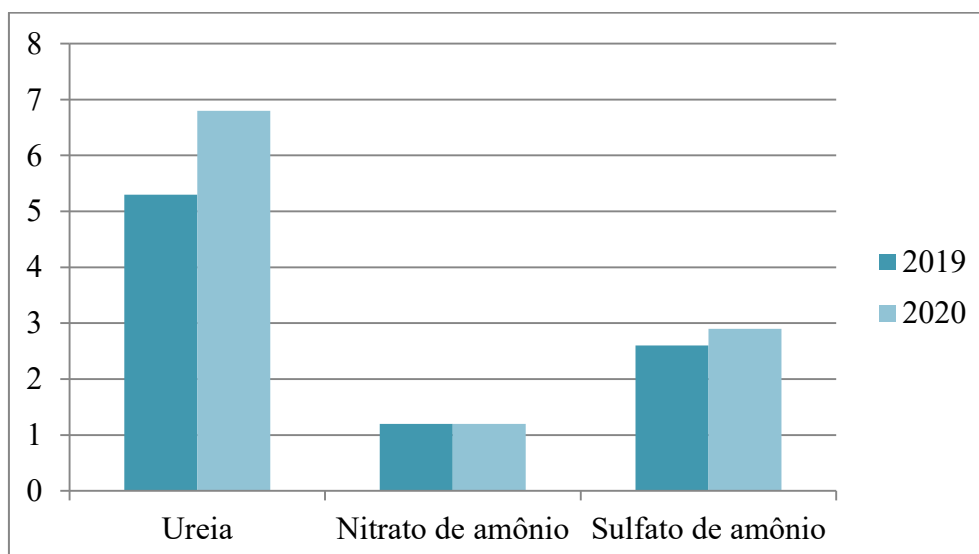
Figura 20 - Principais origens das importações de nitrogenados.



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da GLOBALFERT (2021).

Em 2019 e 2020, o Brasil importou mais de cinco milhões de toneladas de Ureia, mais de um milhão de toneladas de Nitrato de amônio e quase três milhões de toneladas de Sulfato de amônio (Figura 21).

Figura 21 - Importações dos principais fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborada pela autora com dados da GLOBALFERT (2021).

A quantidade importada de Ureia em 2020 foi 28% superior em relação a 2019 e as principais origens do produto foram Catar, Argélia e Rússia. Foi importada a mesma quantidade de Nitrato de amônio em 2019, sendo a Rússia responsável por 96% do volume importado. O aumento de 11,9% foi devido ao Sulfato de amônio, e a importação deste produto foi principalmente da China (GLOBALFERT, 2021).

3.2 Panorama atual

Após um crescimento no consumo mundial de fertilizantes em 2017/2018, houve uma queda em 2018/2019. A queda é um reflexo dos baixos preços internacionais das culturas e um clima desfavorável em áreas agrícolas e consumidoras de insumos. Em 2019/2020 a demanda se recuperou devido ao retorno das condições climáticas favoráveis. Em 2020/2021 o consumo global de fertilizantes aumentou em aproximadamente 6%. O aumento é explicado por diversos fatores como o clima adequado nos principais países consumidores e o maior apoio governamental à cultura, no qual foi designado que os fertilizantes eram bens essenciais (IFA, 2019, 2021).

Em dezembro de 2019, iniciou-se na China a Covid-19, que rapidamente se alastrou pelo mundo todo, fazendo com que muitos países decretassem *lockdown*, o que dificultou a logística, a entrega, a exportação e a importação dos fertilizantes. Além disso, o recebimento

de matérias-primas para a produção dos insumos agrícolas também foi afetado, e a falta de mão de obra no primeiro semestre de 2020 afetou o consumo de fertilizantes. Devido a esses fatores, gerou-se uma crise econômica fazendo com que a demanda global por nitrogenados diminuísse em 2020 (GLOBALFERT, 2021).

Estes fatores colaboraram para que os preços dos fertilizantes em dólar no ano de 2020 ficassem, em média, 18% menores que no ano anterior. Em setembro do mesmo ano, os grandes consumidores retornaram ao mercado: Brasil, Índia e China. Na Índia, a demanda se intensificou a partir de junho para a principal safra do país, a *Kharif*. No período de abril de 2020 a janeiro de 2021, a Índia importou 9,8 milhões de toneladas de Ureia, cerca de 9% a mais que 2019, no mesmo período (GLOBALFERT, 2021).

Devido à baixa demanda do setor industrial e altos estoques, o preço do gás natural também caiu, atingindo os menores valores dos últimos quatro anos. Em relação aos custos dos fertilizantes nitrogenados como a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio, a Ureia se mostrou mais vantajosa ao longo de grande parte do ano de 2020. Contudo, a partir de setembro do mesmo ano, quando a demanda indiana aumentou, os preços da ureia começaram a subir, então o nitrato se tornou mais vantajoso (GLOBALFERT, 2021).

No Brasil, durante a pandemia do Covid-19, a demanda começou a aumentar a partir de junho de 2020, mantendo-se alta no segundo semestre devido período de maior consumo, principalmente para milho e cana. Devido aos preços menores, a importação em 2020 foi 15% superior à média dos três últimos anos no mesmo período de meses, totalizando 29,4 milhões de toneladas de fertilizantes (GLOBALFERT, 2021).

Em relação aos fertilizantes nitrogenados, o Brasil importou 10,9 milhões de toneladas em 2020, 18% superior ao ano anterior. Esse aumento está relacionado aos menores preços das matérias-primas em 2020 e a favorável relação de troca para grandes culturas consumidoras. Atualmente, o Brasil não é um grande produtor de fertilizantes, mas é o 4º maior consumidor do mundo em nitrogenados. A baixa produção brasileira e o alto consumo dos fertilizantes faz com que o país seja muito dependente das importações, chegando a importar 88% do volume total consumido (GLOBALFERT, 2021).

Em 2021, os preços do gás natural subiram muito, chegando a valores nunca vistos antes. O aumento é explicado pela crescente demanda de energia que aumentou junto com a recuperação econômica e não foi atendido pela oferta, o que gerou aumento dos preços. Outro fato que explica o aumento do preço do gás são as condições climáticas adversas que prejudicaram a produção de energia renovável, elevando a demanda e os preços do gás.

Conseqüentemente, os preços dos fertilizantes nitrogenados também aumentaram. A Ureia teve seu preço triplicado no último ano, aumentando de US\$245 por tonelada para US\$901 por tonelada (FAO, 2022; IFA, 2021).

A pandemia do Covid-19 gerou interrupções no setor de transporte de suprimentos internacionais o que aumentou o tempo e os custos de frete. Algumas cadeias de suprimentos ficaram fortemente interrompidas devido à forte demanda por produtos. Conseqüentemente, a inflação dos preços ao consumidor aumentou em muitos países. Em 2021, o fornecimento de fertilizantes ficou caracterizado com preocupações de disponibilidade devido às interrupções e os altos preços de matéria-prima. Conseqüentemente, vários países impuseram restrições ao comércio de insumos agrícolas para evitar possíveis desabastecimentos. A China congelou as exportações de fertilizantes para proteger seu mercado interno e a Turquia estabeleceu restrições à exportação de fertilizantes minerais (IFA, 2021).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), no final de 2021 a Rússia anunciou a limitação das exportações de fertilizantes nitrogenados devido ao alto preço do gás natural e conseqüentemente ao aumento dos preços dos alimentos no país. A atitude visou garantir o abastecimento interno. Atualmente, o Brasil é dependente da importação de insumos para manter sua produtividade, e a Rússia representa aproximadamente cerca de 20% do total de fertilizantes importados. Porém, o governo russo garantiu continuar cumprindo com os contratos de fornecimento de fertilizantes para o Brasil, o que trouxe segurança para o país.

Os altos preços dos fertilizantes podem afetar a produção e a segurança dos alimentos. Os suprimentos internacionais de fertilizantes estão apertados, os estoques esgotados e as tensões geopolíticas podem ocasionar ainda mais restrições na oferta. Os efeitos da escassez de fertilizantes já estão acontecendo. Além do preço alto, eles já estão indisponíveis no mercado, pois algumas produções já foram interrompidas. A menor disponibilidade dos fertilizantes em 2021/2022 sugere um menor uso deles em 2022/2023 (FAO, 2022).

O conflito entre a Rússia e Ucrânia que teve início nos primeiros meses de 2022 é uma das tensões geopolíticas que podem ocasionar um aumento ainda maior dos preços além das restrições nas ofertas. Como visto anteriormente, a Rússia é o principal exportador de fertilizantes do mundo, portanto, há uma grande preocupação em relação à oferta de fertilizantes nos próximos meses do ano de 2022 (GLOBALFERT, 2022).

Durante o conflito, alguns países já sancionaram a Rússia, bloqueando diversos bancos e limitando a capacidade da Rússia em fazer negócios internacionais. Essas sanções podem

dificultar o comércio internacional com a Rússia encarecendo diversos produtos, como o gás natural e os fertilizantes. No Brasil, a Ministra de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Tereza Cristina, afirmou que o país pode chegar a substituir um de seus fornecedores de fertilizantes, caso a Rússia corte as exportações. Contudo, substituir o fornecedor em uma escassez global já irá elevar os preços do produto (GLOBALFERT, 2022).

Segundo a IFA (2021), para o período de 2022/2023 há uma previsão da redução de 3% na demanda global de fertilizantes, devido à redução da disponibilidade dos mesmos. Reduzindo as aplicações dos fertilizantes nitrogenados, reduz também o rendimento e a qualidade da produção de alimentos.

4 IMPACTOS AMBIENTAIS

As aplicações descontroladas do nitrogênio no solo podem gerar prejuízos à saúde humana e também ao meio ambiente. O nitrato, além de ser uma das formas em que o nitrogênio é absorvido pelas plantas, também é formado a partir da ação dos microrganismos sobre os fertilizantes nitrogenados. Quando este composto não é absorvido pelas plantas, ele pode ser carregado pela chuva ou pela água de irrigação até o lençol freático e para as águas superficiais (rios e lagoas) (ALVARES; BALSALOBRE, 2018).

A Organização Mundial da Saúde (ONU) relata que o nível de nitrato na água utilizada para consumo humano não pode ultrapassar 45 mg/L. O consumo de água com elevadas concentrações de nitrato podem causar sérios problemas de saúde, principalmente em bebês com menos de seis meses de idade, grávidas e idosos. No corpo humano, o nitrato pode ser reduzido a nitrito, convertendo a hemoglobina em metemoglobina e limitando a capacidade de carregar o oxigênio para as células, reduzindo o suprimento para tecidos vitais e causando diversas doenças (ALVARES; BALSALOBRE, 2018).

O nitrogênio proveniente de sistemas agrícolas pode ser perdido através de três formas causando poluição: perda de nitrato por lixiviação, volatilização de amônia e perda de óxido nítrico durante os processos de desnitrificação. Quando a amônia é convertida em nitrato, e este nitrato é perdido por lixiviação, ocorre a eutrofização de águas marinhas e a acidificação dos solos. A acidificação do solo reduz a disponibilidade de alguns nutrientes e provoca a liberação de elementos tóxicos como o alumínio, reduzindo a produtividade agrícola. Com a

volatilização da amônia, ele pode reagir na atmosfera com óxidos de enxofre formando sulfato de amônio que quando chega ao solo com a chuva, causa também a acidificação (IFA, 2015).

Alguns experimentos demonstram que as perdas de nitrogênio para a atmosfera na forma de amônia através da aplicação da ureia podem chegar a mais de 20%. Essas perdas ocorrem quando a ureia não é imediatamente incorporada ao solo. A prática de plantio direto e/ou cultivo mínimo, em expansão, está aumentando a aplicação superficial de ureia e aumentando também as perdas (IFA, 2015).

As perdas do nitrogênio através da desnitrificação podem ser inofensivas caso o produto final seja o nitrogênio gasoso, porém, se o gás resultante for o óxido nitroso, ele reage com o O₂ provocando a destruição da camada de ozônio e aumentando o efeito estufa. O óxido nitroso é responsável por 7,5% do efeito estufa calculado como decorrente da atividade humana e os solos são a principal fonte global deste composto, respondendo por cerca de 65% de todas as emissões. As estratégias de manejo da adubação que aumentam a eficiência de absorção de N pelas culturas reduzem as emissões de óxidos para a atmosfera. Portanto, como visto anteriormente, o uso dos fertilizantes nitrogenados é essencial, porém deve ser realizado com bastante critério e cuidado (IFA, 2015).

A acidificação do solo pelo uso de nitrogenados pode ser corrigida pela calagem, na qual é um processo que consiste na aplicação de materiais de calcário que possuem o pH básico e que neutralizam a acidez. Além da neutralização, o processo também melhora a disponibilidade de outros nutrientes, como o fósforo, e diminui a toxidez de alumínio e manganês. A calagem é um processo tão importante que, em um experimento na Índia, comprovou-se que a produtividade de uma cultura caiu a zero quando foi realizada a aplicação de fertilizantes sem o calcário (IFA, 2015).

No solo, há uma intensa competição pelo nitrogênio entre as plantas e entre estas e os microrganismos. Portanto, a lixiviação do nitrato ocorre somente se a dosagem de N aplicado for maior do que as necessidades das plantas. Os problemas de poluição associados ao excesso de nitrato no meio ambiente tem levado a regulamentação e ao controle de práticas agrícolas na Europa e nos Estados Unidos com limites de dosagens de adubos nitrogenados (ECODEBATE, 2020).

Atualmente, as emissões de óxido nitroso são mais altas em países como China, Índia e Brasil, onde os cultivos de safras cresceram fortemente. Na Europa, as emissões diminuíram

devido aos vários incentivos e medidas de proteção, onde muitos países começaram a usar o nitrogênio de forma mais eficiente reduzindo a poluição (ABRANCHES; FERREIRA; PERDONÁ, 2016).

Para o máximo aproveitamento do nitrogênio no solo, diferentes formas e doses dos fertilizantes são indicadas para as diferentes culturas. O uso incorreto do produto com aplicações de doses desnecessárias e em épocas não adequadas aumenta as perdas e a contaminação ambiental. Porém, há grande dificuldade em encontrar a forma mais eficiente de aplicação deste nutriente devido ao fato de que o nitrogênio possui uma complexa dinâmica no solo, com múltiplas reações químicas e biológicas, dependências de condições climáticas e perdas vulneráveis no sistema solo-planta (ABRANCHES; FERREIRA; PERDONÁ, 2016).

Uma das alternativas é a aplicação dos fertilizantes de liberação lenta que apresenta resultados superiores quando comparados à utilização dos fertilizantes convencionais. Neste processo, os grânulos são encapsulados com diversos materiais, como os polímeros orgânicos termoplásticos e também resinas sintéticas. O recobrimento faz com que a liberação do produto ocorra de forma gradual e lenta. Um dos fertilizantes que utiliza o recobrimento é a Ureia. O objetivo da aplicação é aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, evitando as taxas de nitrificação do amônio e nitrato, limitando as perdas por lixiviação e reduzindo assim o impacto ambiental (GONÇALVES, 2021).

Segundo GONÇALVES (2021), durante a 41ª conferência da ONU em 2019, foi aprovado o Código Internacional de Conduta para o Uso Sustentável e Manejo de Fertilizantes, que incentiva as indústrias de fertilizantes a tomarem decisões que minimizem os efeitos ambientais dos fertilizantes, mas ao mesmo tempo maximizem os benefícios em termos de saúde do solo e produção agrícola. O código contém práticas que trazem benefícios para a produção, enquanto reduzem os impactos no clima do planeta, definindo papéis, responsabilidades e ações para prevenir o uso indevido de fertilizantes e seus potenciais impactos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

5 CONCLUSÃO

Os fertilizantes nitrogenados são os mais utilizados no mundo, pois o nitrogênio é o nutriente mais requerido pelas plantas. Dentre eles, os mais difundidos são a Ureia, Nitrato de amônio e Sulfato de amônio. A amônia anidra não é mais utilizada como fertilizante devido a

sua alta perda por volatilização, sendo utilizada atualmente somente como matéria-prima para os outros fertilizantes.

O processo de reforma do gás natural é o mais utilizado atualmente para a produção da amônia anidra, devido aos seus baixos custos de investimento, produção e energia. A Rússia é o país com maior reserva de gás natural totalizando quase 20% de toda a reserva mundial. Em relação à produção, o país ocupa o 2º lugar, ficando atrás apenas dos Estados Unidos que é o maior produtor e consumidor deste produto. Em relação aos preços, o gás natural teve um aumento muito grande nos últimos anos o que vem dificultando o consumo e a produção, afetando diretamente os fertilizantes nitrogenados. No Brasil, o governo vem propondo leis e programas visando tornar o processo de produção de gás mais simples para atrair novos investidos neste setor e diminuir as importações.

Analisando o cenário geral dos fertilizantes minerais, a Rússia lidera a exportação representando mais de 12% do total. O Brasil é maior importador representando também mais de 12%. Em relação aos nitrogenados, a China é o país que mais produz este produto, mas também é o país que mais consome e o que mais exporta. A Ureia é o nitrogenado mais consumido no mundo seguido pelo nitrato de amônio e o sulfato de amônio.

No Brasil, a produção de fertilizantes não acompanha a demanda brasileira por isso o país é dependente das importações, chegando a importar mais de 80% dos fertilizantes. O país consome principalmente Ureia e Sulfato de amônio e as principais importações são provenientes da Rússia e da China.

Em relação à conjuntura mundial, a recente pandemia causada pelo Covid-19 e os conflitos geopolíticos afetaram drasticamente o mercado dos fertilizantes. Com o aumento dos preços das matérias-primas e dos produtos, e as restrições das ofertas, a previsão é que na safra de 2022/2023 haverá uma queda na demanda global de fertilizantes, reduzindo o rendimento e a produção de alimentos, o que pode elevar os preços do produto final ao consumidor.

Em relação ao impacto ambiental, apesar da dificuldade em encontrar formas eficientes do manuseio do nitrogênio no solo, a utilização de fertilizantes revestidos é uma alternativa que vêm sendo aplicada para redução das perdas. Além disso, com o Código Internacional de Conduta para o Uso Sustentável e Manejo de Fertilizantes, há um grande incentivo para minimização dos efeitos ambientais causados pelo uso dos fertilizantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANCHES, J. L.; FERREIRA, R. L.; PERDONÁ, M. J.. Mitigação da contaminação ambiental pelo uso de ureia revestida por polímeros na agricultura. **ANAP, Anais do Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v. 7, p. 1139–1156, 2016.
- ALMEIDA, A. **Produção de fertilizantes organomineral a partir de resíduos orgânicos**. Monografia (Monografia em Engenharia química) - Universidade de Uberaba. Uberaba, MG. 2018.
- ALMEIDA, J. P.; VOLOTÃO, R. A.. **Produção nacional de fertilizantes**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/estudos-estrategicos-2/estudo-producao-nacional-fertilizantes>>. Acesso em 15 de fev. 2022.
- ALVARES, P. M. S.; BALSALOBRE, M. A. **Fertilizante nitrogenado. 2. Possíveis efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente**. 2018. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/fertilizante-nitrogenado-2-possiveis-efeitos-sobre-a-saude-humana-e-o-meio-ambiente-16097n.aspx>>. Acesso em 15 de jan. 2022.
- ANDA. **Anuário estatístico do setor de Fertilizantes - 2018**. Disponível em: <http://anda.org.br>>. Acesso em 3 dez. 2022.
- ANDA. **Anuário estatístico do setor de Fertilizantes - 2021**. Disponível em: <http://anda.org.br>>. Acesso em 10 fev. 2022.
- ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp>> Acesso em 23 de fev. 2022.
- ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp>> e <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes>>. Acesso em 23 de fev. 2022.

- BARROS, K. M.; FARIA, S. de A.. **Avaliação de ecoindicadores para processos de síntese de amônia**. Monografia (Monografia em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2015.
- CABRAL, V. B. **Processo de síntese industrial de Ureia**. Instituto Federal de Educação, ciências e tecnologias da Bahia. Salvador, 2013.
- CHINDA, R. C.. **Simulação da seção de síntese de uma unidade de produção ureia**. Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.
- COLOMBO, M.. **Produtividade do milho safrinha em função de fontes de nitrogênio e estádios de aplicação**. - Monografia (Monografia em Agronomia) Universidade Federal do Paraná. Palatina, 2017.
- CUNHA, L. G. S.. **Cenários e desafios da indústria de fertilizantes**. - Monografia (Monografia em Engenharia Química) 63 f. - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- DEROSSI, I. N. A **“Escola de formação de Químicos” de Justus von Lieberg: A consolidação de uma metodologia de ensino**. 138 f. 2018. - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2018. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ppee/files/2010/06/Filipe-Magno-Mayrink-Niquini_Dissertação_Modelagem-do-Elo-de-Corrente-Contínua-para-Análise-Harm.pdf> Acesso em 12 de dez. 2022.
- DIAS, João Castanho. **Raízes da Fertilizade**. *Ebook*. São Paulo, 2005.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E.. **Fertilizantes: uma visão global sintética** BNDES Setorial., 2006. Disponível em:< <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2657>>. Acesso em 9 de jan. 2022
- ECODEBATE. **Uso intensivo de fertilizantes nitrogenados ameaça o clima**. 2020. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2020/10/20/uso-intensivo-de-fertilizantes-nitrogenados-ameaca-o-clima/>>. Acesso em 15 de fev. 2022.

FAO. **El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades**. 2022 Disponível em: <<https://www.fao.org>> . Acesso em 4 mar. 2022.

GLOBALFERT. **2º Report Anual do mercado de fertilizantes**. Disponível em: <<https://www.globalfert.com.br>> . Acesso em 3 de fev. 2022.

GLOBALFERT. **Conflito entre Rússia e Ucrânia: Análise do mercado de fertilizantes**. 2022. Disponível em: <<https://globalfert.com.br/analises/conflito-entre-russia-e-ucrania-analise-do-mercado-de-fertilizantes-globalfert/>>. Acesso em 19 de fev. 2022

GONÇALVES, Joanisval Brito. **Plano nacional de fertilizantes**. Disponível em:<<https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050>>. Acesso em 20 de mar. 2022.

IFA. **Consumption and production of fertilizer**. 2022. Disponível em: <<https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>>. Acesso em 28 de fev. 2022

IFA. **Executive Summary Fertilizer Outlook 2019-2023. IFA Annual Conference**, n. June, p. 150–160, 2019. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em 14 fev. 2022.

IFA. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. 2015. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em 14 fev. 2022.

IFA. **Public Summary Short-Term Fertilizer Outlook**. 2021. Disponível em: <<https://api.ifastat.org>> Acesso em 15 de fev. 2022.

JUNIOR, A. **Competitividade do gás natural: estudo de caso na indústria de fertilizantes nitrogenados**. 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em 3 de fev. 2022.

MELO, H. F.. **Adubação nitrogenada e inoculação de sementes com Azospirillum brasilense na cultura do milho**. Monografia (Monografia em Agromonia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 2014.

MENDONÇA, R. S.. **Fontes de fertilizantes nitrogenados para a cultura do milho**. 23 f. 2015. - Monografia (Monografia em Agronomia) - Universidade Federal de São João Del Rei. Sete Lagoas - MG. 2015.

NATIONMASTER. **Nitrogen Fertilizer Production**. 2022. Disponível em: <<https://www.nationmaster.com/nmx/ranking/nitrogen-fertilizer-production>>. Acesso em 28 de fev. 2022.

OEC. **Ammonium nitrate, including solution, in pack >10 kg**. 2020a. Disponível em: <[https://oec.world/en/profile/hs92/ammonium-nitrate-including-solution-in-pack-10-kg#:~:text=Sweden \(%2471M\).-,In 2019%2C the countries that had a largest trade value,and Romania \(%2454.4M\)>](https://oec.world/en/profile/hs92/ammonium-nitrate-including-solution-in-pack-10-kg#:~:text=Sweden (%2471M).-,In 2019%2C the countries that had a largest trade value,and Romania (%2454.4M)>)>. Acesso em 28 fev. 2022.

OEC. **Ammonium sulphate, in packs >10 kg** 2020b. Disponível em: <<https://oec.world/en/profile/hs92/ammonium-sulphate-in-packs-10-kg>>. Acesso em 28 fev. 2022.

OEC. **Fertilizers - Product Trade, Exporters and Importers**. 2021a. Disponível em: <[https://oec.world/en/profile/hs92/fertilizers#:~:text=Exports In 2020 the top,and France \(%241.83B\)>](https://oec.world/en/profile/hs92/fertilizers#:~:text=Exports In 2020 the top,and France (%241.83B)>)>. Acesso em 28 fev. 2022.

OEC. **Nitrogenous Fertilizers**. 2021b. Disponível em: <<https://oec.world/en/profile/hs92/nitrogenous-fertilizers>>. Acesso em 28 fev. 2022.

OEC. **Urea, including aqueous solution in packs >10 kg**. 2020c. Disponível em: <<https://oec.world/en/profile/hs92/urea-including-aqueous-solution-in-packs-10-kg>>. Acesso em 28 fev. 2022

ONU. **FAO: Desenvolvimento sustentável nas indústrias de sementes é vital**. 2021. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1769342>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

- PAULA, A. C. S.. **Diagnóstico Estratégico da Indústria de Fertilizantes Nitrogenados no Brasil**. Monografia (Monografia em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2020.
- PETROBRAS. **Gás Natural**. 2021. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/industriais/gas-natural/>>. Acesso em 5 de fev. 2022.
- QUARTUCCI, J. P. **A química orgânica e suas aplicações à morfologia e patologia**. Monografia (Monografia em Engenharia Química) - Universidade Federal da Bahia, Ondina - BA. 2005.
- RAMOS, M. P. **Estudo da cadeia produtiva de fertilizantes no Brasil**. - Monografia (Monografia em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ. 2020.
- REETZ JR, H. F. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente**. 1º ed. Copyright 2016 IFA. São Paulo, 2017.
- RIBEIRO, D. Processo de Haber-Bosch. **Revista de Ciência Elementar**. v. 1, n. 1, p. 1–2, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.24927/rce2013.031>> Acesso em 3 de dez. 2022.
- SANTOS, T. D.. **Balança Comercial de Fertilizantes no Brasil: Determinantes e Consequências**. Monografia (Monografia em Ciências Econômicas). - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 2021.
- SARTORE, P. E. **Otimização energética de uma planta de produção de amônia**. - Tese (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ. 2015.
- STATISTA. **Consumption of nitrogen fertilizer worldwide in 2018, by country**. 2022a. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1252671/nitrogen-fertilizer-consumption-by-country/#:~:text=Global nitrogen fertilizer consumption amounted,11.3 million metric tons%2C respectively>>. Acesso em 3 de mar. 2022.

STATISTA. **Global demand for agricultural fertilizer by nutrient from 2011/2012 to 2021/2022** (in million metric tons). 2022b. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/438930/fertilizer-demand-globally-by-nutrient/#:~:text=Global fertilizer demand by nutrient 2011-2022&text=In 2021%2F2021%2C the total,especially noted in recent years>>. Acesso em 4 de mar. 2022.

STATISTA. **Global production of fertilizers worldwide from 2005 to 2019, by nutrient.** 2022c. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1290786/global-fertilizer-production-by-nutrient/>>. Acesso em 4 de mar. 2022.

STATISTA. **Production of calcium ammonium nitrate worldwide from 2009 to 2020.** 2022.d. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1288991/global-calcium-ammonium-nitrate-production/>>. Acesso em 4 de mar. 2022

STATISTA. **Production of urea worldwide from 2009 to 2020.** 2022e. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1287028/global-urea-production/>>. Acesso em 5 de mar. 2022.

TEIXEIRA, M. J. **Análise do Mercado de Fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020. Interface Tecnológica.** Araras - SP. 2021.

VARASCHINI, A. D. C. **Avaliação Da Fertilidade Do Solo Na Agricultura de Precisão.** Monografia (Monografia em Agronomia)- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí - RS. 2012.