

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL - UNIJUI
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

SARA LARISSA DE OLIVEIRA DA SILVA

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A AVALIAÇÃO DO CICLO DE
VIDA E FERTILIZANTES**

**Ijuí
2021**

SARA LARISSA DE OLIVEIRA DA SILVA

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A AVALIAÇÃO DO CICLO DE
VIDA E FERTILIZANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia
Química apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Químico.

Orientador(a): Prof. Dra Joice Viviane de Oliveira

**Ijuí
2021**

SARA LARISSA DE OLIVEIRA DA SILVA

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A AVALIAÇÃO DO CICLO DE
VIDA E FERTILIZANTES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO QUÍMICO e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 09 de julho de 2021

Prof. Joice Viviane de Oliveira

Doutora pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – Orientador

Prof. Eliseu Kotlinski

Coordenador do Curso de Engenharia Química/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernanda da Cunha Pereira

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Dedico este trabalho aos meus pais, que
sempre me incentivaram e apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido força e paciência para correr atrás dos meus objetivos, também por todas as oportunidades que tive para chegar até aqui.

Sou imensamente grata aos meus pais, Adriana e Edilceu, e minha irmã, Samara, por estarem sempre ao meu lado me apoiando e dando tudo de si para que pudesse realizar a graduação. Por sempre me incentivarem a estudar e nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus amigos, namorado e familiares por me acompanharem desde o início nessa caminhada, me motivando e dando forças para continuar, muitas vezes precisando entender minha ausência em alguns momentos.

A minha orientadora professora Joice Viviane de Oliveira, por ser paciente e me ajudar em toda a realização do trabalho. Tenho grande admiração pela mulher e profissional que é e agradeço por todos os ensinamentos.

Aos meus colegas de graduação, que participaram de muitas etapas dessa caminhada comigo, compartilhando sentimentos, conhecimentos e conquistas. Sempre incentivando um ao outro para nunca desistir.

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte da minha formação e da realização desde trabalho.

Muito obrigada!

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

SILVA, S. L. O. **Fundamentação Teórica sobre a Avaliação do Ciclo de Vida e fertilizantes.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Química, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, 2021.

O crescimento populacional resultou num aumento da demanda por alimentos e, com isso, o setor agropecuário também precisou aumentar sua produção, usando como alternativa os fertilizantes. Pela definição do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, fertilizante é uma substância mineral ou orgânica, natural ou sintética que fornece nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, ou seja, devolve ao solo os nutrientes retirados durante as colheitas, podendo aumentar a capacidade produtiva da área. No mercado são encontrados basicamente três tipos de fertilizantes: minerais, orgânicos e organominerais, os quais são compostos pelos mesmos elementos principais: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K). Como o setor agropecuário é um dos maiores movimentadores da economia no Brasil, são levantadas questões sobre a segurança ambiental em relação ao uso de fertilizantes. Uma das técnicas conhecidas para compreender os impactos que o processo produtivo de um produto pode causar ao meio ambiente é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que leva em consideração toda a história de um produto, desde a obtenção da matéria prima até a disposição final. O presente trabalho faz uma relação entre fertilizantes minerais e organominerais com a ACV, foram apresentados conceitos, composições, normas e vantagens para cada tipo de fertilizante, e por fim, realizado um levantamento sobre o estado da arte para Avaliação do Ciclo de Vida para fertilizantes.

Palavras - chave: Avaliação do ciclo de vida. Fertilizantes Organominerais. Fertilizantes Minerais.

ABSTRACT

SILVA, S. L. O. **Fundamentação Teórica sobre a Avaliação do Ciclo de Vida e fertilizantes.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Química, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, 2021.

Population growth resulted in an increase in the demand for food and, as a result, the agricultural sector also needed to increase its production, using fertilizers as an alternative. As defined by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply - MAPA, fertilizer is a mineral or organic substance, natural or synthetic, that provides nutrients necessary for the development of plants, that is, it returns to the soil the nutrients removed during harvests, which may increase the productive capacity of the area. There are basically three types of fertilizers on the market: minerals, organics and organominerals, which are composed of the same main elements: Nitrogen (N), Phosphorus (P) and Potassium (K). As the agricultural sector is one of the biggest drivers of the economy in Brazil, questions are raised about environmental safety in relation to the use of fertilizers. One of the known techniques to understand the impacts that the production process of a product can cause to the environment is the Life Cycle Assessment (LCA), which takes into account the entire history of a product, from obtaining the raw material to the final disposition. The present work makes a relationship between mineral and organomineral fertilizers with LCA, concepts, compositions, standards and advantages for each type of fertilizer were presented, and finally, a survey was carried out on the state of the art for Life Cycle Assessment for fertilizers.

Keywords: Life cycle assessment. Organomineral Fertilizers. Mineral Fertilizers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de fertilizantes entregue ao consumidor final.....	20
Figura 2 – Estrutura do estudo da Avaliação do Ciclo de Vida.....	25
Figura 3 – Ciclo Fechado da Produção de Fertilizante Organomineral.....	39
Figura 4 – Número de publicações do <i>Science Direct</i> por ano (2000-2021).....	41
Figura 5 – Número de publicações do <i>Science Direct</i> por periódicos.....	42
Figura 6 - Relação de número de publicações do <i>Science Direct</i> por país.....	43
Figura 7 – Número de Publicações do <i>Science Direct</i> para cada tipo de fertilizante.....	43
Figura 8 – Número de publicações do Portal CAPES por ano (2000-2021).....	44
Figura 9 - Número de publicações do Portal CAPES por periódico.....	45
Figura 10 – Relação do número de publicações do Portal CAPES por país.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais palavras-chave utilizadas para a pesquisa.....	23
Tabela 2 – Exemplo de função e unidade funcional.....	28
Tabela 3 – Especificações para fertilizantes minerais de natureza sólida com diferentes granulometrias.....	32
Tabela 4 – Classes de fertilizantes organominerais.....	34
Tabela 5 - Geração de resíduos por tonelada de cana-de-açúcar processada.....	36
Tabela 6 – Produção diária de dejetos líquidos e sólidos de animais.....	36
Tabela 7 – Classificação dos Fertilizantes Orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais.....	37
Tabela 8 - Artigos ACV em Fertilizantes do Portal EMBRAPA.....	47
Tabela 9 – Relação de artigos sobre ACV em fertilizantes organominerais.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABISOLO - Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

As – Arsênio

Cd – Cádmio

CH₄ – Metano

CO₂ - Dióxido de carbono

CTC - Capacidade de Troca de Catiônica

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FOM – Fertilizante Organomineral

GANAP - Grupo de Apoio à Normalização Ambiental

g/cm.s – grama/centímetro.segundo

GEE – Gases de Efeito Estufa

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

IPCC - Painel Intergovernamental em Mudanças Climática

K – Potássio

K₂O - Óxido de potássio

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Mg – Mercúrio

N₂O - Óxido nitroso

N – Nitrogênio

NPK – formulação contendo Nitrogênio, Fósforo e Potássio

Pd – Chumbo

P – Fósforo

P₂O₅ - Pentóxido de fósforo

REBACV - Rede Empresarial Brasileira de Avaliação do Ciclo de Vida

SO₂ - Dióxido de enxofre

SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

U – Urânio

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Contexto	14
1.2 Problema	15
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1 História dos fertilizantes	16
3.2 Fertilizantes no Brasil	17
3.3 Mercado brasileiro de fertilizantes	19
3.4 Aspectos ambientais	20
3.5 Avaliação do Ciclo de Vida	21
4 METODOLOGIA	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 Avaliação do Ciclo de Vida	24
5.1.1 Estrutura ACV	24
5.1.2 Aplicações da ACV	27
5.1.3 Avaliação do Ciclo de Vida em Fertilizantes	27
5.1.4 Legislação referente a ACV	30
5.2 Fertilizantes Minerais	30
5.2.1 Composição	30

5.2.2	Legislação para fertilizantes minerais	31
5.3	Fertilizante Organomineral	33
5.3.1	Composição e Caracterização.....	33
5.3.2	Matéria prima	35
5.3.3	Legislação referente a FOM	37
5.3.4	Vantagens dos FOM.....	38
5.3.5	Diferenças entre os tipos de fertilizantes	40
5.4	Estado da Arte.....	40
5.4.1	Avaliação do Ciclo de Vida para Fertilizantes.....	41
5.4.1.1	<i>Science Direct</i>	41
5.4.1.3	Portal Embrapa.....	46
5.4.2	Considerações sobre Avaliação do Ciclo de Vida para FOMs.....	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
7	REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Com o aumento populacional e sua grande demanda de produtos e insumos, potencializou a preocupação com a qualidade do meio ambiente e, iniciou-se uma busca por alternativas de produção que apresentem menos impactos ambientais. A Análise ou Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surgiu com o intuito de avaliar cada etapa do ciclo de vida de um produto, onde é realizada uma análise desde a obtenção da matéria prima até o produto final comparando cada uma dessas etapas com o impacto que é causado ao meio ambiente.

Segundo *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* - SETAC (1993) a ACV considera todas as etapas do processamento do produto, desde a extração da matéria prima, sua fabricação, a utilização e até a reciclagem e reutilização do produto final se for o caso.

Tendo em vista que o setor agropecuário é um dos maiores do país e tem grande importância na economia, existem discussões quanto a segurança ambiental do uso de fertilizantes, que servem para aumentar a capacidade produtiva do solo fornecendo os nutrientes necessários para cada tipo de plantação, tendo em vista a possível relação com os impactos que o produto pode causar ao meio ambiente.

Pela definição do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA fertilizante é uma substância que pode ser mineral ou orgânica, natural ou sintética que fornece nutrientes necessários para o desenvolvimento de plantas. Sendo fertilizante mineral um produto fundamentalmente mineral, natural ou sintético, que pode ser obtido através de processos físicos, químicos ou físico-químicos capaz de fornecer um ou mais nutrientes para as plantas. Pela definição do MAPA, os fertilizantes organominerais são resultado de uma mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

A composição dos fertilizantes é dividida em três classes: os elementos principais que são nitrogênio, fósforo e potássio, elementos secundários cálcio, magnésio e enxofre, e os microelementos que são boro, manganês, zinco, ferro, entre outros. (Portal de Resíduos Sólidos-PRS, 2020)

A razão dos fertilizantes serem compostos basicamente por nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) é devido aos benefícios que trazem às plantas. O nitrogênio faz com que ocorra uma melhor metabolização de proteínas, fazendo a planta crescer e se desenvolver melhor. O fósforo tem função importante no processo de fotossíntese, pois é utilizado na geração de

energia. E o potássio é o responsável por dar resistência e durabilidade as plantas. (LOPES, 1998)

1.2 Problema

Fertilizante organomineral (FOM) é o produto resultante de uma mistura de fertilizantes minerais e orgânicos. Os materiais orgânicos mais utilizados são os de resíduos de animais, lodo de esgoto e deposições geológicas de origem orgânica. Como a suinocultura e avicultura produzem grande quantidade de dejetos que servem como base orgânica para adubação. Os resíduos orgânicos gerados em atividades como pecuária e agroindústria, são importantes fontes de nitrogênio (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) e óxido de potássio (K_2O) que são componentes essenciais para a produção de fertilizantes.

Buscando um destino para esses resíduos agropecuários foram desenvolvidos os FOM, os quais podem ser líquidos ou sólidos. A forma líquida ou fluida é obtida através do enriquecimento do dejetos, onde podem ser adicionados fontes de N, P e K ou até micronutrientes gerando um fertilizante enriquecido para determinada cultura. Na forma sólida pode ser farelado ou granulado, onde o farelado é obtido da porção sólida do dejetos e, igualmente, pode ser enriquecido com fonte mineral de nutrientes e sais solúveis de micronutrientes. Já o granulado é produzido a partir do resíduo da peneira antes do biodigestor, sendo adicionado nutrientes conforme a demanda das culturas, esse tipo de fertilizante é produzido por um sistema de compostagem da porção sólida do dejetos, após é peneirado, seco e por fim moídos e granulados. (Portal Embrapa, 2021)

Em parceria com a Universidade de Rio Verde, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa desenvolveu um fertilizante organomineral granulado utilizando dejetos de cama de frango, o qual possui uma mistura de fonte orgânica com fonte mineral de nutrientes, enriquecendo o teor nutricional do produto. Esse tipo de fertilizante é capaz de reduzir o potencial de poluição do resíduo e contribui para uma melhora gradativa do solo.

O intuito desta pesquisa é expor conceitos, aplicações, utilizações e as normas existentes para a ACV, fertilizantes minerais e FOM. Também será realizado um levantamento sobre o estado da arte da avaliação do ciclo de vida de ambos os fertilizantes, buscando apresentar os estudos já realizados e saber em qual nível estão as pesquisas sobre o assunto.

O principal motivo para a realização deste trabalho é a constante preocupação com a qualidade do meio ambiente, já que recursos não renováveis estão se esgotando cada vez mais rápido.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver estudo sobre Avaliação do Ciclo de Vida e fertilizantes, com foco nos de origem organomineral. Também realizar um levantamento sobre o estado da arte das avaliações do ciclo de vida para fertilizantes minerais e organominerais.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar a bibliografia sobre Análise do Ciclo de Vida, fertilizantes organominerais e fertilizantes minerais;
- Verificar as normas, aplicações e etapas da Análise do Ciclo de Vida;
- Analisar as normas, utilização e composição dos fertilizantes minerais e organominerais;
- Realizar um estudo sobre o estado da arte das avaliações do ciclo de vida de fertilizantes e organominerais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 História dos fertilizantes

Os fertilizantes, usados para fortalecer o solo, são consumidos desde a época do homem neolítico, onde as fezes de animais, popularmente conhecido como “esterco”, eram utilizadas para fornecer nutrientes às plantas. Porém, foi apenas no ano de 1840 que o conceito de fertilizante teve início. Foi Justus Von Liebig, um pesquisador, que buscou entender mais sobre os fertilizantes e sobre quais eram os nutrientes necessários para um melhor desenvolvimento das plantas. (ABREU, 2017)

Justus Von Liebig é considerado o pai da agricultura moderna, através de seus estudos, concluiu que a nutrição das plantas é feita por elementos minerais encontrados no solo, por isso era necessário adicionar alguns nutrientes na terra e como consequência teriam uma melhor qualidade e um crescimento maior das culturas. No ano de 1842, substituiu-se o esterco por fertilizantes químicos, o NPK, consumido e conhecido até os dias de hoje, pois fornece os três principais elementos: nitrogênio, fósforo e potássio. Com o passar dos anos foi-se aprimorando

a fabricação de fertilizantes, surgiram os superfosfatos, os nitrogenados, ureia e potássio, estes foram tão eficientes que ainda são encontrados no mercado. (SUCESSO NO CAMPO, 2018)

No Brasil, os fertilizantes chegaram em meados de 1895, através de uma produtora de café da época. Inicialmente o consumo era pouco, já que o solo era bem fértil e produtivo. Devido à dificuldade de comercialização de fertilizantes, algumas empresas criaram a Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA para incentivar agricultores a comprarem e consumirem o produto. Atualmente, a utilização de fertilizantes se tornou quase que uma necessidade, contando que a falta de nutrientes no solo está cada vez maior. (ANDA, 2021)

3.2 Fertilizantes no Brasil

Ao longo dos anos, o setor agropecuário tem se tornado um dos maiores movimentadores da economia, tanto no Brasil quanto mundialmente, devido ao constante crescimento populacional. Em virtude disto, a busca por novas tecnologias e aprimoramento na qualidade de fertilizantes tem se tornado cada vez mais importante, já que estes são os principais responsáveis pelo aumento da produção agrícola.

A principal função dos fertilizantes é devolver ao solo os nutrientes retirados em cada colheita, para que não ocorra uma mudança na qualidade e produção da safra. Existe um conjunto de elementos químicos que são primordiais para o crescimento das plantas, e esses elementos são classificados em dois grupos: macronutrientes, que são necessários em maior quantidade, e micronutrientes, que são necessários em menor proporção (ANDRADE, 1995). O grupo dos macronutrientes são divididos em primários: nitrogênio, fósforo e potássio, e em secundários: cálcio, magnésio e enxofre. Dentro dos micronutrientes estão o boro, cloro, cobalto, cobre, níquel, ferro, zinco, entre outros (MAPA, 2018). Mesmo que a lista de elementos de cada grande grupo não seja pequena, do ponto de vista comercial, os principais elementos para uma boa fertilização do solo são apenas nitrogênio, fósforo e potássio, o famoso fertilizante NPK.

Com o passar dos anos surgiram diferentes tipos de fertilizantes, que fornecem a mesma nutrição ao solo, porém possuem matérias primas diferentes. Existem basicamente três tipos no mercado atualmente: minerais, orgânicos e organominerais. Os minerais podem ser de origem mineral, natural ou sintética, sendo obtido por processos físicos, químicos ou físico-químicos. Os fertilizantes orgânicos são de natureza orgânica, produzidos a partir de matérias

primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, e os organominerais que são uma combinação entre fertilizantes minerais e orgânicos. (BRASIL, 2004)

Além de serem classificados conforme a matéria prima de origem, os fertilizantes também são classificados por sua forma física: em pó, quando possuem partículas com pequenas dimensões; a mistura de grânulos, ocorre quando dois ou três tipos de grânulos diferentes são misturados; a mistura granulada que é quando ocorre a mistura de produtos em pó que passam pelo processo de granulação, para que todos os nutrientes fiquem no mesmo tamanho; o complexo granulado quando a mistura de matérias primas diferentes resultam em um novo composto químico; os fertilizantes líquidos ou fluídos que podem ser soluções sem presença de material sólido ou suspensões quando existe um sólido disperso no meio líquido, e pôr fim a forma gasosa, onde o fertilizante é um gás em condições normais de pressão e temperatura, o único existente na forma gasosa é a amônia anidra. (SILVA,2011)

Devido ao crescimento populacional significativo, a demanda por alimentos aumenta e, conseqüentemente, a utilização de fertilizantes também. Segundo Goedert (1981), o consumo de fertilizantes triplica a cada dez anos. O autor também explica que o consumo do produto vai além do seu uso para o aumento da produtividade, serve para repor os nutrientes ao solo para regiões de baixa fertilidade, devido a maior deficiência de fósforo no solo nacional, os fertilizantes fosfatados são os que possuem maior consumo.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no ano de 2014 o consumo de fertilizantes no Brasil foi de cerca de 14 milhões de toneladas, valor que deve ter aumentado considerando que a cada colheita uma parcela dos nutrientes do solo é retirado. Apesar de ser um grande consumidor de fertilizantes, a produção destes no Brasil está em constante queda, o que ocasiona um aumento na importação do produto. Cerca de 70% dos fertilizantes consumidos no país, são de origem externa, o que leva o Brasil à posição de maior importador de fertilizantes em comparação aos demais países do mundo. Segundo Silva e Fernandes (2017), no ano de 2017 a quantidade de importações foi cerca de 10 vezes maior que a de exportações, ou seja, foram comprados mais fertilizantes do que vendidos.

Os custos de produção e obtenção da matéria prima, a questão de impostos no país e a baixa quantidade de indústrias que produzem fertilizantes, são alguns dos fatores que geram impactos negativos para a produção e comercialização interna de fertilizantes, tornando mais vantajoso importar o produto. (SILVA e FERNANDES, 2017)

Considerando o grande consumo de fertilizante no Brasil, é necessário levar em conta os impactos ambientais causados por essa utilização. Mesmo trazendo benefícios ao solo, devido a adição de metais, possíveis problemas de contaminação podem surgir. Apesar de

alguns elementos não serem ambientalmente perigosos, existem os que são tóxicos, como chumbo (Pb), urânio (U), cádmio (Cd), arsênio (As) e mercúrio (Hg) e podem causar problemas tanto ao meio ambiente quanto para a saúde humana. Normalmente, as concentrações usadas nos fertilizantes são baixas e não oferecem algum risco, porém sua adição no solo repetidamente pode ocasionar em um aumento no teor desses elementos, causando a contaminação do solo e da água. Os fertilizantes fosfatados, mais consumidos no país, são considerados os que mais contribuem para o acúmulo de metais no ambiente agrícola. (MENDES, 2010)

O consumo contínuo de fertilizantes pode gerar um excesso de nutrientes no solo, o que resulta em perdas potenciais, podendo poluir a água e o ar. Como a utilização de fertilizantes é necessária, uma alternativa é investir em novos materiais de fertilização, diminuindo o consumo dos que tem origem química e usando os de origem orgânica. (REETZ, 2017)

3.3 Mercado brasileiro de fertilizantes

O Brasil é considerado um dos maiores países produtores e fornecedores de grãos e, devido ao aumento da demanda de produtos agrícolas, é necessária uma melhoria na produção. Como os solos brasileiros são limitados, é preciso encontrar uma solução para repor nutrientes em terras que já tiveram algum tipo de cultivo, uma alternativa para isso é a utilização de fertilizantes. (COSTA e SILVA, 2012)

Apesar de ser considerado o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, o Brasil não possui altos índices de produção do mesmo, representando apenas 2% da produção mundial (LOBO, 2008). O principal motivo da baixa produção no país é a escassez de minas de fósforo e potássio, dificultando a produção dos principais nutrientes utilizados em fertilizantes. (BNDES, 2017)

Com a baixa produção dos insumos no país e a grande demanda por fertilizantes, a alternativa utilizada para que não falte o produto é a importação. A China, Índia, Estados Unidos e Rússia são considerados os maiores produtores de fertilizantes do mundo, estes países são responsáveis por cerca de 63% da produção mundial de fertilizantes. (COSTA e SILVA, 2012)

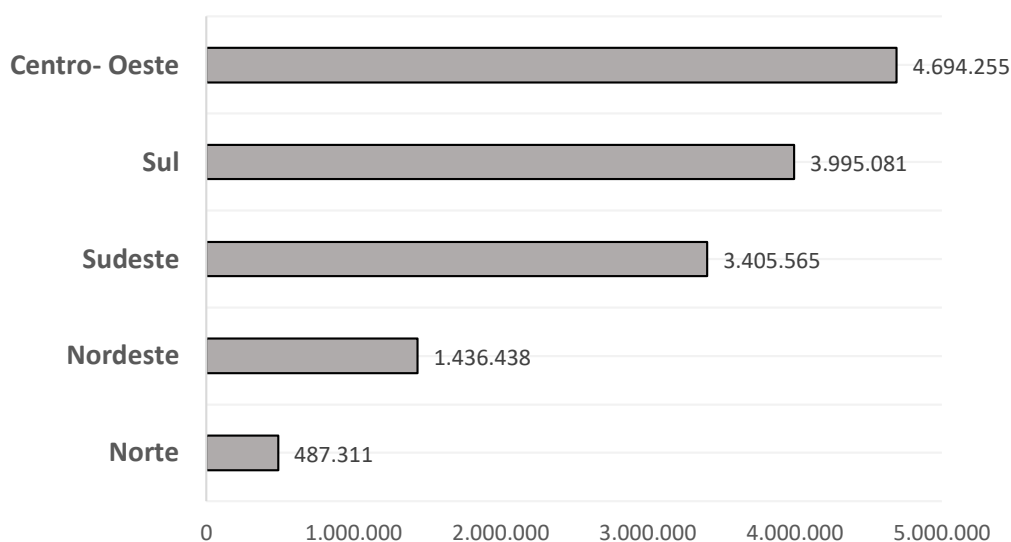
De acordo com a ANDA, 2021, a produção nacional de fertilizantes do mês de janeiro de 2021 foi de aproximadamente 507 mil toneladas, uma queda de cerca de 14,7% em relação a janeiro de 2020, que teve uma produção de 594 mil toneladas de fertilizantes. Em relação as importações do produto, do mês de janeiro até abril de 2021 foram importados cerca de 2,8

milhões de toneladas, enquanto durante o ano todo de 2020 foram importados apenas 2,1 milhões de toneladas, tendo um aumento de cerca de 32,1% de um ano para o outro.

Segundo COSTA e SILVA, 2012, as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste são as maiores consumidoras dos fertilizantes, dentre estas regiões o estado que mais se destaca é o Mato Grosso, representando cerca de 16% do consumo total do país, logo atrás estão os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná.

O Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes do ano de 2014, publicado pela ANDA, fez uma relação da quantidade (em toneladas) de fertilizantes entregues ao consumidor final por cada região do país, é possível verificar esta relação na Figura 1 abaixo. Através destes dados é possível verificar que a região de maior consumo de fertilizantes é a região Centro-Oeste, seguida da região Sul e da Sudeste, sendo a região Norte a que menos consome fertilizantes. (ANDA, 2015)

Figura 1 – Quantidade de fertilizantes entregue ao consumidor final.



Fonte: ANDA, 2015.

3.4 Aspectos ambientais

Mesmo sendo eficiente na reposição de nutrientes ao solo, os fertilizantes, em seu processo de produção ou no uso excessivo, podem causar sérios problemas ao meio ambiente. A aplicação de fertilizantes na terra, seja em grandes quantidades ou com frequência além do necessário, causa um excesso de nutrientes resultando em perdas potenciais que podem acabar poluindo a água e o ar. Altos níveis de nitrato e fósforo em corpos de água podem acabar causando a eutrofização, ou seja, ocorre a diminuição dos níveis de oxigênio no rio ou lago,

ocasionando na morte de vidas aquáticas, esse tipo de problema ocorre devido ao uso descontrolado de fertilizantes. (REETZ, 2017)

Normalmente, elementos potencialmente prejudiciais são removidas do produto final, isso ocorre com frequência em indústrias alimentícias, porém no caso de fertilizantes ainda não foi encontrado um meio econômico de remover esses elementos, o cádmio (Cd) é um exemplo desses elementos. Em altos níveis, o Cd pode ser tóxico a plantas e animais, fertilizantes fosfatados ou os orgânicos originados de lodo de esgoto ou esterco de animal são fontes de cádmio. (ISHERWOOD, 2000)

É possível verificar mais alguns fatores sobre os aspectos ambientais considerados com o uso e produção de fertilizantes no Item 5.1.3.

3.5 Avaliação do Ciclo de Vida

Pela definição do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT, a Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica que abrange a história de um determinado produto desde a sua fabricação até o produto final, onde são levantados dados de todas as etapas da produção e do uso do produto, considerando também reciclagem e reuso. Segundo o IBICT, qualquer produto pode causar algum tipo de impacto ao meio ambiente, além das emissões de CO₂, a acidificação do solo, água e ar, agentes tóxicos liberados, esgotamento de recursos naturais e danos à saúde humana são alguns dos pontos considerados durante uma Análise do Ciclo de Vida.

O primeiro estudo sobre ACV foi custeado pela empresa Coca-Cola, em 1965, nos Estados Unidos, onde o objetivo era encontrar a embalagem de refrigerante que emitisse menos gases ao meio ambiente e consumisse menor quantidade de energia durante o processo de fabricação, esse estudo ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) e foi realizado pelo *Midwest Research Institute* (MRI). (IBICT, 2012)

No Brasil, a ACV iniciou-se por volta de 1994, com a criação de um subcomitê dentro do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), que desenvolveu a série de normas ISO 14000, que trata sobre gestão ambiental, dentro dessa norma está a ISO 14040 que trata especificamente sobre a Avaliação do Ciclo de Vida orientando sobre a aplicação e elaboração de suas fases.

De acordo com a NBR ISO 14040 (2001) dentro das fases de uma Análise do Ciclo de Vida de um produto estão a definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação dos impactos e interpretação de resultados. Para a definição de objetivo e escopo, é elaborado um

projeto definindo limites do estudo e o objetivo da realização da avaliação, incluindo a metodologia a ser desenvolvida. Em seguida é definida a unidade funcional, que serve como uma referência para o cálculo das entradas e saídas do sistema, como uma unidade de medida. A segunda etapa é a análise de inventário que envolve a coleta de dados e cálculos de quantificação de entradas e saídas, essas entradas e saídas consideram o uso de recursos e emissões no ar, água e solo. A fase da avaliação dos impactos relaciona os dados obtidos na análise do inventário com impactos ambientais específicos e tenta compreender estes resultados. Essa avaliação é feita em três etapas: classificação, onde os dados são separados por categoria de impacto, caracterização, onde ocorre uma modelagem de dados dentro das categorias de impacto através de dados físicos, toxicológicos, químicos e biológicos, e a última etapa é a valoração, que trata da importância dos resultados.

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado em basicamente duas etapas, uma pesquisa geral sobre os temas de Avaliação do Ciclo de Vida, fertilizantes minerais e organominerais para conceituar cada um, apresentar suas aplicações, composição, vantagens e legislação, enfim, foi feita uma busca tentando detalhar cada um dos temas a fim de tornar mais fácil o entendimento. A outra etapa é a realização de um levantamento dos estudos já realizados sobre ACV para fertilizantes, e ACV para fertilizantes organominerais.

Para a revisão bibliográfica foram utilizadas fontes de pesquisas como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal - ABISOLO, Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA, Banco Nacional do Desenvolvimento – BNDES, Portal de Periódicos do CAPES, *Science Direct* e Scielo. Os materiais utilizados foram teses, dissertações, monografias, artigos em revistas ou jornais, publicações em sites, periódicos, instruções normativas, leis e decretos governamentais.

Para a primeira parte da pesquisa foram utilizadas palavras-chave para encontrar dados sobre o cada um dos temas, na Tabela 1 estão representados as principais palavras-chaves utilizadas.

Tabela 1 – Principais palavras-chave utilizadas para a pesquisa.

TEMA	PALAVRAS-CHAVE
FERTILIZANTES	Origem dos fertilizantes
	Mercado brasileiro de fertilizantes
	Fertilizantes no Brasil
	Impactos ambientais causados por fertilizantes
	Conceito de fertilizantes
	Tipos de fertilizantes
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	Avaliação do Ciclo de Vida
	Normas ACV
	Conceitos ACV
	Utilização e Aplicação de ACV
	Avaliação do Ciclo de Vida em fertilizantes
	Etapas necessárias para a realização de estudo ACV
FERTILIZANTES MINERAIS	O que são fertilizantes minerais
	Composição dos fertilizantes minerais
	Legislação para fertilizantes minerais
	Produção de fertilizantes minerais
FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS	Fertilizantes Organonerais
	Composição dos fertilizantes organominerais
	Normas para Fertilizantes Organominerais
	Matéria prima utilizada em fertilizantes organominerais
	Usos e aplicações de fertilizantes organominerais
	Vantagens da utilização de fertilizantes organominerais

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Para o levantamento do estado da arte foram utilizadas fontes de pesquisa mais específicas como o *Science Direct*, Portal de Periódicos do CAPES e Portal Embrapa, com intuito de encontrar trabalhos específicos sobre ACV para fertilizantes e ACV para fertilizantes organominerais. A pesquisa foi realizada buscando materiais escritos não só no Brasil como em outros países, entre os anos 2000 até 2021. Foram pesquisados termos em português “Avaliação do Ciclo de Vida em fertilizantes”, “Avaliação do Ciclo de Vida em fertilizantes organominerais”, também as palavras-chave “ACV”, “fertilizantes”, “organominerais”, também termos em inglês como “fertilizer life cycle assessment”.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação do Ciclo de Vida

Segundo a Normativa Brasileira (NBR) ISO 14040 do ano de 2001, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que serve para avaliar aspectos ambientais e possíveis impactos associados a um determinado produto, ou seja, estuda a parte ambiental ao longo da vida de um produto, desde a obtenção da matéria prima, a produção, o uso e a disposição. Fatores como o uso de recursos, a saúde humana e consequências ecológicas são considerados durante uma análise do ciclo de vida de um produto.

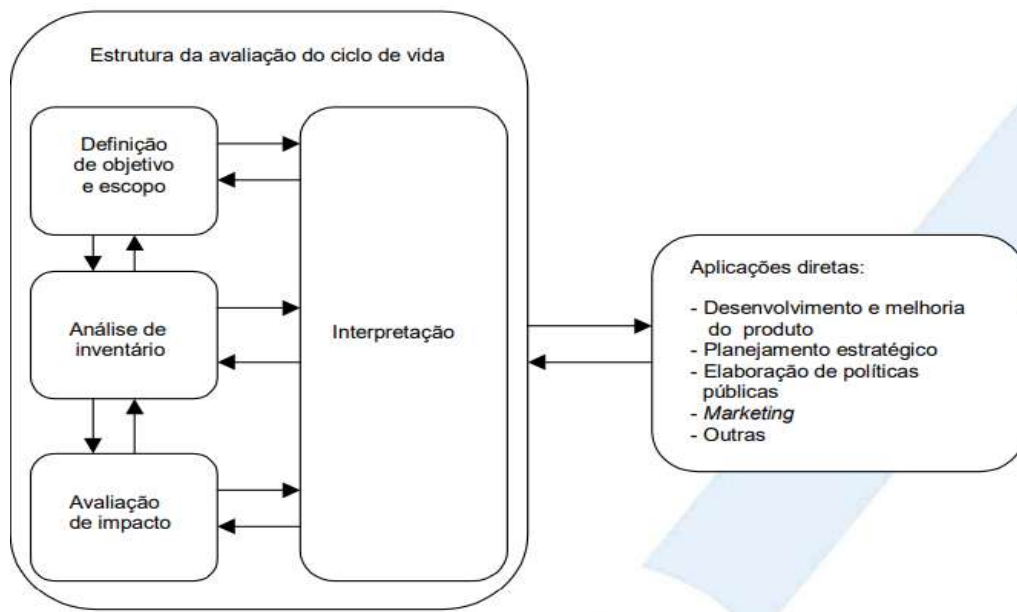
Pode-se dizer que a realização de um estudo ACV serve para identificar e quantificar as interações do ciclo de vida de um produto com os aspectos ambientais e os potenciais impactos causados por essas interações. Os aspectos ambientais considerados são todas as correntes de matéria e energia que partem do meio ambiente e vão para o sistema produtivo e de todas correntes energéticas e de matéria que saem da produção e vão para o meio ambiente. (RIBEIRO, 2009)

5.1.1 Estrutura ACV

Na elaboração de uma análise do ciclo de vida ocorre um levantamento de dados de todas as etapas do ciclo de vida do produto. O ciclo de vida de determinado produto começa a partir da extração da matéria prima, indo para produção, a distribuição até o consumo e disposição final, sendo a reciclagem e reuso do produto. Através dessas análises é possível promover alternativas e melhorias nos processos produtivos, beneficiando não só o meio ambiente, mas também a indústria, que pode aumentar a eficiência dos processos e reduzir custos de produção. Além disso, empresas sustentáveis estão ganhando a vez no mercado consumidor. Durante a realização de um estudo de ACV são considerados o teor de acidez do solo, a acidificação da água e do ar, se o produto afeta a saúde humana, o esgotamento de recursos não renováveis, a emissão de gases e os danos que o produto pode causar a biosfera. (IBICT, 2012)

A NBR ISO 14040 (2009) estabelece algumas etapas necessárias para a realização de um estudo de avaliação do ciclo de vida, são elas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados. Os resultados de uma ACV podem influenciar nos resultados de uma indústria, na melhoria de processos, elaboração de planos sustentáveis, entre outros. A Figura 2 ilustra as fases de uma ACV.

Figura 2 – Estrutura do estudo da Avaliação do Ciclo de Vida.



Fonte: ABNT, 2001.

Na definição do objetivo de estudo, é necessário estabelecer um assunto, as razões para o estudo deste produto e o público- alvo, ou seja, a quem interessa comunicar os resultados do estudo. Para o escopo são considerados alguns parâmetros como o sistema de produto a ser estudado, as fronteiras do estudo, a unidade funcional e os requisitos da qualidade de dados, é através do escopo do estudo que se define a extensão, profundidade e grau de detalhe de um estudo de ACV. Durante a determinação das fronteiras de estudo, são definidos os processos elementares e fluxos a serem levados em consideração, como a aquisição de matérias primas, produção e uso de energias, uso e manutenção de produtos, recuperação de produtos usados (reciclagem e reuso), entre outros. A unidade funcional está relacionada com a quantificação das características de desempenho do produto, a determinação do fluxo de referência é importante para a definir a quantidade de produto necessária para desenvolver tal função. E por fim, os requisitos de qualidade de dados servem para especificar as características dos dados necessários para o estudo, esta etapa é importante para a confiabilidade dos resultados finais. (ABNT, 2009)

Após a definição do objetivo e escopo, a NBR ISO 14040 (2009) define que a segunda etapa da realização de um estudo de ACV é a análise de inventário, onde são coletados dados para cada processo elementar definido na fronteira do sistema, como as entradas do sistema, produtos e resíduos, emissões atmosféricas e outros aspectos ambientais. Após a coleta de

dados, entram os cálculos para a validação dos dados, correlação dos dados com processos elementares e unidade funcional.

A partir dos resultados obtidos na análise de inventário, são estudados os impactos ambientais potenciais, tendo início a fase de avaliação de impacto do ciclo de vida. Nesta etapa, são comparados os dados do inventário com categorias de impactos, também é feita uma análise crítica do objetivo e escopo, avaliando se eles podem ou não ser alcançados. Resumidamente, na etapa de avaliação do impacto do ciclo de vida ocorre uma seleção das categorias de impacto, dos indicadores de categoria e modelos de caracterização. Então, é realizada uma correlação com os resultados da análise de inventário, e por último o cálculo de resultados dos indicadores de categoria modelando o perfil da avaliação de impacto do ciclo de vida. (ABNT,2009)

O SimaPro é um dos softwares mais utilizados para ACV, seguindo as instruções da ISO 14040, serve como ferramenta para coletar dados e analisar o desempenho ambiental dos produtos estudados. (ACV BRASIL, 2021)

A comunicação, ou seja, a forma como os resultados e conclusões do estudo da avaliação do ciclo de vida serão apresentados ao público alvo, é uma etapa importante. É preciso relatar de forma clara quais foram os resultados, a confiabilidade dos dados, as referências utilizadas, os modelos e propostas para uma melhoria no processo de produção. Uma análise crítica também deve ser realizada, para verificar a viabilidade e aumentar a credibilidade da ACV, se ela satisfaz todos os requisitos necessários. (ABNT, 2009)

Para compreender melhor as etapas de uma ACV, tem-se o exemplo de uma cadeira de madeira. Na definição do objetivo são estabelecidos as razões da realização do estudo e o público-alvo, neste caso são os impactos gerados durante a produção da cadeira, e o público-alvo são os fornecedores, acionistas e funcionários da empresa. Dentro do escopo do estudo ocorre a definição do sistema do produto, onde é considerado a matéria prima, processos de corte, montagem, equipamentos, procedimentos utilizados e etc. Na fase de análise de inventário ocorre a coleta de dados e realização de cálculos quantitativos de entradas e saídas, como os recursos utilizados durante o processo produtivo: água, ar, solo e etc. Na fase de avaliação verifica-se a magnitude dos possíveis impactos ambientais gerados durante a produção da cadeira de madeira. Por fim, na fase da interpretação é feita uma conclusão e algumas recomendações para uma melhoria no processo, buscando reduzir impactos. (SEBRAE, 2017)

5.1.2 Aplicações da ACV

A busca pela aplicação da ACV em indústrias e empresas está relacionada as alternativas para melhoria de processos produtivos, a indicação de pontos fortes e fracos do produto, atendimento à legislação, desenvolvimento de estratégias ambientais sustentáveis, enfim, auxilia na tomada de decisões da empresa (RIBEIRO, 2009). No Brasil, existe a Rede Empresarial Brasileira de Avaliação do Ciclo de Vida – REBACV, que desde 2013 busca conscientizar e mobilizar empresas para a incorporação da ACV como uma ferramenta de alternativa sustentável de produtos e processos. (IBICT, 2012)

No Brasil, a primeira atividade relacionada a ACV ocorreu em 1994, quando se deu a criação o Grupo de Apoio a Normalização (GANNA) junto a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), onde se estabeleceu o subcomitê de ACV SC 05. No ano de 1998 foi publicado o primeiro livro brasileiro “Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000” com autoria de José Ribamar Chehebe. Também no ano de 1998, foi criado o Grupo de Prevenção da Poluição (GP2) juntamente com o Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), o grupo permanece até hoje, realizando estudos sobre os problemas ambientais relacionados a poluição.

A tradução da primeira norma da ISO 14040 deu-se em 2001 pela ABNT, despertando o interesse de empresas brasileiras na aplicação da ACV. Com o crescimento da busca pela ACV, em 2002 teve origem a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) com o intuito de divulgar e promover o uso da técnica no Brasil. (RIBEIRO, 2009)

5.1.3 Avaliação do Ciclo de Vida em Fertilizantes

Um dos motivos para a realização da avaliação do ciclo de vida para fertilizantes, além da questão ambiental, é a preocupação com a segurança dos alimentos. Aliado ao crescimento populacional está a demanda por alimento e atender essa necessidade é um desafio. Conforme aumenta a demanda por alimentos, a capacidade produtiva também precisa expandir. Para se alcançar maior produtividade pode ocorrer uso excessivo de fertilizante, reduzindo a qualidade do meio ambiente, degradando a terra, a biodiversidade, o clima e a água. (FOOD SAFETY BRASIL, 2017)

A Avaliação do Ciclo de Vida tem uma metodologia capaz de quantificar as informações referentes as emissões, recursos consumidos, impactos na saúde e impactos ambientais que a utilização de fertilizantes pode causar. Ela tem objetivo de implementar

produtos e práticas ambientalmente sustentáveis, com intuito de reduzir impactos sobre o meio ambiente. (IBCT,2012)

Na primeira etapa do estudo da ACV deve-se realizar a definição do objetivo e escopo, nele é estabelecido o sistema de produto, a função estabelece a que se presta o produto no contexto de análise, a unidade funcional é a unidade de medida da função, os requisitos de qualidade de dados que especificam as características dos dados necessários para o estudo e as fronteiras do sistema. (ABNT,2009)

Para a definição das fronteiras do sistema existem três opções de estudo, “do berço ao túmulo” onde são consideradas todas as etapas do ciclo de vida, “do berço ao portão” onde considera-se a obtenção da matéria prima, passando pela fabricação até a obtenção do produto final dentro dos portões da indústria, e por fim “do portão ao túmulo” onde são analisadas as etapas posteriores a saída do produto da fábrica, sua distribuição, uso e disposição final (RIBEIRO, 2009). Na Tabela 2 tem-se um exemplo de função, unidade funcional e fronteiras utilizando fertilizante como produto.

Tabela 2 – Exemplo de função e unidade funcional.

Função	Unidade Funcional	Fronteiras do sistema
Impactos ambientais da ureia e fertilizantes de nitrato de amônio	1 t de nitrogênio	Produção de fertilizantes e uso no campo
Avaliação e comparação do impacto ambiental do fertilizante, produção sob condições de uso de biogás e gás natural	1 Kg de nitrogênio como nitrato de amônio	Do berço ao portão

Fonte: SKOWROŃSKA e FILIPEK, 2013

Posterior a primeira etapa tem-se a fase de análise do inventário de ciclo de vida, que se refere a coleta de dados e procedimentos de cálculos para quantificar as entradas e saídas do sistema de um produto. Consideram-se entradas todo material ou energia que entra na unidade do processo, como a matéria prima dos fertilizantes por exemplo, e saídas são ou materiais ou energia que deixam a unidade do processo, como rejeitos de materiais, produtos e emissões. Para a fase de análise de impactos são avaliados os potenciais impactos ambientais como o

consumo de recursos naturais, de energia, impactos causados a estrutura do solo, entre outros. (ABNT, 2009)

Em alguns países a utilização de fertilizantes é considerada uma das fontes principais de poluição de água. Em 1991, a União Europeia criou a Norma para Nitratos, que estabelece um limite máximo de 50mg de nitrato por litro e trata da proteção da poluição das águas causadas por nitrato de fontes agrícolas. A Norma determina que a utilização excessiva de fertilizantes gera um risco ambiental. Normalmente a poluição por fertilizante ocorre em áreas de produção de hortaliças, em solos arenosos sob irrigação ou locais em que as doses do produto são exageradas. Em água doce, o fósforo pode causar problemas de eutrofização, que significa uma redução da quantidade de oxigênio presente na água causando a morte de espécies aquáticas. Ao contrário do nitrogênio e fósforo, o potássio não causa nenhum problema a qualidade da água. (ISHERWOOD, 2000)

A obtenção de energia normalmente acontece por meio da queima de combustíveis como petróleo e carvão, essa queima emite gases como o dióxido de carbono (CO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) que contribuem para o efeito estufa (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002). As perdas de nitrogênio na forma de amônia para o atmosfera contribuem para a eutrofização de habitats naturais e acidificação de solos e lagos. O CO_2 , metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) contribuem para o efeito estufa, pois ao invés de fazer com que o calor irradie para longe da terra, eles absorvem a radiação solar. Segundo peritos do Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (IPCC), o óxido nitroso, obtido de fertilizantes nitrogenados, é considerado prejudicial à camada de ozônio, ele é responsável por cerca de 7,5% do efeito estufa. (ISHERWOOD, 2000)

Um dos impactos do uso de fertilizantes na estrutura do solo é a acidificação do mesmo, isso ocorre quando substâncias como SO_2 e óxidos de nitrogênio são dissolvidos pela água da chuva e combinam-se com elementos resultando em ácidos, que quando atingem o solo alteram sua composição química. (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

Após todos os dados coletados está a fase de interpretação dos resultados, que tem o objetivo de obter fundamentos para conclusões. Os resultados normalmente são apresentados em forma de relatórios ao público alvo, é necessário ter uma clareza e detalhes suficientes para que o leitor possa compreender o estudo. (RIBEIRO, 2009)

5.1.4 Legislação referente a ACV

Atualmente as normas ativas relacionadas a Avaliação do Ciclo de Vida são a NBR ISO 14040 do ano de 2001 que trata sobre os princípios e estrutura da ACV e NBR ISO 14044 (2009) que impõe os requisitos e orientações.

Segundo a NBR ISO 14040 (2001), a Avaliação do Ciclo de Vida “estuda os aspectos ambientais e impactos potenciais ao longo da vida de um produto, desde a aquisição da matéria prima, passando por produção, uso e disposição”. A norma especifica toda a estrutura necessária para efetuar um estudo de ACV, desde a definição do objetivo, análise de inventário, avaliação de impactos até a interpretação dos resultados, cada etapa citada pode ser encontrada com detalhes no Item 5.1.1 do presente trabalho.

Na NBR ISO 14044 (2009) é possível encontrar recomendações do que é preciso conter em cada uma das etapas da elaboração de uma Avaliação do Ciclo de Vida de um determinado produto. Por exemplo, a primeira etapa é a definição de objetivo e escopo do estudo, a norma apresenta que é necessário informar as razões para a realização do estudo, o público-alvo, a metodologia a ser utilizada, os tipos de impactos a serem avaliados entre outras instruções a serem consideradas durante a realização da ACV.

5.2 Fertilizantes Minerais

Um fertilizante mineral é um produto fundamentalmente mineral, natural ou sintético que pode ser obtido através de processos físicos, químicos ou físico-químicos, e fornece um ou mais nutrientes para as plantas. Seu objetivo é nutrir o solo, a partir da reposição de nutrientes, podendo até aumentar o potencial produtivo da cultura. (BRASIL, 2004).

Os fertilizantes minerais podem ser extraídos do solo, das rochas por exemplo, e passam por processos químicos nas indústrias, podendo fornecer um ou mais nutrientes às plantas e são classificados conforme sua composição química: nitrogenados são ricos em nitrogênio, potássicos, ricos em potássio, os fosfatados, possuem maior quantidade de fósforo, os mistos possuem mais de um nutriente predominante e os corretivos, onde calcários são usados para corrigir a acidez do solo. (SILVA e LOPES, 2011)

5.2.1 Composição

Os três elementos principais dos fertilizantes são o nitrogênio, fósforo e potássio, na composição do produto são estes que estão em maior quantidade. Elementos como enxofre,

cálcio e magnésio também fazem parte da composição de fertilizantes. Por possuírem nutrientes como proteínas, ácidos nucleicos e clorofila, são importantes em processos de transferência de energia às plantas, manutenção da pressão e ação enzimática. A deficiência de algum desses nutrientes pode causar problemas no desenvolvimento das plantas. (ISHERWOOD, 2000)

Usando como base os elementos nitrogênio, fósforo e potássio, são produzidos os fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos. Os fertilizantes nitrogenados possuem uma maior concentração de nitrogênio e a partir dele pode ser produzido a amônia anidra. A amônia anidra é um gás originado da mistura na relação 1:3 de nitrogênio proveniente do ar com o hidrogênio (H). (DIAS e FERNANDES, 2006)

O fósforo utilizado na produção de fertilizantes fosfatados é encontrado em rochas fosfáticas, extraídas pela mineração, outra matéria prima utilizada também é o enxofre. Para a obtenção do fertilizante, a rocha é tratada com ácido sulfúrico. Em geral, os fertilizantes fosfatados são de baixa solubilidade e tem limitação de uso para aplicação direta no solo. No Brasil, a produção de fertilizantes superfosfatados e fosfatos de amônio é predominante, e o país é considerado o sétimo produtor mundial de fertilizantes fosfatados. (DIAS e FERNANDES, 2006).

O potássio é encontrado em concentrações altas em minerais como a silvita e silvinita, e o fertilizante potássico mais encontrado no mercado está na forma de cloreto de potássio, devido à alta concentração de potássio e baixo custo. Ao contrário dos fertilizantes fosfatados, os potássicos não precisam passar por processos com calor ou ácidos fortes. No Brasil, existem apenas 2% de reservas de sais de potássio, e por isso sua produção não é das maiores, são fabricados menos de um milhão de toneladas por ano do fertilizante potássico. (DIAS e FERNANDES, 2006).

Quando ocorre a solubilização da rocha fosfática com ácido sulfúrico, obtêm-se o subproduto gesso, o qual, em grandes quantidades, pode danificar o lençol freático devido as águas residuais ácidas que lixiviam o gesso. Outro aspecto ambiental a ser considerado é o controle dos efluentes e as emissões gasosas dos compostos durante a fabricação do fertilizante. (DIAS e FERNANDES, 2006)

5.2.2 Legislação para fertilizantes minerais

A Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018, estabelece as normas sobre especificações, definições, exigências, garantias, registro, autorizações, embalagem, rotulagem e tolerâncias para fertilizantes minerais que são destinados a agricultura.

Os fertilizantes minerais podem ser na forma fluida ou sólida, na Tabela 3 podemos verificar as especificações sobre a natureza física de fertilizantes na forma sólida, que são apresentados da Instrução Normativa citada.

Tabela 3 – Especificações para fertilizantes minerais de natureza sólida com diferentes granulometrias.

NATUREZA FÍSICA	ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
		Peneira	Partículas Passantes
SÓLIDO	Granulado e Mistura de Grânulos	4,80 mm (ABNT 4)	95% mínimo
		2 mm (ABNT 10)	40% máximo
		1 mm (ABNT 18)	5% máximo
	Microgranulado	2,8 mm (ABNT 7)	90% mínimo
		1 mm (ABNT 18)	10% máximo
Pó	2,0 mm (ABNT 10)	100%	
	0,84 mm (ABNT 20)	70% mínimo	
	0,3 mm (ABNT 50)	50% mínimo	
Farelado	4,80 mm (ABNT 4)	90% mínimo	
	2,8 mm (ABNT 7)	80% mínimo	
	0,50 mm (ABNT 35)	30% máximo	
Pastilha	Frações moldadas de formato e tamanho variáveis		

Fonte: MAPA, 2018.

Fertilizantes minerais com natureza física na forma fluida podem ser solução, suspensão ou suspensão concentrada. Das definições apresentadas na Norma temos:

- Solução: produto fluido sem a presença de partículas sólidas;
- Suspensão: produto fluido com partículas sólidas dispersas em um meio fluido;
- Suspensão concentrada: produto fluido com presença de partículas sólidas dispersas em um meio fluido, que contém nutrientes insolúveis em água, as

partículas tem tamanho determinado pela Norma e sua formulação deve ter estabilidade física, química e físico- química validada.

Nas especificações para fertilizantes minerais na forma de suspensão concentrada temos que a viscosidade máxima é de 8 g/cm.s ou 5.000 centipoise, sobre o tamanho das partículas em suspensão precisam ser 100% menor que 50 mm, dentro desse total 90% precisam ser menores que 15 mm. A Instrução Normativa nº 39, também apresenta que para ser considerado um fertilizante fluido de suspensão concentrada é necessário ter no mínimo 80% de partículas em suspensão.

5.3 Fertilizante Organomineral

Os FOM são uma mistura de fertilizantes orgânicos e minerais. É um tipo de fertilizante considerado novo no mercado, mas tem seu espaço e é considerado uma alternativa a destinação de resíduos animais e vegetais. Podendo ser na forma sólida ou fluida, tem capacidade de promover o crescimento das raízes e tem maior eficiência no fornecimento de fosforo. (Portal Embrapa

Pela definição do MAPA, 2009, “fertilizante organomineral é o produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”. Ou seja, são basicamente fertilizantes orgânicos enriquecidos com nutrientes de fontes minerais, os orgânicos são oriundos de resíduos de animais ou vegetais, enquanto os minerais são produzidos industrialmente.

5.3.1 Composição e Caracterização

Os fertilizantes orgânicos são produzidos a partir de restos de vegetais e animais, onde os nutrientes são fornecidos as plantas através da decomposição e mineralização destes materiais. Esse tipo de fertilizante influencia no desenvolvimento da flora microbiana da terra, melhorando a estrutura do solo, equilibrando a capacidade de retenção de água e variações de temperatura. (BRITO e PONTES, 2009)

A produção agrossilvipastoril, como a criação de animais, necessita de alternativas para a destinação dos seus resíduos. A destinação de resíduos de suinocultura e avicultura para produção de fertilizante a partir desses dejetos é uma alternativa inovadora. No Brasil, anualmente são produzidos aproximadamente 8 milhões de toneladas de cama de aviário e mais de 100 milhões de metros cúbicos de dejetos de líquidos suínos (Portal Embrapa). Estes dejetos

contém quantidades consideráveis de nitrogênio, fósforo e potássio, nutrientes importantes na produção de fertilizantes e alguns destes importados.

Além disso, sob o ponto de vista agrônômico, ao contrário dos fertilizantes minerais fosfatados, por exemplo, que possuem alta solubilidade, os organominerais tem solubilização gradativa durante o desenvolvimento da cultura, o que aumenta sua eficiência. (Portal Embrapa, 2021)

Os FOM apresentam vantagens sobre os aspectos físicos, químicos e microbiológicos do solo. Na parte química, a partir da combinação do nutriente mineral com a matéria orgânica, ocorre um aumento na capacidade de troca de cátions do solo, o que influencia na estabilidade e disponibilidade de nutrientes do mesmo, diminui as perdas de potássio por lixiviação e fixação do fósforo. Das propriedades físicas, os organominerais possuem partículas de argila, que diminuem a densidade e erosão do solo, favorecendo a infiltração e armazenamento de água no solo. Dos aspectos biológicos, a matéria orgânica presente no fertilizante favorece a proliferação e biodiversidade de microrganismos benéficos. (LANA, 2020)

Segundo a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, fertilizantes organominerais sólidos precisam seguir alguns parâmetros como apresentar, no mínimo, 8% de carbono orgânico, Capacidade de Troca de Catiônica (CTC) de 80 mmol/Kg, umidade máxima de 30%, 10% de macronutrientes primários isolados (N, P e K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK) e 5% de macronutrientes secundários, sendo isolados ou em misturas. Para fertilizantes organominerais fluidos, é necessário ter, no mínimo, 3% de carbono orgânico, 3% de macronutrientes primários produzidos e comercializados isoladamente ou em misturas e 2% para produtos com macronutrientes secundários.

Os fertilizantes organominerais são classificados conforme a matéria prima utilizada em sua produção. A Tabela 4 define as classes conforme a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 4 – Classes de fertilizantes organominerais.

Classificação	Definição
Classe A	Aqueles que utilizam matéria prima de origem vegetal, animal ou processado pela agroindústria. Não são utilizados metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos.

(continuação)

Classificação	Definição
Classe B	Aqueles onde são utilizados matérias-primas oriundas de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde não são utilizados metais pesados tóxicos ou qualquer elemento potencialmente tóxico.
Classe C	Fertilizantes que utilizam qualquer quantidade de matéria prima oriunda de lixo domiciliar.
Classe D	Fertilizantes que utilizam qualquer quantidade de matéria prima provinda do tratamento de despejos sanitários.

Fonte: Adaptado do MAPA, 2009.

Segundo Rabelo (2015) e Kiehl (1999) a matéria orgânica dos fertilizantes orgânicos funciona como condicionadora dos fertilizantes minerais, aumentando a eficiência do fertilizante, proporcionando redução de custos e melhorias no solo, alta capacidade de troca catiônica, aumento da retenção de água e aumento da atividade da biota do solo.

5.3.2 Matéria prima

As principais matérias primas utilizadas na produção de FOM são resíduos da indústria sucroenergética, como o bagaço de cana-de-açúcar e vinhaça, também a celulose, detritos de animais (bovinos, suínos e aviários) e turfa. Além do consumo agrícola destes materiais, eles são usados como fonte de energia alternativa, o que elevou o custo da matéria prima, dificultando a produção agrícola e causando escassez de materiais orgânicos. Ao contrário dos fertilizantes minerais, que precisam de cerca de quatro aplicações no solo durante o ano agrícola, os organominerais tem a vantagem de serem aplicados em apenas uma parcela, pois os nutrientes são liberados gradativamente, reduzindo as perdas por volatilização e lixiviação. (GAZIRE, 2016)

O Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar e em sua produção gera uma quantidade considerável de resíduos orgânicos, como a vinhaça, resíduo gerado durante a

obtenção de etanol, e a torta do filtro, oriundo do processo de tratamento e clarificação do caldo de cana-de-açúcar, os quais possuem grande quantidade de nutrientes NPK (CRUZ; PEREIRA e FIGUEIREDO, 2017). Na Tabela 5, é possível verificar a quantidade de resíduos gerados no processamento da cana de açúcar, com base na safra do ano de 2015-2016.

Tabela 5 - Geração de resíduos por tonelada de cana-de-açúcar processada.

Processamento de cana	Produção de resíduos		
	Vinhaça (l)	Torta de filtro (Kg)	Bagaço (Kg)
1 t	800-1.000	100-400	260
665,6 milhões t	Vinhaça (milhões de l)	Torta de filtro (milhões de t)	Bagaço (milhões de t)
	532,5-665,6	66,6-266,2	173,1

Fonte: CRUZ; PEREIRA e FIGUEIREDO, 2017

O setor de pecuária é outro fornecedor influente de resíduos orgânicos, os dejetos de animais se não receberem uma destinação correta podem ocasionar em uma contaminação do solo e da água, por isso, é uma opção viável destinar esses resíduos a produção de fertilizantes orgânicos e organominerais. (CRUZ; PEREIRA e FIGUEIREDO, 2017). A Tabela 6 expressa a quantidade de dejetos de animais produzidas por dia, com base no ano de 2004.

Tabela 6 – Produção diária de dejetos líquidos e sólidos de animais.

Origem do resíduo	Líquido (%/dia)	Sólido (Kg/animal/dia)
Suíno	5,1	2,3-2,5
Frango de corte	6,6	0,12-0,18
Gado de corte	4,6	10-15
Gado de leite	9,4	10-15

Fonte: CRUZ; PEREIRA e FIGUEIREDO, 2017

Existem diferentes processos utilizados para a obtenção de fertilizantes organominerais, os que necessitam de tratamento biológico, como a compostagem, ou apenas os processos físicos, que secam e trituram a matéria orgânica através de equipamentos. Em ambos os processos a matéria orgânica é estabilizada e enriquecida com fonte concentrada de nutrientes. Pela demanda por fósforo no solo brasileiro, os resíduos orgânicos que possuem grande quantidade do elemento são os mais utilizados, como os dejetos de suínos e aves. No Brasil, os

resíduos gerados pelos setores de suinocultura, avicultura e bovinocultura contêm cerca de 680 mil toneladas de nitrogênio (N), 660 mil toneladas de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e 440 mil toneladas de óxido de potássio (K_2O), ou seja, três dos macronutrientes primários importantes para o solo. (BENITES, 2012)

5.3.3 Legislação referente a FOM

Relacionando a legislação com os fertilizantes organominerais tem-se a Instrução Normativa nº 61, de 08 de Julho de 2020 e a Instrução Normativa nº 25, de 23 de Julho de 2009, ambas estabelecem normas sobre as definições, exigências, garantias, tolerâncias, embalagens e rotulagens de fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados a agricultura. As duas Instruções Normativas apresentam dados bem semelhantes, com poucos detalhes que as diferem.

A Instrução Normativa nº 25 relata a forma de classificação dos fertilizantes, que depende do tipo de matéria prima utilizada em sua produção, são quatro divisões de classes, chamadas de Classe “A”, “B”, “C” e “D”, as características de cada uma dessas classes foi apresentada na Tabela 4, do Item 5.2.1. Enquanto a Instrução Normativa nº 61 classifica os fertilizantes em apenas duas classes, as quais também são baseadas no tipo de matéria prima utilizada. A Tabela 7 apresenta a classificação dos fertilizantes baseado que diz a Instrução Normativa nº 61.

Tabela 7 – Classificação dos Fertilizantes Orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais.

Classificação	Definição
Classe “A”	produto produzido a partir de matéria prima gerada nas atividades extrativas, agropecuárias, industriais, agroindustriais e comerciais, incluindo aquelas de origem mineral, vegetal, animal, lodos industriais e agroindustriais de sistema de tratamento de águas residuais com uso autorizado pelo Órgão Ambiental, resíduos de frutas, legumes, verduras e restos de alimentos gerados em pré e pós-consumo, segregados na fonte geradora e recolhidos por coleta diferenciada, todos isentos de despejos ou contaminantes sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

(continuação)

Classificação	Definição
Classe “B”	produto que utiliza, em sua produção, quaisquer quantidades de matérias primas orgânicas geradas nas atividades urbanas, industriais e agroindustriais, incluindo a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional, lodos gerados em estações de tratamento de esgotos, lodos industriais e agroindustriais gerados em sistemas de tratamento de águas residuais contendo qualquer quantidade de despejos ou contaminantes sanitários, todos com seu uso autorizado pelo Órgão Ambiental, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Fonte: Adaptado MAPA, 2020.

Referindo-se a natureza física dos fertilizantes, podem ser classificados de três formas:

1. Produto sólido: constituído de partículas ou frações sólidas, podendo ser granulado, pó, farelado e farelado grosso, variando conforme a granulometria do produto;
2. Produto fluido: encontrado no estado de solução ou suspensão;
3. Produto pastoso ou gel: aquele que possui consistência pastosa ou gelatinosa.

Dentro das especificações e garantias, os FOM na forma sólida que serão utilizados para aplicação no solo devem conter no mínimo 8% de carbono orgânico, umidade máxima de 30%, CTC mínimo de 80 mmol/Kg, referindo-se aos macronutrientes primários, sendo eles produzidos e comercializados na forma isolada (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK), é necessário ter no mínimo 10% em sua composição, para macronutrientes secundários o valor mínimo é de 5% e micronutrientes é exigido o mínimo de 4%. Para os fertilizantes na forma fluida, a quantidade mínima de carbono orgânico estabelecida é de 3%, quanto aos macronutrientes primários o mínimo é de 3%, para macronutrientes secundários 2% e para micronutrientes 1%.

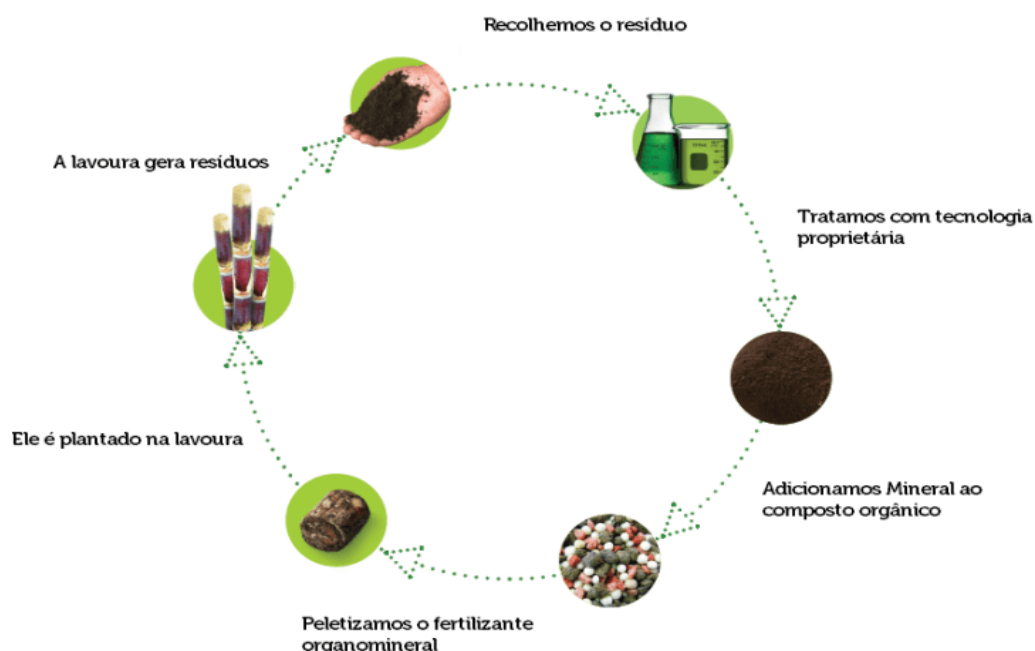
5.3.4 Vantagens dos FOM

Uma das vantagens da produção e consumo de fertilizantes organominerais é a utilização de resíduos de outros setores de produção como matéria prima. Ao contrário dos

fertilizantes minerais, a produção dos organominerais não exige instalações de grande porte ou até mesmo altos investimentos. Pode representar uma alternativa para empresas locais de pequeno e médio porte, assim como para destinação de resíduos orgânicos, em especial oriundos das atividades agropecuárias. Comparando os fertilizantes minerais e organominerais, existe uma maior eficiência no fornecimento de fósforo para o segundo, devido à grande quantidade de ânions orgânicos presentes nos grânulos do fertilizante, esses ânions fazem com que a absorção de P pelas plantas seja melhor. Outro fator é o fornecimento de energia proveniente da matéria orgânica do FOM aumentando a atividade microbiana do solo. (BENITES, 2012)

O processo de produção de FOMs possui um ciclo fechado, onde o fornecedor do resíduo ou matéria prima também pode ser o consumidor final. Por exemplo, a indústria de fertilizantes recebe a matéria prima, processa e comercializa para a mesma empresa que forneceu o resíduo orgânico. Assim, além de dar um destino ao resíduo, beneficia a fidelização de clientes. A Figura 3 ilustra o ciclo fechado da produção do fertilizante. (CARRIJO, 2019)

Figura 3 – Ciclo Fechado da Produção de Fertilizante Organomineral.



Fonte: CARRIJO, 2019.

Dentre as vantagens já citadas sobre a utilização de FOM, se destacam os benefícios que seu uso oferece ao meio ambiente. O termo agricultura sustentável vem se tornando importante atualmente, já que recursos não renováveis estão se esgotando. Além de dar um

destino ao resíduos gerados no setor agropecuário, reduzem a utilização de fertilizantes químicos, diminuem os custos de produção e instalação de indústrias, o que faz com que menos áreas sejam ocupadas, contribui para o metabolismo das plantas auxiliando no crescimento das raízes, diminuindo a quantidade de aplicações de fertilizante no solo, reduz as perdas nutrientes, e tem menor emissão de gases de efeito estufa. (Portal Embrapa, 2021)

5.3.5 Diferenças entre os tipos de fertilizantes

A principal diferença entre os fertilizantes é a matéria prima, fertilizantes minerais são produzidos de compostos minerais e inorgânicos, fertilizantes orgânicos são obtidos a partir de compostos orgânicos de origem vegetal e animal e por fim, os FOMs que são produzidos através de uma combinação entre fertilizantes minerais e orgânicos. (REETZ, 2017)

Apesar de serem produzidos de formas distintas, todos os tipos de fertilizantes têm o mesmo objetivo de nutrir o solo, fortalecer e estimular o crescimento das culturas. Outro fator em comum são os principais nutrientes que compõem os fertilizantes, que são o P, K, N. (Biodiesel Brasil, 2020)

Como os fertilizantes minerais são obtidos industrialmente, sua produção exige instalações e grandes investimentos, sem contar que grande parte do produto é importado. Para a produção de fertilizantes organominerais ocorre o reaproveitamento de resíduos agrossilvipastoris, contando que o Brasil possui um grande rebanho de pecuária e geração de resíduos, é um ponto positivo a produção deste tipo de fertilizante. (Portal Embrapa, 2021)

A utilização de fertilizantes minerais em uso excessivo pode apresentar problemas ao cultivo e prejudicar toda a área em que foi aplicado, enquanto fertilizantes orgânicos ou organominerais possuem baixo risco para gerar elementos que sejam prejudiciais ao meio ambiente. Outro fator é que fertilizantes minerais são produzidos a partir de fontes não renováveis, ao contrário dos fertilizantes que são originados de fontes de matéria orgânica, que são encontrados mais facilmente. (PLANTEI, 2015)

5.4 Estado da Arte

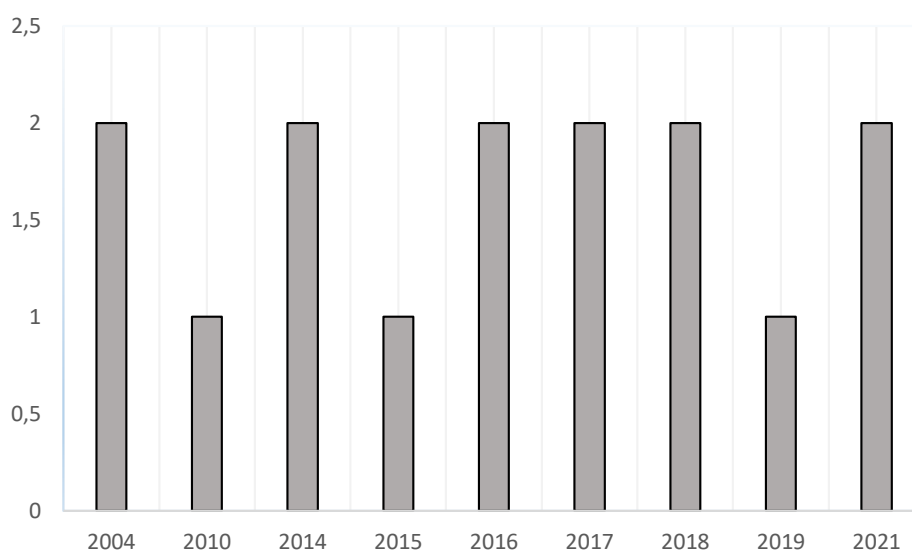
O estado da arte é um tipo de pesquisa realizada com o intuito de analisar os conhecimentos encontrados sobre determinado tema até o momento do estudo. (ADAID, 2016)

5.4.1 Avaliação do Ciclo de Vida para Fertilizantes

5.4.1.1 Science Direct

A partir da pesquisa realizada na base de dados do *Science Direct* foram encontrados 38 resultados para a busca utilizando os termos “*fertilizer*” e “*life cycle assessment*”, “*LCA*” (abreviação para “*life cycle assessment*”) e “*fertilizer*” com a busca refinada para qualquer parte do título, de seu resumo ou palavra-chave especificada pelo autor, entre os anos de 2000 à 2021, porém apenas 15 desses resultados eram relacionados diretamente a ACV para fertilizantes. Na Figura 4, esta representado o número de publicações encontradas por ano. Os anos não demonstrados no gráfico, não foram encontradas publicações para esta busca.

Figura 4 – Número de publicações do *Science Direct* por ano (2000-2021)

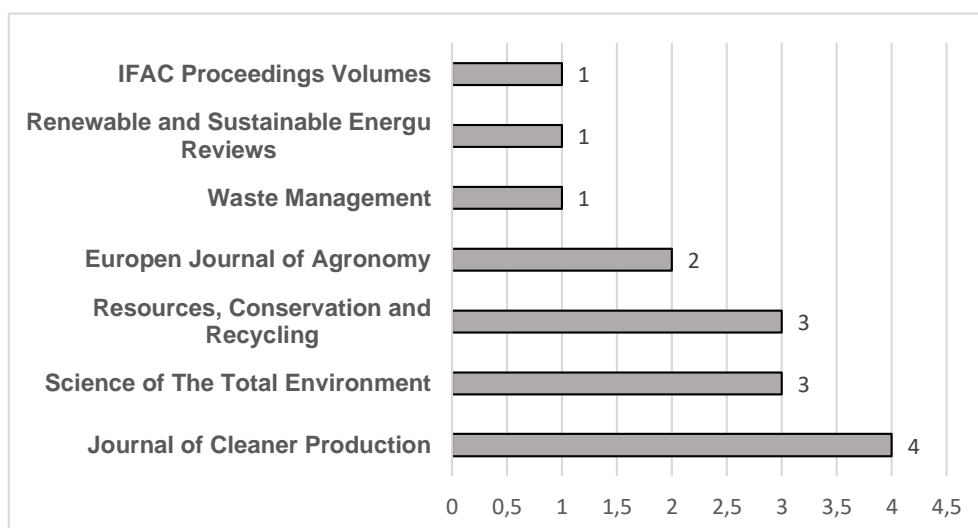


Fonte: Elaboração própria, 2021.

É possível verificar que nesta base de publicações, ainda são escassas as publicações referentes ao tema ao longo do período investigado. No entanto, a partir do ano de 2014 observa-se que há uma tendência de publicação contínua nos anos subsequentes, ainda que com limitado quantitativo.

Na Figura 5 estão apresentados os periódicos em que os artigos encontrados foram publicados.

Figura 5 – Número de publicações por periódicos do *Science Direct*.



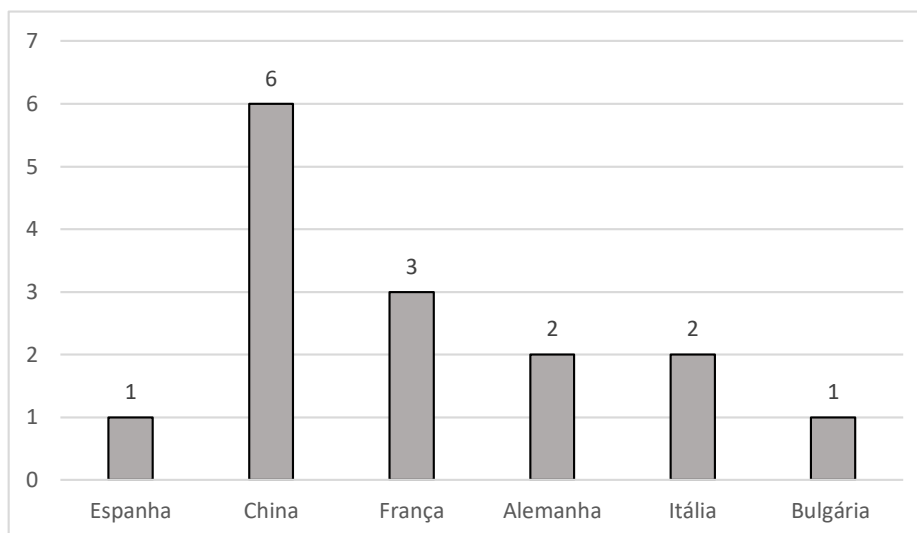
Fonte: Elaboração própria, 2021.

Percebe-se que os periódicos que mais possuem publicações são “Journal of Cleaner Production”, seguido de “Resources, Conservation and Recycling” e “Science of The Total Environment”. O primeiro “Journal of Cleaner Production” é um periódico internacional focado em pesquisas relacionadas a práticas de produção mais limpas, meio ambiente e sustentabilidade. O “Science of The Total Environment” é um jornal internacional com ênfase em pesquisas inovadoras sobre impactos ambientais, e o “Resources, Conservation and Recycling” é um jornal que publica pesquisas sobre gestão sustentável e conservação de recursos (ELSEVIER, 2021).

Em resumo, os periódicos citados onde se encontram as publicações localizadas são em questões ambientais, demonstrando que a tendência de publicação do tema está voltada para a área ambiental.

Analisou-se também os países em que os artigos foram gerados. Nota-se que a China é o país que mais realiza pesquisas sobre a Avaliação do Ciclo de Vida em fertilizantes, por ser um país populoso busca a autossuficiência agrícola, produzindo cerca de 95% dos alimentos consumidos, com isso, o consumo de fertilizantes é maior, conseqüentemente a preocupação com o meio ambiente também aumenta (FIGUEIREDO e CONTINI, 2013). Nenhum dos artigos encontrados no *Science Direct* foi escrito ou publicado no Brasil. Na Figura 6 pode-se analisar os países em que foram escritos os artigos.

Figura 6 - Relação de número de publicações por país do Science Direct.

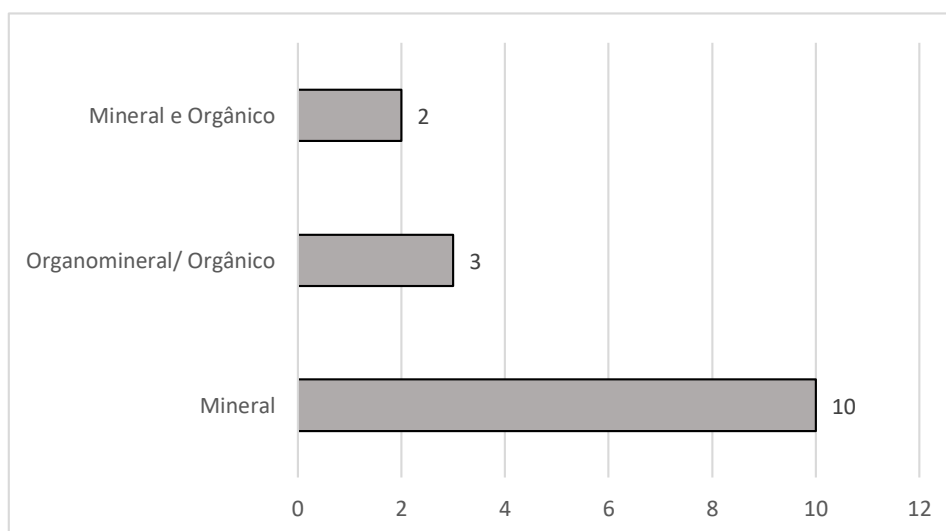


Fonte: Elaboração própria, 2021.

Na plataforma do *Science Direct* também foram utilizados termos em português, como “avaliação dos impactos do ciclo de vida de fertilizantes”, “avaliação dos impactos do ciclo de vida” e “fertilizantes”, porém não foram encontrados resultados.

Analisou-se também a tipologia dos fertilizantes citados nos artigos, sendo que a relação pode ser encontrada na Figura 7. Nota-se que o tipo de fertilizante mais comentado é o mineral, com dez artigos sobre o tema pesquisado, apenas três publicações relatavam sobre fertilizantes de fonte de matéria orgânica e dois dos artigos faziam uma comparação sobre os dois tipos de fertilizantes.

Figura 7 – Número de Publicações do Science Direct para cada tipo de fertilizante.



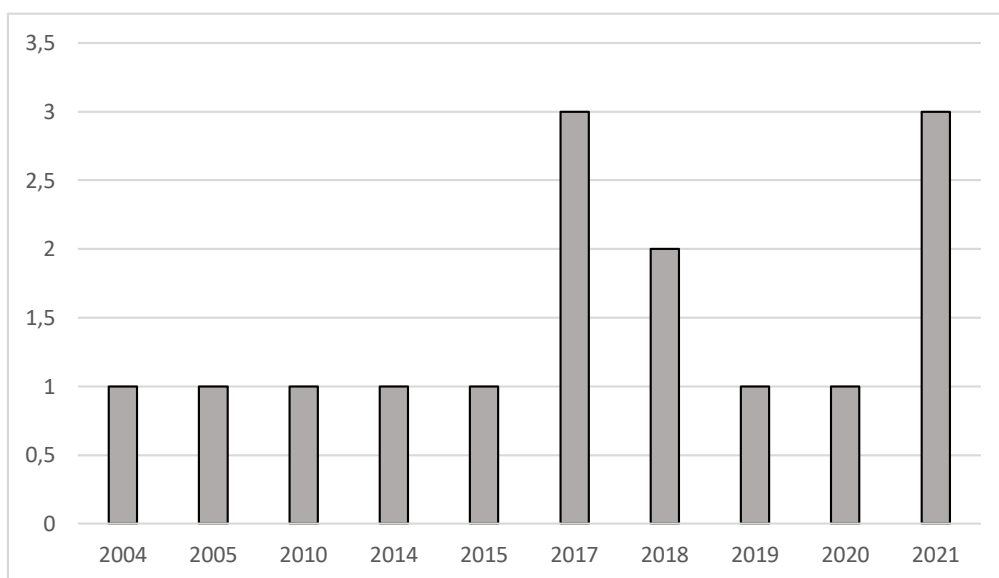
Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.4.1.2 Portal de Periódicos CAPES

Na pesquisa realizada no Portal de Periódicos CAPES, foi utilizado primeiramente os mesmos termos em português pesquisados no portal *Science Direct*, porém também não foram encontrados resultados. Então utilizou-se os termos em inglês “fertilizer life cycle assessment” para título e assunto, “life cycle assessment” AND “fertilizer” para título e assunto, respectivamente, e depois na ordem inversa.

Ao todo foram encontrados 19 artigos que continham as palavras-chave, mas apenas 15 tratavam do assunto, a busca foi realizada para o período entre os anos 2000- 2021. Na Figura 8 estão apresentados os números de publicações por ano.

Figura 8 – Número de publicações do Portal CAPES por ano (2000-2021)

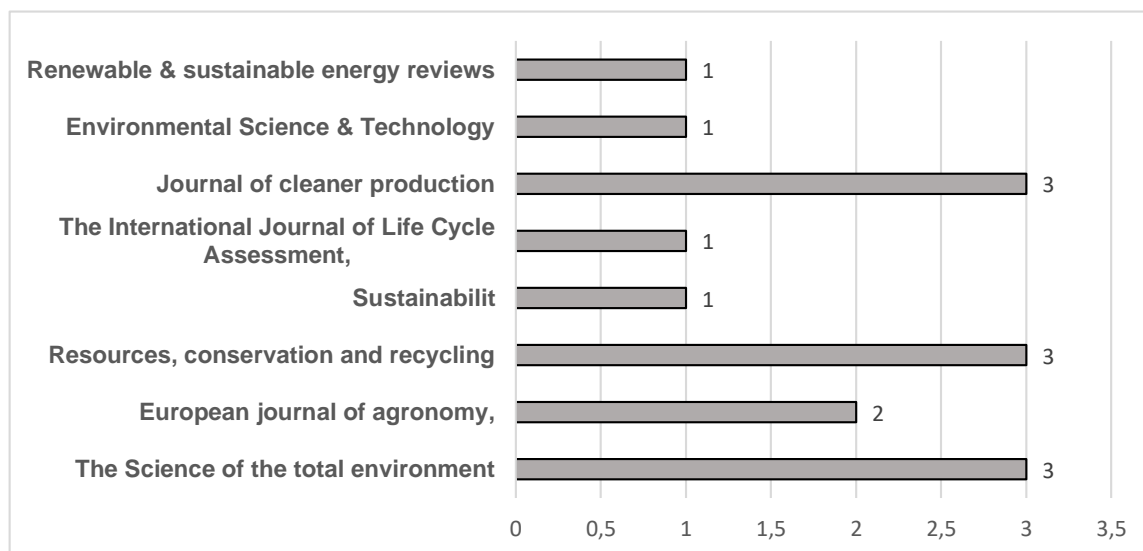


Fonte: Elaboração própria, 2021.

Analisando a Figura 8 percebe-se que nos anos de 2017 e 2021 foram realizadas mais pesquisas sobre o assunto, contando que o ano de 2021 ainda não acabou é possível que ainda sejam realizadas mais publicações sobre a ACV para fertilizantes.

Os periódicos em que os artigos foram publicados também foram analisados, podendo ser analisado pela Figura 9.

Figura 9 - Número de publicações do Portal CAPES por periódico.

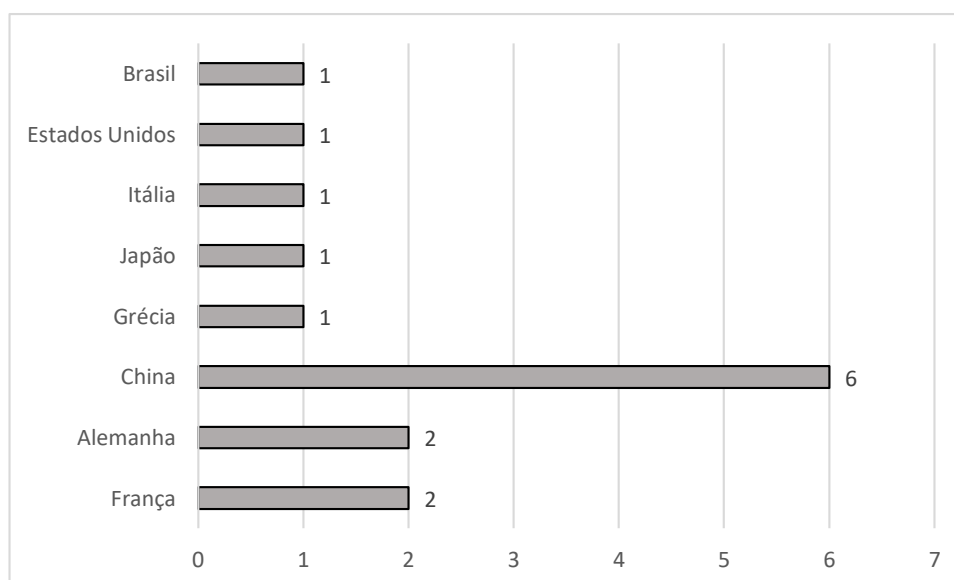


Fonte: Elaboração própria, 2021.

Percebe-se que mais uma vez os mesmos periódicos se destacam na publicação dos artigos sobre ACV em fertilizantes, porém é preciso considerar que cerca de 10 dos artigos encontrados no *Science Direct* também estão no Portal da CAPES.

Na Figura 10 pode-se encontrar o número de publicações por país, considerando a nacionalidade dos autores dos artigos.

Figura 10 – Relação do número de publicações do Portal CAPES por país.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Com a análise da Figura 10, percebe-se que mais uma vez a China é o país que mais desenvolve pesquisas sobre a Avaliação do Ciclo de Vida de Fertilizantes, podendo dizer que é o país com mais interesse sobre o assunto, talvez por ser considerado um dos maiores produtores de fertilizantes do mundo e por seu grande potencial agrícola.

No Portal de Periódicos do CAPES foi possível encontrar apenas uma pesquisa sobre ACV em fertilizantes que foi realizada no Brasil. O artigo “Environmental performance comparison of wet and thermal routes for phosphate fertilizer production using LCA - A Brazilian experience” de Da Silva e Kulay, 2005, realizou um estudo ACV para fertilizantes fosfatados, sendo eles fosfato de magnésio e superfosfato triplo, fez-se uma comparação entre os dois. Considerou-se a abordagem do “berço ao portão” e algumas das categorias de impacto avaliadas foram o potencial de aquecimento global, de destruição da camada de ozônio, de toxicidade humana, de ecotoxicidade, acidificação e eutrofização do solo. O autor citou a dependência de eletricidade e a distância entre minas de rocha fosfática como sendo os impactos ambientais mais significativos da pesquisa.

Em resumo, grande parte dos artigos é sobre a Avaliação do Ciclo de Vida na etapa de produção ou durante a utilização dos fertilizantes, algumas destas pesquisas fazem comparações entre fertilizantes, buscando qual o melhor e que traz menos impactos ambientais. Outras publicações visam apresentar quais são os possíveis problemas causados pelo constante uso de fertilizantes no solo.

5.4.1.3 Portal Embrapa

Outro banco de dados utilizado para localizar estudos ACV para fertilizantes foi a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, os termos pesquisados foram “avaliação do ciclo de vida de fertilizantes” e em inglês “fertilizer life cycle assessment”, Todas as publicações encontradas nesta busca foram escritas e publicadas por brasileiros, pois se trata de uma empresa brasileira de produção de dados científicos e pesquisa.

Com a pesquisa dos termos citados foram obtidos 15 resultados, apenas 4 dessas publicações abordavam o tema de ACV em fertilizantes de forma direta. Como todos os artigos encontrados são de origem brasileira e publicados pelo próprio Portal Embrapa, fez-se uma relação das publicações encontradas, seus autores e o ano de publicação do artigo, sendo apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Artigos ACV em Fertilizantes do Portal EMBRAPA.

TÍTULO	AUTORES	ANO
Avaliação de ciclo de vida de fertilizantes: fase de uso.	GOMES, R. T. <i>et al</i>	2014
A importância dos fertilizantes na análise do ciclo de vida dos produtos: um olhar sobre as publicações científicas.	JESUS, I. R. D. de; HILL, M. P.	2015
Avaliação do desempenho ambiental de fertilizantes químicos no contexto brasileiro: estudo de caso para a produção de fertilizantes fosfatados.	NOGUEIRA, A. R.; MATSUURA, M. I. da S. F.; KULAY, L. A.	2016
Avaliação de impactos do ciclo de vida do fertilizante hortbío.	COSTA, K. R. da <i>et al</i>	2017

Fonte: Elaboração própria, 2021.

As publicações tratam de estudos ACV principalmente na etapa de produção dos fertilizantes, considerando os impactos desde a obtenção da matéria prima até o produto final e, em uma dessas publicações é considerado até o transporte do fertilizante ao consumidor final. Dentre os potenciais impactos ambientais avaliados, os artigos tem em comum a acidificação terrestre, toxicidade humana, ecotoxicidade e mudanças climáticas.

5.4.2 Considerações sobre Avaliação do Ciclo de Vida para FOMs.

Buscou-se sobre a Avaliação do Ciclo de Vida para fertilizantes organominerais em diversos banco de dados, *Science Direct*, Portal CAPES, Portal Embrapa e Scielo, porém não foram obtidos muitos resultados sobre o tema. Possivelmente por ser um tipo de fertilizante ainda novo no mercado, com informações mais restritas e, por vezes, escassas.

Como foram encontrados poucos materiais sobre ACV para organominerais, decidiu-se fazer uma análise sobre as publicações encontradas, apresentando quais são os principais potenciais impactos abordados nos artigos encontrados. Os artigos foram encontrados nas bases de dados do *Science Direct*, Portal CAPES e Portal Embrapa. Na Tabela 9 estão apresentados os artigos encontrados relacionados ao assunto.

Tabela 9 – Relação de artigos sobre ACV em fertilizantes organominerais.

TÍTULO	AUTOR	ANO DE PUBLICAÇÃO	PAÍS
Environmental life cycle assessment of wheat production using chemical fertilizer, manure compost, and biochar-amended manure compost strategies	JIANG, Z.; ZHENG, H.; XING, B.	2020	CHINA
Environmental impacts of phosphorus recovery from a “product” Life Cycle Assessment perspective: Allocating burdens of wastewater treatment in the production of sludge-based phosphate fertilizers	PRADEL, M.; AISSANI, L.	2018	FRANÇA
Agricultural use of organic residues in life cycle assessment: Current practices and proposal for the computation of field emissions and of the nitrogen mineral fertilizer equivalent	BROCKMANN, D.; PRADEL, M.; HÉLIAS, A.	2018	FRANÇA
Life cycle assessment of macroalgal biorefinery for the production of ethanol, proteins and fertilizers – A step towards a regenerative bioeconomy	SEGHETTA, M. <i>et al</i>	2016	DINAMARCA
Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment	PIVATO, A. <i>et al</i>	2016	ITÁLIA
Avaliação de impactos do ciclo de vida do fertilizante hortbio.	COSTA, K. R. <i>et al</i>	2017	BRASIL
Avaliação do Ciclo de Vida das etapas de construção e operação de sistemas de manejo de dejetos suínos	AZOLIM, J.	2018	BRASIL

(continuação)

TÍTULO	AUTOR	ANO DE PUBLICAÇÃO	PAÍS
Mechanisation of organic fertiliser spreading, choice of fertiliser and crop residue management as solutions for maize environmental impact mitigation	BACENETTI, J.; LOVARELLI, D.; FIALA, M.	2016	ITÁLIA

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Alguns dos artigos não possuem o foco principal voltado para ACV em fertilizantes, mas abordam em algum momento o assunto, citando a produção de fertilizante como alternativa de destino para algum resíduo, outros tratam sobre comparações entre fertilizantes de origem orgânica e mineral.

É comum nas publicações encontradas a demonstração de potenciais impactos ambientais, causados não só pelo uso de fertilizantes organominerais como também por minerais, emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e a acidificação/eutrofização do solo.

Um dos maiores causadores de emissões de GEE é a produção animal, pelo fato de gerar um alto volume de resíduos. Durante o armazenamento desses resíduos, são liberados gases como metano (CH₄) e amônia (NH₃) e ao serem aplicados no solo podem liberar gases como dióxido de carbono (CO₂) ou óxido nitroso (N₂O). Através do uso desses resíduos tratados (biofertilizante), em comparação aos fertilizantes minerais ou orgânicos, ocorre uma diminuição de 17% de emissões de N₂O quando tratado por compostagem, o óxido nitroso é considerado mais prejudicial que o dióxido de carbono em questão do aquecimento global. (Portal Embrapa, 2021).

A compostagem é um método utilizado para transformar resíduos orgânicos em adubo, onde a decomposição desse resíduo é acelerada obtendo-se um composto orgânico. Em uma comparação entre os métodos da compostagem com a produção de um fertilizante mineral, no primeiro foi observado que existe uma maior emissão de NH₃ em relação ao segundo. O que avalia que é necessário uma otimização no processo de compostagem. (ZUCARO *et al.*, 2014)

A acidificação do solo, em sua maior parte, é causada por emissões de NH₃, NO_x (óxidos de nitrogênio) e SO₂, o primeiro aparece durante a aplicação no solo, enquanto o dióxido de enxofre é gerado a partir da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia durante o processo de produção. (SKOWROŃSKA E FILIPEK, 2013)

Notou-se que em sua maioria, os artigos não apresentaram soluções ou alternativas de melhoria para os potenciais impactos ambientais, apenas identificaram quais são estes possíveis problemas e suas causas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre fertilizantes e a avaliação do ciclo de vida para os mesmos, com intuito de compreender separadamente cada um dos temas. Buscou-se apresentar conceitos, aplicações, legislações, composição e matéria prima para os fertilizantes. Assim como foram relatadas as definições, etapas, aplicações e normas para a Avaliação do Ciclo de Vida.

Analisou-se que a realização de um estudo ACV é importante para a compreender os riscos e impactos ambientais que o processo produtivo de um determinado produto pode ocasionar. A situação do meio ambiente é cada vez mais preocupante e, através da realização deste trabalho, buscou-se relatar a importância da realização desse tipo de estudo.

Na pesquisa sobre fertilizantes foi possível apresentar um pouco sobre os conceitos, tipos e principais elementos necessários em um fertilizante. A ênfase do trabalho se deu em fertilizantes organominerais por serem produtos mais atuais, que por utilizar resíduos orgânicos tem ponto positivo em relação aos cuidados com o meio ambiente. Também foram apresentadas alguns conceitos sobre fertilizantes minerais, buscando entender suas diferenças e as vantagens que fertilizantes organominerais tem sobre os de origem mineral.

Por fim, tentou-se relacionar os dois temas: Avaliação do Ciclo de Vida com fertilizantes. Foi realizado um pequeno levantamento sobre o estado da arte de ACV para fertilizantes, onde foram encontrados alguns artigos, em sua maioria da China, considerando que é um dos maiores países produtores de fertilizantes, entende-se a preocupação pelos impactos que eles geram ao meio ambiente. Infelizmente poucas das publicações encontradas são de origem brasileira, o que nos leva a concluir que não existe muito interesse sobre o assunto no país.

Outro fator a ser considerado é a pouca quantidade de material sobre Avaliação do Ciclo de Vida para FOMs, existe uma grande lacuna em relação ao assunto. Possivelmente por ser um tipo de fertilizante consideravelmente novo no mercado e ainda não ser o mais utilizado por produtores, ocasionando numa falta de informações sobre seus potenciais impactos ambientais.

7 REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT. 2001, 10p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT. 2009, 21p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**. Brasil: ABNT. 2009, 46p.

ABREU, S. . **Pequeno histórico dos fertilizantes**. Silvano Abreu, 2017. Disponível em <<http://www.silvanoabreu.com/historico-fertilizantes/>>. Acesso em: 10 de out. de 2020.

ACV BRASIL. **SimaPro**. Disponível em <<https://acvbrasil.com.br/software/simapro>>. Acesso em: 16 de jun. de 2021.

ADAID, F. **Sobre um conceito de Estado da Arte**. JUS, 2016. Disponível em <<https://jus.com.br/artigos/53331/sobre-um-conceito-de-estado-da-arte>>. Acesso em: 9 de jun. de 2021.

ANDA, **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. Disponível em <<http://anda.org.br/>>. Acesso em 10 de out. de 2020.

ANDA, ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes de 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/770#resultado>>. Acesso em 8 de jun. de 2021.

ANDA, ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. 2021. Disponível em <https://anda.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Principais_Indicadores_2021.pdf>. Acesso em 8 de jun. de 2021.

ANDRADE, J. E. P. *et al.* **A indústria de fertilizantes**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.1, p. [94]-109, jul. 1995.

ASSIS, B. B. . **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a segurança dos alimentos. Food Safety Brasil – Conteúdo para Segurança de Alimentos, 2017. Disponível em <<https://foodsafetybrazil.org/avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv/>>. Acesso em: 12 de out. de 2020.

BENITES, V. M. *et al.* **Dejetos viram fertilizantes**. Revista A Lavoura, v.115, n. 690, 2012.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e comercialização de fertilizantes. Brasília, 2004.

BRITO, A. C. F.; PONTES, Daniel de Lima. **A Agricultura e os fertilizantes**. 2009. Programa de Universidade a Distância – UNIDIS. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

CARRIJO, T. S. . **Fertilizantes Organominerais: o ciclo fechado de produção**. BetaEQ, 2019. Disponível em <<https://betaeq.com.br/>>. Acesso em 12 de out. de 2020.

COSTA, L. M. da; SILVA, M. F. O. e. **A indústria química e o setor de fertilizantes**. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. p. 12-60.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F.S.; FIGUEIREDO, V. S.. **Fertilizantes Organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro**. BNDES Setorial n.45, p. 137-187, mar. 2017.

DA SILVA, G. A.; KULAY, L. A.. **Environmental performance comparison of wet and thermal routes for phosphate fertilizer production using LCA - A Brazilian experience**. Journal of Cleaner Production, November 2005, Vol.13(13-14), pp.1321-1325.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. . **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

Diferenças entre fertilizante orgânico e fertilizante mineral. Biodiesel Brasil, 2020. Disponível em <<https://biodieselbrasil.com.br/diferencas-entre-fertilizante-organico-e-fertilizante-mineral/>>. Acesso em: 9 de jun. de 2021.

ELSEVIER. **Journal of Cleaner Production**. Disponível em <<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

ELSEVIER. **Recycling Advances**. Disponível em <<https://www.journals.elsevier.com/resources-conservation-and-recycling-advances>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

ELSEVIER. **Science of the Total Environment**. Disponível em <<https://www.journals.elsevier.com/science-of-the-total-environment>>. Acesso em: 6 de jun. de 2021.

Fertilizantes: Conheça um pouco da sua história. Sucesso no Campo, 2018. Disponível em <<https://www.sucessonocampo.com.br/noticias/fertilizantes-conheca-um-pouco-da-sua-historia/>>. Acesso em: 10 de out. de 2020.

Fertilizantes orgânicos e minerais: suas vantagens e desvantagens. Plantei, 2015. Disponível em <<https://blog.plantei.com.br/fertilizantes-organicos-e-minerais-suas-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 9 de jun. de 2021.

Fertilizantes organominerais: alternativa para o agronegócio brasileiro. Banco Nacional do Desenvolvimento – BNDES, 2017. Disponível em <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/fertilizantes-organominerais>>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

FIGUEIREDO, E. V. C.; CONTINI, E. **China: gigante também na agricultura**. Embrapa Informação Tecnológica, 2013. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88424/1/CHINA-GIGANTE-TAMBEM-NA-AGRICULTURA.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. de 2021.

GAZIRE, S.. **Avaliação técnica e econômica das tecnologias disponíveis para produção de fertilizantes organominerais**. Dissertação de Mestrado (Processos Industriais) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2016.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; RIBEIRO, C. M.. **Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma ferramenta importante da ecologia industrial**. Revista de graduação de engenharia química, São Paulo, v. 11, n. Jan-Jun, p. 13-22, 2003.

GOEDERT, W. J. **Consumo e produção de fertilizantes no Brasil**. EMBRAPA, Brasília, 1981.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 11 de out. de 2020.

IBICT, **Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia**. Disponível em <<https://www.ibict.br/>>. Acesso em 07 set. 2020.

IBICT. **Histórico da ACV**. Avaliação do Ciclo de Vida, 2012. Disponível em <<https://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>>. Acesso em: 16 de abr. de 2021.

ISHERWOOD, K. F. **O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente**. Tradução ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2000.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**. Piracicaba: Editora Degaspari, 1999.

LANA, R. M. *et al.*. **Potencialidades dos fertilizantes organominerais**. Revista Campo & Negócios, 2020. Disponível em <<https://revistacampoenegocios.com.br/potencialidades-dos-fertilizantes-organominerais/>>. Acesso em: 13 de out. de 2020.

LOBO, V.. **O mercado e o desafio da indústria de fertilizantes no Brasil**. Bunge Fertilizantes, 2008. Disponível em <<https://docplayer.com.br/3476933-O-mercado-e-o-desafio-da-industria-de-fertilizantes-no-brasil.html>>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

LOPES, A. S.. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2 ed., rev. e ampl. Piracicaba: Potafos, 1998.

MAPA, **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br>>. Acesso em 12 set. 2020.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N°25, de 23 de julho de 2009**. Diário Oficial da União, 2009.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N°39, de 8 de agosto de 2018**. Diário Oficial da União, 2018.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N°61, de 8 de julho de 2020**. Diário Oficial da União, 2020.

MENDES, A. M. S. *et al.* **Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas.** EMBRAPA, 2010.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA. **Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e aplicações.** CETEA/CEMPRE, Campinas, 2002.

Pensamento do ciclo de vida: negócios conscientes à caminho da sustentabilidade / Cuiabá, MT: SEBRAE, 2017. 39p.:Il. Color.

PORTAL EMBRAPA, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Disponível em <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em 07 set. 2020.

PRS, **Portal de Resíduos Sólidos.** Disponível em <<https://portalresiduossolidos.com>>. Acesso em 08 set. 2020.

RABELO, C. C. K. **Fertilizante organomineral e mineral: aspectos fitotécnicos na cultura do tomate industrial.** 2015. Dissertação (Mestre em Agronomia) –Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente.** Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo, 2017.

RIBEIRO, P. H.. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à Avaliação do Ciclo de Vida: fertilizantes nitrogenados.** Tese (Doutor em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry, **Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'**, SETAC, Brussels, 1993.

SILVA, D. R. G; LOPES, A. S.. **Princípios básicos para a formulação e mistura de fertilizantes.** Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, L. A.; FERNANDES, N. M.. **A cadeia produtiva de adubos e fertilizantes.** ENCIGESP, Praia Grande, p. 1-15, 2017.

SKOWROŃSKA, M.; FILIPEK, T.. **Live cycle assessment of fertilizers: a review.** Department of Agricultural and Environmental Chemistry, University of Life Sciences, Lublin, 2013.

ZUCARO, A. *et al.* **Life Cycle Assessment of Maize Cropping under Different Fertilization Alternatives.** International Journal of Performability Engineering Vol. 10, No. 4, June, 2014, pp. 427-436.