

**Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG**  
**Curso de Engenharia Mecânica**

**PALTRON NETO MACIEL BORGES**  
**REYNATHAN CLEYBER MARTINS SOUZA**

**ANÁLISE DE MERCADO DO NÍQUEL E AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO  
NÍQUEL PARA O PROCESSO DE TRANSIÇÃO DOS VEÍCULOS A COMBUSTÃO  
PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS**

**Publicação Nº 11**

**Goianésia - GO**  
**2023**

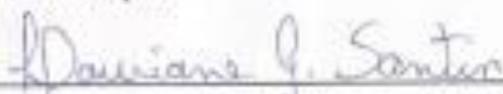
PALTRON NETO MACIEL BORGES  
REYNATHAN CLEYBER MARTINS SOUZA

ANÁLISE DE MERCADO DO NÍQUEL E AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO  
NÍQUEL PARA O PROCESSO DE TRANSIÇÃO DOS VEÍCULOS A COMBUSTÃO  
PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

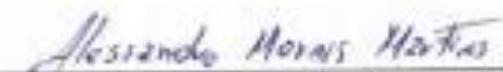
Publicação Nº 11

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,  
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG

Aprovados por:



Lauriane Gomes Santin, Doutora (FACEG)  
(ORIENTADOR)



Alessandro Morais Martins, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)



Anne Caroline De Paula Nascimento, Mestra (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)

## FICHA CATALOGRÁFICA

BORGES, PALTRON NETO MACIEL; SOUZA, REYNATHAN CLEYBER MARTINS.

Análise de mercado do níquel e avaliação da importância do níquel para o processo de transição dos veículos a combustão para veículos elétricos. (FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Baterias           | 2. Ciênciometria     |
| 3. Veículos Elétricos | 4. Matriz Energética |
| I. FACEG              | II. Título (Série)   |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BORGES, P. N. M; SOUZA, R. C. M. Análise de mercado do níquel e avaliação da importância do níquel para o processo de transição dos veículos a combustão para veículos elétricos. Artigo, Publicação 11 2023/1 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 32p. 2023.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Paltron Neto Maciel Borges, Reynthan Cleyber Martins Souza

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Análise de mercado do níquel e avaliação da importância do níquel para o processo de transição dos veículos a combustão para veículos elétricos.

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização, por escrito, dos autores.

*PALTRON NETO M. BORGES*

Paltron Neto Maciel Borges

Rua 18

76385-040-Goianésia/GO-Brasil

*Reynthan Cleyber M. Souza*

Reynthan Cleyber Martins Souza

Rua Colibri

76385-876-Goianésia/GO-Brasil

# ANÁLISE DE MERCADO DO NÍQUEL E AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO NÍQUEL PARA O PROCESSO DE TRANSIÇÃO DOS VEÍCULOS A COMBUSTÃO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Paltron Neto Maciel Borges<sup>1</sup>  
Reynathan Cleyber Martins Souza<sup>2</sup>  
Lauriane Gomes Santin<sup>3</sup>

## RESUMO

A demanda de níquel nos setores de produção industrial vem aumentando sistematicamente nos últimos anos, impulsionada por demandas de energia limpa, que, por sua vez, são norteadas pelo processo de transição da matriz energética global, estimulado, principalmente, pelas questões ambientais que assolam o planeta. Como exemplo, pode-se citar o aquecimento global gerado, em parte, pela emissão de gases do efeito estufa, que é uma das questões mais debatidas e mais estudadas na contemporaneidade, onde se buscam soluções rápidas e eficazes. Nesse contexto, um dos setores que mais contribui com a emissão de gases do efeito estufa é o transporte, mais especificamente os veículos à combustão por gasolina, por diesel e por álcool. Dados indicam que o futuro desse processo de transição, bem como de outros setores da indústria, pode se tornar incerto em função da demanda versus a oferta de níquel no mercado futuro com alguns países, como a China, listando-o como mineral crítico em função de suas reservas e de suas explorações. Através de uma análise bibliográfica descritiva criteriosa, foi realizado o embasamento para avaliar as dinâmicas de mercado desse mineral. Associada à análise acima descrita, fez-se uso, também, de um estudo cienciométrico, utilizando a base de dados SCOPUS para avaliar o comportamento das publicações sobre níquel para aplicação em veículos elétricos. Por fim, uma pesquisa de campo para entendimento do processo produtivo do níquel no estado de Goiás. Mostrou-se notório, durante o estudo cienciométrico, que o interesse da comunidade científica pelo tema sempre existiu e que vem apresentando um crescimento exponencial nas buscas feitas por tópicos. Utilizou-se a base de dados Scopus, a fim de realizar a pesquisa cienciométrica, tendo, a partir da mesma, sido observado um aumento exponencial na produção científica, na forma de artigos indexados, para o tema “*nickel*”. Em especial, as combinações, no título e nos tópicos dos artigos, “*nickel and energy*”, “*nickel and battery*” e, por fim, “*nickel and vehicle*”, denotam que esses temas são comumente usados em conjunto para as pesquisas.

**Palavras-chave:** Baterias. Veículos Elétricos. Transição da Matriz Energética. Ciênciometria.

---

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: paltrongeneto@gmail.com

<sup>2</sup> Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: reynathan1900@outlook.com

<sup>3</sup> Doutora, professor do curso da Faculdade Evangélica de Goianésia. E-mail: lauriane\_santin@hotmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

A transição da matriz energética mundial é um tema amplamente debatido, estudado e desenvolvido, nas últimas décadas, por especialistas e por nações de todo mundo. Essas ações são impulsionadas por mudanças climáticas que foram aceleradas nas últimas décadas, geradas, em grande parte, pela emissão de gases de efeito estufa. O grande marco para iniciativas de redução nos números de emissão foi o acordo de Paris, um tratado internacional, juridicamente vinculativo, que entrou em vigor em 4 de novembro de 2016, onde 194 partes (193 Estados mais a União Europeia) aderiram ao referido acordo. Ele fornece o direcionamento para uma estrutura durável, que deve orientar o esforço global nas próximas décadas, para a redução dos números de gases de efeito estufa emitidos, o que se apresenta como um dos maiores desafios que a humanidade já enfrentou (ONU, 2022).

Em todo o mundo, o setor de transporte é responsável por quase um quarto das emissões globais de gases de efeito estufa. Especificamente, as emissões dos veículos à combustão, à gasolina, a diesel e a álcool são uma fonte significativa de partículas finas e óxidos de nitrogênio, que são as principais causas da poluição do ar urbano. Com o intuito de minimizar os efeitos danosos do aumento dos gases poluentes na atmosfera, as Nações Unidas solicitaram a eliminação gradual da produção de veículos com motor de combustão interna até 2035 para os principais países fabricantes e até 2040 para os países em desenvolvimento (ONU, 2021).

O processo de transição da matriz energética nos transportes está em curso, lançando mão de várias tecnologias, onde os veículos elétricos ocupam posição de destaque. A expectativa é que o estoque global de veículos elétricos aumente de cerca de 7,2 milhões em 2019, para 245 milhões em 2030; um aumento de mais de 30 vezes (HEIJLEN, *et al.*, 2021). Esse será um processo desafiador em termos tecnológicos e de disponibilidade de matéria-prima que atenda às demandas de produção projetadas. Elementos minerais, como o níquel, primordial para a produção de baterias elétricas, estabelecem-se em posição de destaque no processo de eletrificação da frota de veículos do planeta e, em função disso, tornam-se ainda mais cobiçados pelo mercado. Existem estudos que indicam que, mesmo diante da abertura de novas explorações de níquel já planejadas, a produção mundial não será capaz de atender à demanda desse mineral até o ano de 2035 (HEIJLEN, *et al.*, 2021).

Sobre o níquel, registros de sua aplicação foram observados em moedas japonesas datadas de 800 anos a.C.; também em moedas gregas de 300 anos a.C. (SILVA, 2017). Já no Brasil, os primeiros registros datam de 1889, no estado de São Paulo, seguidos de abundantes descobertas identificadas nos estados de Minas Gerais e de Goiás, respectivamente nos anos de 1906 a 1934, merecendo destaque o estado de Goiás em números de reservas (OLIVEIRA, 1990).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O níquel (número atômico 28) é encontrado na crosta continental superior da terra, em uma concentração média aproximada de 44 partes por milhão. O níquel é usado, principalmente, em aço inoxidável, podendo também ser utilizado em ligas (por sua resistência à corrosão), bem como para: cunhagem, revestimento, produtos químicos e baterias (TRACY, 2022).

As pesquisas de desenvolvimento de baterias à base de níquel já percorrem mais de 120 anos na história. A busca visa o desenvolvimento de baterias com melhor desempenho, desde a capacidade de armazenamento, à redução de impactos ambientais. Sendo um dos cátodos mais promissores, os materiais à base de níquel têm atraído crescentes interesses de pesquisa devido

à alta densidade de sua energia, excelente densidade de potência, de segurança e seu baixo custo, além da benignidade ambiental (LIU, et al., 2020).

Os primeiros registros da utilização de níquel em baterias aplicadas à veículos elétricos, em escala industrial, ocorreram em 1901, quando Thomas Edison criou baterias de níquel-ferro, onde estas apresentaram capacidade de armazenamento 40% maior do que as baterias de chumbo, mas com custos de produção mais elevados. No entanto, sua utilização foi desacelerada pela concorrência de tecnologias de veículos a vapor e à combustão, fontes mais abundantes e mais baratas na época (MARTINS, *et al.*, 2021).

Atualmente o uso de níquel em produtos intermediários, o chamado primeiro uso, corresponde a 69% em aços inoxidáveis, 11% em baterias, 7% em ligas não ferrosas, 6% em chapeamento, 3% em aços de liga, 2% em fundição e 1% em outras aplicações. Já sua aplicação final corresponde a 33% na engenharia, 23% em produtos de metal, 16% no transporte, 14% na construção civil, 9% em eletrônicos e 5% em outras aplicações (USO, 2021).

Nos últimos anos o aumento do percentual de níquel em baterias para aplicação em veículos elétricos cresceu exponencialmente. Projeta-se que a prevalência de níquel em baterias salte de pouco menos de 4%, em 2016, para 11%, em 2022, com uma taxa média de crescimento anual de mais de 20% (WANG, *et al.*, 2022).

O Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), da Agência Internacional de Energia (AIE), projetado para ser compatível com as metas climáticas do Acordo de Paris, espera que o estoque global de Veículos Elétricos (VE) aumente de cerca de 7,2 milhões, em 2019, para 245 milhões em 2030, um aumento de mais de 30 vezes (HEIJLEN, *et al.*, 2021), conforme inicialmente pontuado.

O níquel é um componente de aplicação direta em baterias elétricas, principalmente naquelas utilizadas junto aos veículos elétricos, mas também possui várias outras aplicações práticas, incluindo construção, petroquímica, automóveis, fabricação e soldagem, transporte, eletrônica, setor de água, bem como em tecnologias de baixo carbono, tendo a sua demanda aumentado nas últimas décadas, chegando em 3,1% a taxa de crescimento anual da sua produção, além de se esperar que aumente, ainda e significativamente mais, no futuro (GUOHUA; ELSHKAKIB; XIAOUMA, 2021).

Sendo as matérias-primas essenciais de grande importância para a economia da União Européia, dois parâmetros principais são usados para determinar a criticidade de um material por eles: importância econômica e risco de fornecimento. Com base nas matérias-primas que atingem, ou excedem, os limites de ambos os parâmetros (BLUMBERGS, *et al.*, 2021).

O níquel está entre os metais que podem se tornar críticos para algumas aplicações no futuro, incluindo veículos elétricos, especialmente para países com poucos, ou insuficientes, recursos, incluindo a China, onde o níquel foi identificado como um metal crítico devido à sua disponibilidade limitada e à importância para vários setores, inclusive o setor de energia e de transporte (GUOHUA; ELSHKAKIB; XIAOUMA, 2021).

Os Estados Unidos dependem fortemente das importações de níquel para uso em baterias de veículos elétricos e para outras aplicações, uma vez que, atualmente, extraem apenas algum níquel por conta própria. Várias empresas têm indicado planos para expandir a obtenção desse mineral, tendo a reciclagem de produtos que contêm esses minerais contribuído para parte da produção doméstica, o que representa contribuições potenciais para o abastecimento interno (TRACY, 2022).

Além de sua aplicação direta, o níquel fornece submatérias, tão importantes quanto, para os processos ligados à transição da matriz energética, a exemplo do cobalto. Assim como o

níquel, aquele poderá ter sua cadeia de fornecimento impactada nesta crescente demanda, impactos que acarretarão variações de preços, bem como de oferta de mercado, o que também irá elevar, proporcionalmente, o valor de mercado dos veículos elétricos em função da cadeia de fornecimento e de fabricação dessas commodities (MARTINS, *et al.*, 2021).

Os preços de muitos minerais e metais essenciais para as tecnologias de energia limpa dispararam recentemente devido à combinação de demanda crescente, cadeias de suprimentos interrompidas e à preocupações com o aperto no fornecimento. Os preços do lítio e do cobalto mais que dobraram em 2021, e os do cobre, do níquel e do alumínio subiram cerca de 25% a 40%. As tendências de preços continuaram em 2022. O preço do lítio aumentou surpreendentemente duas vezes e meia desde o início do ano 2021. Os preços do níquel e do alumínio, dos quais a Rússia é um importante fornecedor, também continuaram subindo, impulsionados, em parte, pela invasão da Ucrânia pela Rússia (KIM, 2022).

A alta demanda de baterias estimulou aumentos significativos na demanda por metais-chave, usados em sua produção. Entre o início de 2021 e maio de 2022, os preços do lítio aumentaram mais de sete vezes e os preços do cobalto mais que dobraram. Os preços do níquel quase dobraram no mesmo período, atingindo níveis não vistos em quase uma década. Os aumentos, sem precedentes, no preço do metal das baterias, foram causados por uma combinação de aumento da demanda por baterias, aumento da pressão nas cadeias de suprimentos e preocupações com o aperto no fornecimento. As restrições de oferta foram impulsionadas por três tendências: a primeira concernente aos desafios de produção causados pela pandemia; a segunda decorrente de preocupações com o fornecimento de níquel, Classe 1, da Rússia; e a terceira referente ao subinvestimento estrutural em nova capacidade de fornecimento durante os três anos anteriores a 2021, quando os preços dos metais estavam baixos (KIM, 2022).

Além do aumento do consumo, nem todo níquel extraído é adequado para a produção de baterias de íons de lítio, pois as baterias exigem a forma mais rara de depósitos do metal, conhecidos como sulfetos de níquel. O níquel é usado em vários tipos de bateria, incluindo Níquel-cádmio, Níquel-metal-hidreto, Níquel-ferro, Níquel-zinco e Níquel-hidrogênio. Porém, sua principal utilização continua sendo nas baterias de íons de lítio (GROUP, 2021).

As reservas mundiais de níquel são estimadas em 94 milhões de toneladas de conteúdo metálico de níquel, que é rico em recursos. A distribuição regional das reservas globais de níquel é relativamente concentrada. Os três principais países, Indonésia, Austrália e Brasil, juntos, respondem por cerca de 60% das reservas globais de níquel. Os recursos terrestres disponíveis para a preparação de níquel incluem, principalmente, minério de sulfeto de níquel e minério de óxido de níquel, e acredita-se que a relação óxido de sulfeto, nas reservas atuais de níquel, seja de cerca de 4:6 (ZHAO; GAO; YANG, 2022).

Acordos de exclusividade de fornecimento de níquel estão sendo fechados em larga escala pelas maiores mineradoras do mercado. Uma afirmação dessa crescente demanda, consoante estabelecem os estudos citados, é o caso recente da mineradora Vale, que fechou um acordo com a GM, fabricante de veículos elétricos, para fornecimento de sulfeto de níquel, de 25.000 (vinte e cinco mil) toneladas, para uso nos cátodos das baterias Ultium da GM, estando a primeira entrega prevista para o segundo semestre de 2026. Tal volume fornecido será suficiente para produção de 350.000 veículos por ano e vai atender à crescente demanda de veículos elétricos da América do Norte (VALE, 2022).

No Brasil, a exploração de níquel sulfetado é limitada. Atualmente há uma operação, situada na cidade de Itagibá na Bahia, da empresa Atlantic Nickel, grupo britânico com operações na África, na América do Sul e na América do Norte, sendo a sua produção totalmente exportada. A empresa projeta aplicar sua produção nesse mercado crescente. Com o

novo Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), recém-divulgado pela empresa, a previsão da Atlantic Nickel é dobrar a sua capacidade produtiva com o início da operação subterrânea, prevista para 2028, o que vai elevar o tempo de vida útil da mina de 8 para 34 anos. Cerca de US\$ 355 milhões devem ser investidos nos primeiros cinco anos dessa nova fase. O níquel sulfetado, produzido na Atlantic Nickel, após passar por um processo de refino, é o principal componente na fabricação de baterias que equipam o crescente mercado de veículos elétricos (NICKEL, 2020).

Os atuais níveis de estoque são afetados, em parte, pela pandemia do COVID-19, que causou uma desaceleração da demanda nos mercados tradicionais (aço inoxidável) e um atraso na expansão dos mercados de veículos elétricos (VE's) na medida em que os países foram lidando com a pandemia. Os fundamentos do mercado de longo prazo continuam apontando para déficits de oferta, enquanto os países continuam a implementar suas estratégias de implementação dos VE, já que representam um componente significativo no que pertence à mudanças climáticas (NÍQUEL, 2021).

A demanda do níquel para baterias está, atualmente, em torno de 5%, podendo atingir 30% até 2040, de acordo com Wood Mackenzie, empresa global de pesquisa e de consultoria para a indústria de recursos naturais. O mercado de aço inoxidável usa níquel de Classe 1 (alta pureza) e de Classe 2 (baixa pureza). Historicamente, apenas a Classe 1 é adequada para produtos químicos de grau de bateria. A rapidez com que surgirá um déficit potencial no fornecimento de níquel da Classe 1 dependerá de vários fatores, incluindo a velocidade de adoção de veículos elétricos, a escolha da tecnologia da bateria, a disposição das empresas de mineração de reiniciar os projetos de produção da Classe 1 (níquel sulfetado), o potencial de avanços tecnológicos no refino competitivo do níquel Classe 2 e o potencial de aumento da reciclagem de níquel Classe 1 (HEIDER, 2022).

Números que refutam a criticidade nos estudos do tema de oferta e de demanda de níquel são os divulgados nas recentes análises de mercado para fabricação de baterias de íon-lítio diante dos projetos, em fase de planejamento e de execução. Os materiais do cátodo, que são essenciais para as baterias de íon-lítio e incluem lítio, níquel, cobalto e manganês, representavam menos de 5% dos custos das baterias em meados da última década, quando existiam apenas algumas giga fábricas de baterias. Essa participação aumentou, para mais de 20%, hoje, quando cerca de 300 giga fábricas estão em diferentes estágios de planejamento e de construção em todo o mundo (KIM, 2022).

### **3 METODOLOGIA**

Enquanto percurso metodológico, fora realizado um estudo bibliográfico e descritivo sobre as dinâmicas de mercado, construído através da análise de artigos internacionais, bem como de livros, de revistas, de dados de institutos especializados do seguimento mineral para o embasamento teórico sobre as dinâmicas de mercado do níquel e sobre as projeções de crescimento do mercado de veículos elétricos, além de uma pesquisa de campo para compreensão do processo exploratório do mineral.

Ademais, fez-se uso, ainda, de um estudo cienciométrico para avaliação do comportamento das publicações sobre o níquel com fito de aplicá-lo em veículos elétricos, tomando, por base, a plataforma SCOPUS, acessada por meio do site dos periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), utilizando a licença da FACEG.

Foram avaliados: o número de publicações, os principais países que publicaram sobre o tema, os principais pesquisadores e as principais agências de fomento a esse tipo de estudo. A

qualidade das publicações foram avaliadas a partir do número total de citações nelas contidas, além da confiabilidade dos pesquisadores e do país de origem da pesquisa enquanto demais fatores de verificação.

A análise de mercado foi realizada através da avaliação de dados de produção, projeções de produção, comportamento de mercado e estudos científicos dos principais institutos especializados em minerais do mercado, especificamente institutos especializados em produção e comercialização de Níquel. Foram também avaliados relatórios governamentais relacionados a produção e reservas minerais, os anuários de produção e resumos de commodities, por fim análises de dados das principais empresas produtoras de Níquel do mercado.

A análise de campo foi realizada através de uma visita técnica à empresa Anglo American, uma das maiores produtoras de níquel do Brasil, cuja unidade encontra-se localizada no município de Barro Alto, em Goiás. A finalidade maior da visita foi entender como é feito o processo de extração e de beneficiamento do níquel, da mina, ao consumidor final.

## **4 ANÁLISE DE MERCADO DO NÍQUEL NO BRASIL**

### **4.1 HISTÓRIA DO NÍQUEL NO BRASIL**

Conforme anteriormente já assinalado, convém reforçar que, no Brasil, os primeiros registros e ocorrências desse mineral datam de 1889, no estado de São Paulo, referente ao distrito de Jacupiranga, seguidos de abundantes descobertas identificadas nos estados de Minas Gerais e Goiás, nos anos de 1906 a 1934, sendo explorado, ainda em pequena escala. Ressalta-se que, em Jacupiranga, durante a Segunda Guerra, o estado de Goiás se destacou em números de reservas de níquel (OLIVEIRA, 1990).

Quanto ao início da produção de níquel no Brasil, o estado de Minas Gerais foi precursor, realizando operações de pequeno e de médio porte, inicialmente nos municípios de Liberdade, Ipanema e Pratápolis. As primeiras citações relativas à produção de níquel no Brasil remontam a 1915, em Livramento (MG), atual Liberdade, pela Companhia de Níquel do Brasil, com produção praticamente paralisada atualmente (HEIDER, 2022).

Atualmente existem três empresas de grande porte com operações de extração de níquel no Brasil, a saber: Mineração Onça Puma, administrada pela Vale, no estado do Pará; as operações de Barro Alto e de Codemin, administradas pela Anglo American, ambas no estado de Goiás; e as operações desenvolvidas pela empresa Atlantic Nickel, no estado da Bahia (BRASIL, 2021).

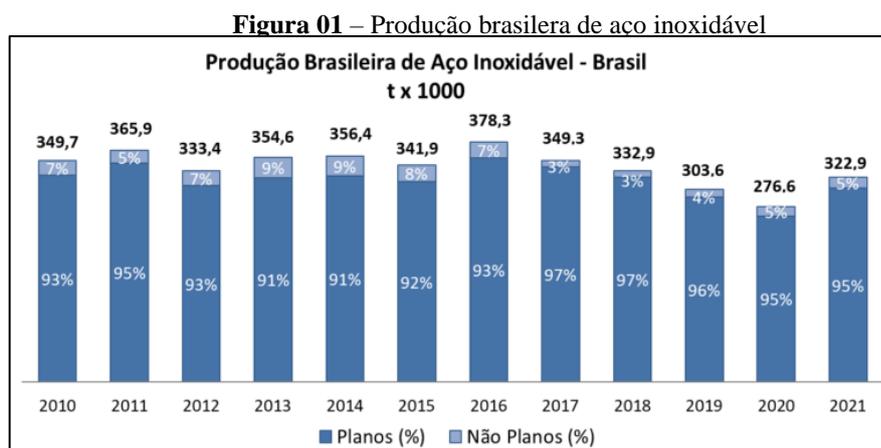
### **4.2 USOS E APLICAÇÕES**

No Brasil, a principal consumidora de níquel é a indústria de aço inoxidável, em função de sua resistência à corrosão, à oxidação e diante de sua durabilidade, onde a maior parte do aço inoxidável contém cerca de 8% a 10% de níquel (VILELA, 2002).

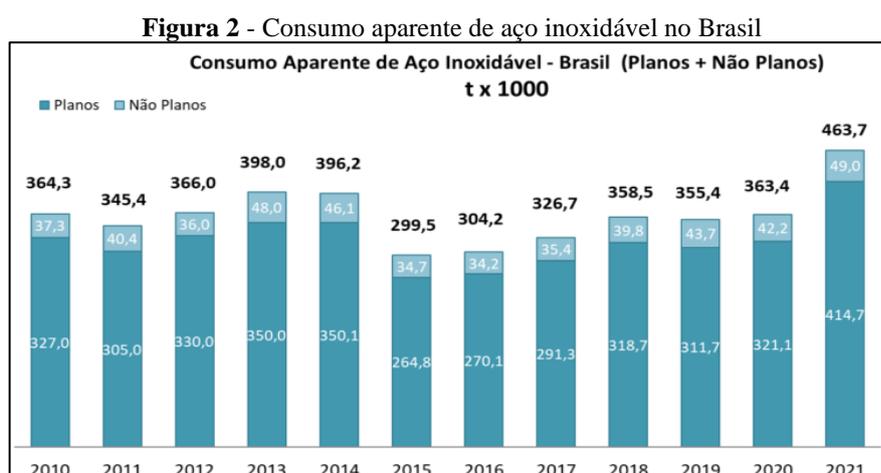
O uso do níquel é dividido em função de suas classes, pois a composição do níquel nem sempre é igual. A classificação, enquanto Classe I, corresponde àquele com 99% de pureza de níquel, podendo ser utilizado em produtos nobres, com tecnologia mais avançada, como nas baterias dos VE's, bem como em placas de energia solar, além de também ser possível a sua utilização na produção de ligas de aço inoxidável; já o tipo identificado como de Classe II será aquele com concentrações abaixo de 90% de níquel, utilizados em itens mais simples, como nas ligas de aço inoxidável também, dentro outras aplicações (NÍQUEL, 2021).

Nos países industrializados, o níquel tem aproximadamente 70% de utilização na siderurgia, sendo destinado à fabricação de aço inoxidável, que é absorvido pela engenharia em geral, e os 30% restantes, divididos em ligas não-ferrosas, galvanoplastia, ligas de aço, fundição, laminação e em outras aplicações, possuindo uma grande resistência à corrosão e à oxidação. Ou seja, vislumbra-se que o níquel é utilizado em, aproximadamente, 300 mil produtos (SILVA, 2021).

A respeito do assunto, a Figura 1 retrata a produção brasileira de aço inoxidável nos últimos 12 anos, apresentando dados estatísticos que consideram aços planos e não planos. Percebe-se que a grande maioria dos aços inoxidáveis possui entre 8 e 10% de níquel, podendo, em casos específicos, atingir o percentual de 30% (ABINOX, 2021).



Em continuidade, a Figura 2 apresentará o consumo aparente de aço inoxidável nos últimos 12 anos, no Brasil, levando em conta dados estatísticos referentes a aços planos e não planos, entre os anos de 2016 e 2020. Pode-se observar que ocorreu uma redução no volume de produção, alinhada com a desaceleração da indústria registrada nesse período, gerada pela crise global que impactou a todos consumidores de aço inox (ABINOX, 2021).

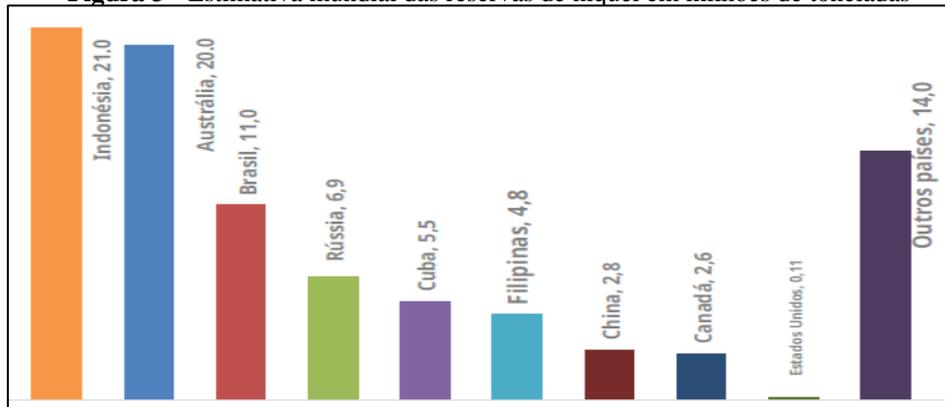


Em suma, o consumo aparente de aço inoxidável, no Brasil, atingiu 463,7 mil toneladas em 2021, revelando um aumento de 21% em relação ao ano de 2020, tendo sido altamente impactado pela pandemia da Covid-19, que desacelerou todo o processo desenvolvido pela indústria (ABINOX, 2021).

### 4.3 RESERVAS E PRODUÇÃO

O níquel, de número atômico 28, é encontrado na crosta continental superior da terra, em uma concentração média aproximada de 44 partes por milhão, verifica-se que aquela apresenta reservas abundantes (TRACY, 2022). Tais reservas mundiais de níquel, conforme Figura 3, sendo a distribuição regional relativamente concentrada nos seguintes países: Indonésia, Austrália e Brasil, que, juntos, somam cerca de 60% das reservas globais de níquel (NICKEL, 2022). Os recursos disponíveis para a preparação de níquel incluem, em especial, minério de sulfeto de níquel e minério de óxido de níquel. Acresça-se a estimativa é de que a relação óxido de sulfeto nas reservas atuais de níquel seja de cerca de 4:6 (ZHAO, 2022).

**Figura 3** - Estimativa mundial das reservas de níquel em milhões de toneladas



Fonte: Group (2021)

O Brasil tem grande representatividade no cenário mundial quanto às reservas de níquel, com estimativas de que 12,4% das reservas mundiais atuais estão nele localizadas. Em volume, esse percentual corresponde a 11.000.000 de toneladas, o que o coloca como terceiro país com maior volume de reservas de níquel no mundo, podendo sofrer alterações, conforme novas pesquisas de explorações são validadas. Os volumes de recursos de níquel também são expressivos no Brasil, o que potencializa os indicadores de reservas após aprovações das pesquisas de prospecção, chegando em aproximadamente 17 milhões de toneladas (GROUP, 2021).

Outro ponto que merece evidência diz respeito aos valores de mercado desses minérios. A Figura 4 apresenta valores estimados de recursos minerais de níquel sulfetado e de laterítico no Brasil (USO, 2021).

**Figura 4** - Estimativa mundial de recursos de níquel em milhões de toneladas

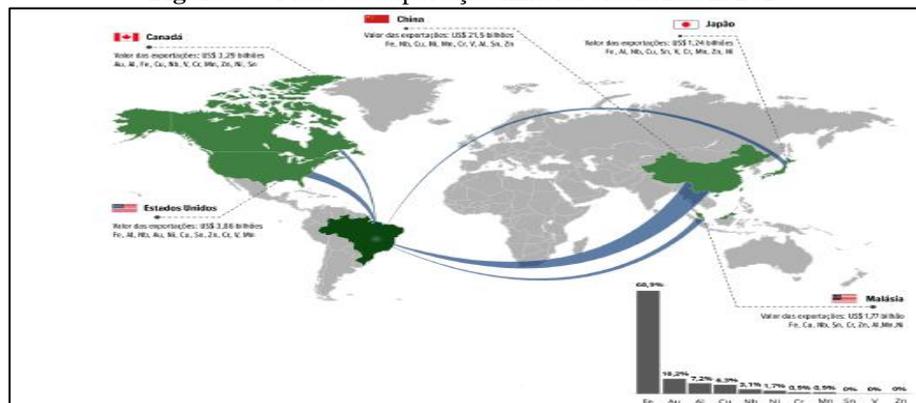


Fonte: Uso (2021)

Em 2020, a produção brasileira de níquel contido na produção bruta foi de 117.051 toneladas; já a produção beneficiada do mineral foi de 77.133 toneladas. Se considerados os teores contidos e os variáveis de mercado, o volume comercializado, em 2020, foi 14.926 toneladas, sendo os estados de Goiás, do Pará e da Bahia responsáveis por uma produção bruta de 60.694, 53,940 e 2.418 toneladas respectivamente, justamente onde estão as empresas Vale (no estado do Pará), Anglo American (no estado de Goiás) e Atlantic Nickel (no estado da Bahia), representando 24,08%, 63,58% e 12,33% da produção total. Em relação ao ano de 2019, verifica-se que houve um crescimento de 47% na produção bruta, sendo esse impulsionado por uma maior participação da empresa Vale na produção em relação aos anos anteriores (BRASIL, 2021). Esse cenário coloca o Brasil entre os maiores produtores mundiais de Níquel, conforme visto na figura 5.

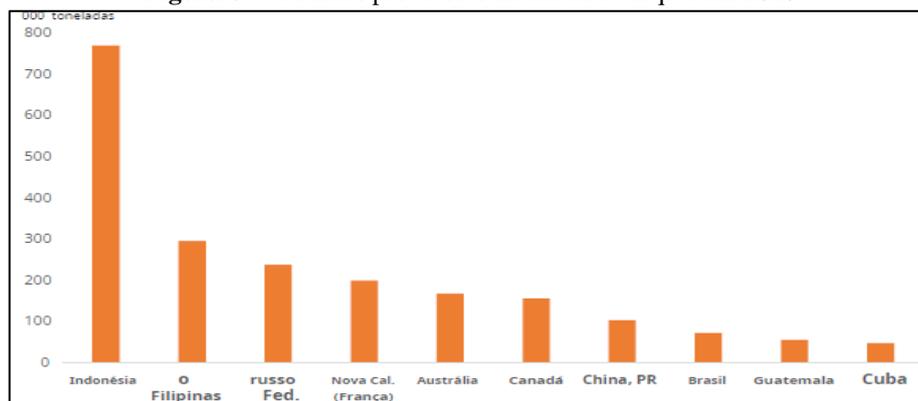
Parte da produção de níquel produzida no Brasil é exportada para o mercado mundial, conforme pode ser visto na Figura 6, para uso na produção de aço inoxidável e de baterias elétricas. No ano de 2020, o valor agregado total de exportações minerais brasileiro foi de US\$47.885.414.255. Desse total, 1,7% é correspondente às exportações de níquel, que têm, como destino final, principalmente a Ásia e a América do Norte (BRASIL, 2021).

**Figura 5 - Fluxo de exportação mineral brasileira em 2020**



Fonte: Brasil (2021)

**Figura 6 - Maiores produtores mundiais de níquel em 2020**



Fonte: Group (2021)

O Brasil ocupou, em 2020, a 8ª posição nos indicadores de produção mundial de níquel (Figura 5), apresentando uma lacuna entre seus números de reservas e de produção, mas sinaliza, em contrapartida, grande potencial produtivo, a depender de condições futuras de mercado e de desenvolvimento de novas operações (GROUP, 2021).

#### 4.4 PREÇOS

O níquel é comercializado na LME, que define o preço de mercado do níquel contido, utilizado, mundialmente, em contratos entre os fornecedores e os seus clientes, para fornecimento de produtos que apresentam o níquel em suas composições (CARVALHO, 2015).

Os preços nem sempre são voláteis, acompanhando, quase sempre, a relação oferta-demanda e as flutuações dos estoques, mas não é uma regra. Tiveram tendência de alta desde o início de 2017, alcançando um aumento de cerca de 60% até o final de 2020 (NÍQUEL, 2021).

Em março de 2022, o preço do níquel atingiu níveis recordes e experimentou um movimento altamente volátil, fazendo com que a LME fechasse, temporariamente, o comércio da commodity. Essas alterações bruscas e repentinas foram geradas pelas preocupações com o fornecimento de níquel da Rússia, devido à invasão da Ucrânia. A Rússia é um dos maiores produtores de níquel no mercado, o que gerou insegurança no fornecimento (KIM, 2022).

Contextualizando, a Figura 7 apresenta o histórico de preços correlacionados aos níveis de estoque globais de níquel de 1991 a 2021 (GROUP, 2021).

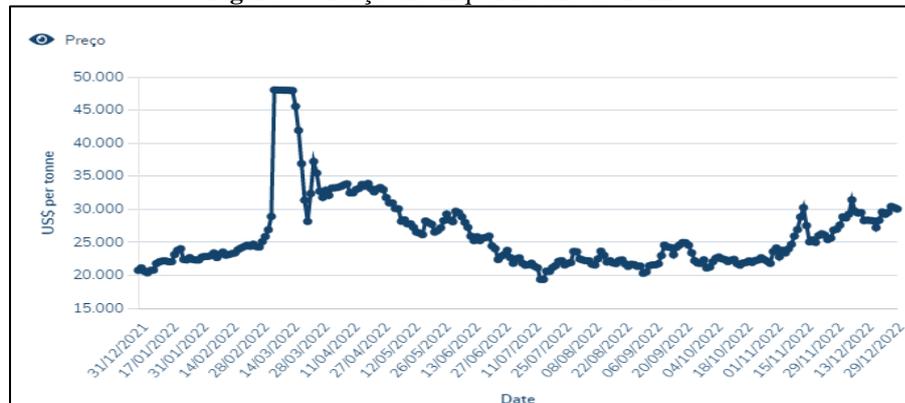
**Figura 7 - Preços e estoque de níquel de 1991 a 2021**



Fonte: INSG (2022)

A Figura 8 apresenta o comportamento de preço do níquel no ano de 2022, com grande volatilidade a partir das incertezas de fornecimento causadas pela invasão da Rússia à Ucrânia (KIM, 2022).

**Figura 8 - Preços no níquel no ano de 2022**



Fonte: LME (2022)

Nas últimas décadas, a previsão de preços de metais permaneceu popular e muitos pesquisadores aplicaram diferentes técnicas para melhorar a precisão no que pertence à previsão

do preços desses metais, considerando vários cenários e variados fatores enquanto influenciadores do mercado (OZDEMIRUMA; BULUSB; ZOR, 2022).

#### 4.5 PESQUISA DE CAMPO

A pesquisa de campo foi realizada na unidade operacional de extração de ferroníquel na cidade de Barro Alto/ GO, tendo sido implementada no ano de 2011, onde a extração de níquel se deu por mina a céu aberto. Essa unidade faz parte de um complexo de operações, responsável por produzir 45.000 toneladas de ferroníquel por ano, onde o material retornado é aplicado, principalmente, na indústria global de aço inoxidável.

A primeira etapa do processo de beneficiamento no ferro níquel, que se inicia em uma parte da planta, denominada Upgrading, vista na Figura 9, consiste em três circuitos de peneiramento, com o fito de separar o material quartzítico do minério. O produto final, denominado clean WTO, é o minério livre de calcedônias maiores que 40mm. Esse minério é transportado, por caminhões, para o circuito de britagem e da homogeneização na Preparação de Carga da Planta Industrial. A calcedônia, removida do material passante, é destinada aos depósitos de estéril.

**Figura 9** – Planta do Upgrading



**Fonte:** Autores (2023)

A área de Preparação de Carga engloba as unidades de britagem e de secagem do minério, em preparação para os processos de calcinação e de redução. As unidades de beneficiamento de minério, que compõem a preparação de carga, são os pátios de estocagem intermediários, moega, britagem primária, britagem secundária, britagem terciária e pátio de secagem de minério e de britagem quaternária. As etapas mecânicas de preparação, realizadas nestas unidades, têm, como objetivo, adequar as características físicas dos minérios às necessidades das etapas posteriores do processo pirometalúrgico. A Figura 10 mostra um britador primário.

**Figura 10 – Britador primário**

Fonte: Autores (2023)

Com o objetivo de otimizar os custos operacionais, no final do ano de 2014, foi implementado o projeto de introdução do carvão mineral como insumo energético na substituição gradativa do óleo pesado 1A. O projeto de pulverização de carvão já fazia parte do projeto original da Planta e consiste na injeção de finos de carvão nos queimadores dos secadores e dos calcinadores. A Figura 11 mostra o local onde é feita a moagem e pulverização de carvão.

**Figura 11 – Moagem e pulverização de carvão**

Fonte: Autores (2023)

Na etapa de calcinação, o minério é, gradualmente, aquecido até a uma temperatura de 800°C, a fim de que se chega à secagem completa, à calcinação e à pré-redução. O processo de calcinação é realizado em dois fornos rotativos, mostrados na Figura 12, que operam em linhas independentes. Os fornos têm, cada um, uma capacidade nominal de 147 tph, comprimento de 185m, diâmetro de 7m e velocidade de rotação de 0,8 a 1,2 rpm.

**Figura 12** – Calcinadores rotativos

Fonte: Autores (2023)

A etapa de fusão redutora é realizada em dois fornos elétricos, que operam em linhas independentes. Um deles é mostrado na Figura 13.. A fusão redutora tem, como finalidade, reduzir os óxidos de níquel e parte dos óxidos de ferro, bem como fundir todos os materiais e, assim, promover a separação do metal (ferroníquel) do material de escória (silicato de magnésio). O metal e o silicato de magnésio fundem-se à temperatura da ordem de  $1.600^{\circ}\text{C}$  e, por apresentarem diferença de densidade, o metal deposita-se no fundo do forno e o silicato de magnésio (escória) mantém-se acima.

**Figura 13** – Fornos elétricos de redução

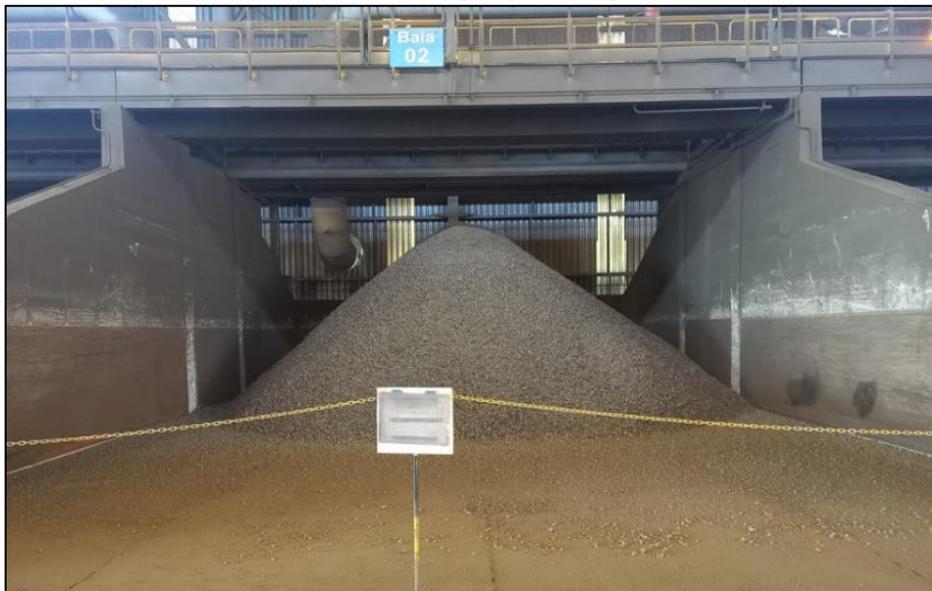
Fonte: Autores (2023)

O metal proveniente do forno elétrico contém impurezas, como enxofre, fósforo, carbono e silício. Essas impurezas são removidas da liga Fe-Ni através do processo de refino, mostrado na Figura 14. O refino é composto por duas etapas, sendo uma redutora e outra oxidante, até que a liga atenda às especificações de teor de Ni (~25%) em liga Fe-Ni.

**Figura 14 – Refino de metal**

Fonte: Autores (2023)

O metal refinado é granulado, classificado e estocado para expedição. A granulação gera o metal granulado com tamanho variando de 6 a 70 mm, conforme pode ser visto na Figura 15. A composição final da liga de ferroníquel é: Níquel (28%), Sílica (0,4%), Carbono (0,04%), Enxofre (0,06%) e Fósforo (0,03%).

**Figura 15 – Expedição de níquel**

Fonte: Autores (2023)

No processo de refino é gerado um material de escória de refino, na ordem de 52 ton/dia. Esse material, por conter um alto teor de níquel (2 a 3%), será reincorporado no processo pirometalúrgico. Com essa medida, prevê-se o aumento da recuperação de níquel no processo para índices de 95%. Atualmente, na realidade do *locus* escolhido para a presente pesquisa, a escória é armazenada em um pequeno depósito ao ar livre e próximo da planta.

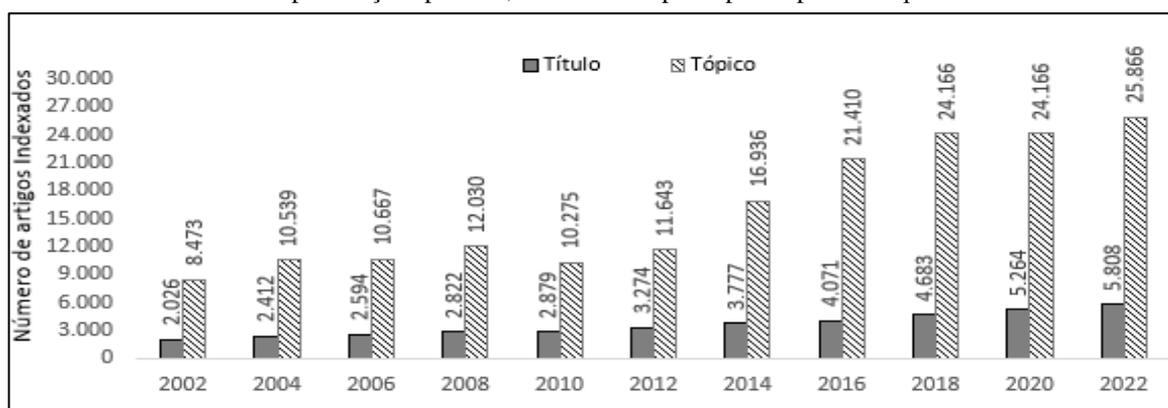
## 4.6 CIENCIOMETRIA

Em função da crescente demanda pelo níquel no mercado mundial, evidencia-se a relevância de uma avaliação mais detalhada sobre o interesse da comunidade científica pelo tema. A análise bibliométrica das publicações relacionadas ao níquel mostra como as principais publicações sobre o tema podem direcionar as tendências de mercado, quantitativamente, ano a ano, e fornece uma avaliação detalhada sobre as áreas de interesse, os pesquisadores em destaque e as agências financiadoras.

Por meio de buscas na base de dados intitulada Scopus, foi realizada uma avaliação do comportamento das publicações acerca do tema estudado, utilizando o termo “*nickel*” isolado e de forma combinada. As combinações foram definidas com base nas principais utilizações do níquel, verificadas na revisão da literatura. As combinações foram: “*nickel and energy*”, “*nickel and battery*” e, por fim, “*nickel and vehicle*”, avaliadas em pesquisas realizadas no intervalo dos últimos 21 anos.

No Gráfico 1, pode ser observado o número total de 179171 publicações para o termo “*nickel*” em pesquisas realizadas por tópico, esse resultado indica um grande interesse dos pesquisadores e instituições de pesquisa pelo tema. Observam-se também reduções nos números de publicações quando pesquisamos o termo “*nickel*” por título, onde foram identificadas 39610 publicações, essa redução possibilitou analisar as publicações mais relevantes sobre o tema, agregando maior valor as análises.

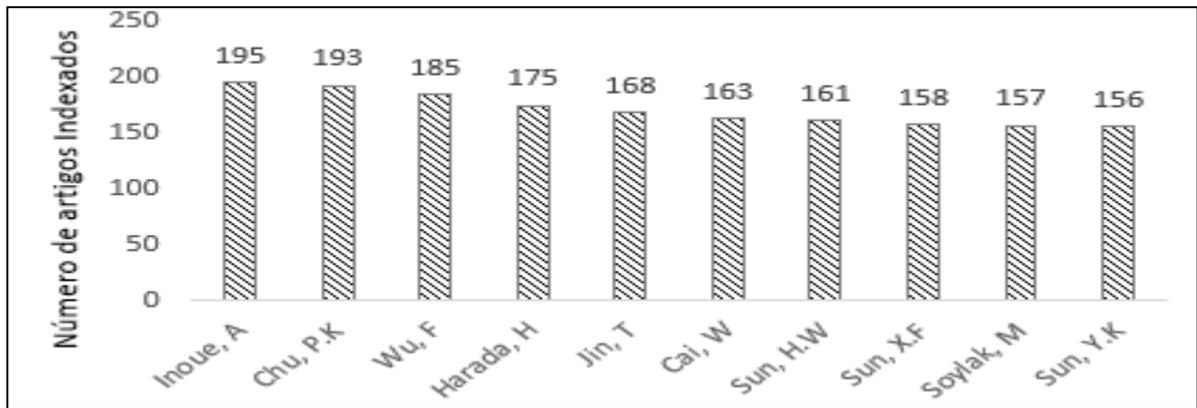
**Gráfico 1** - Número de publicações por ano, buscas feitas por tópico e por título para o termo “*nickel*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus.

O Gráfico 2 mostra os 10 autores que mais publicaram sobre o níquel. Essa avaliação foi realizada em pesquisas por tópicos, e nos permite identificar os autores mais relevantes. Com números similares, Inoue, A representou um total de 195 publicações de um total de 1711, enquanto Sun, Y. K. o décimo autor a mais publicar publicou 156 trabalhos, representando 11,39% e 9,11%, respectivamente, de um total de 1711 publicações.

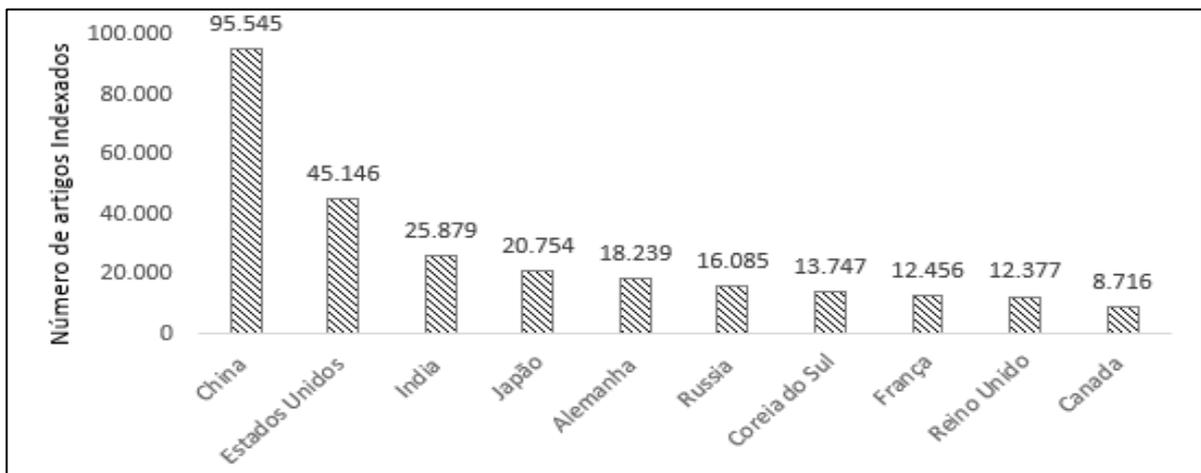
**Gráfico 2** - Número de publicações por autor, buscas feitas por tópico para o termo “*nickel*”.



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus.

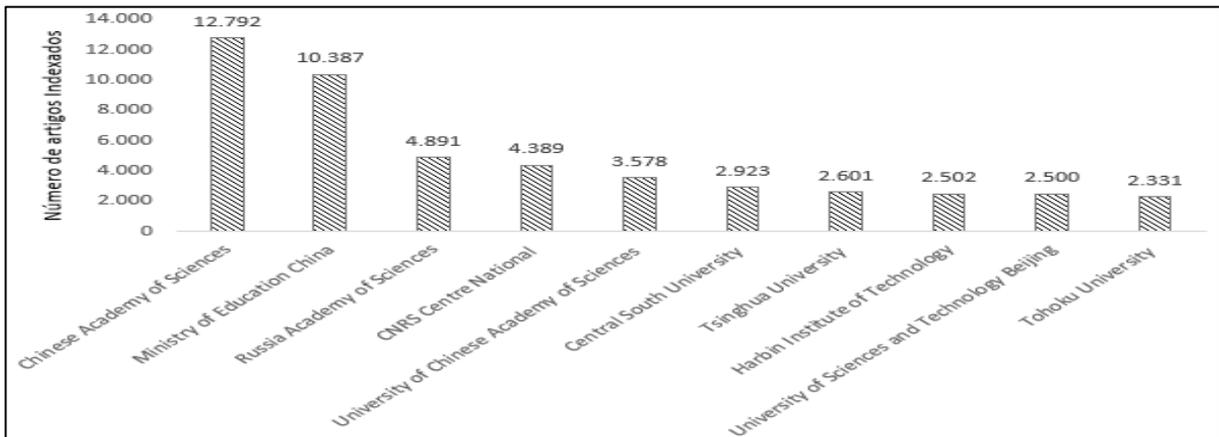
No Gráfico 3, tem-se a análise dos principais países que publicam sobre o termo “*nickel*”, pesquisado, em tópicos, no mesmo período. Observa-se que o país que mais apresenta publicações é a China, com 95.545, o que representou 35,52% de um total de 268.944 publicações consideradas para fins de pesquisa. O que está de acordo com o fato de o país asiático ser líder em consumo de níquel e de outras matérias primas ligadas ao desenvolvimento de tecnologias, como ligas de aço, o que moveu seu crescimento acelerado nas últimas décadas (OS FATORES, 2019), seguido pelos Estados Unidos, com 45.146 publicações, representando, por sua vez, 16,78% do total de publicações.

**Gráfico 3** - Resultado do número de publicações por país, buscas feitas por tópico para o termo “*nickel*”.



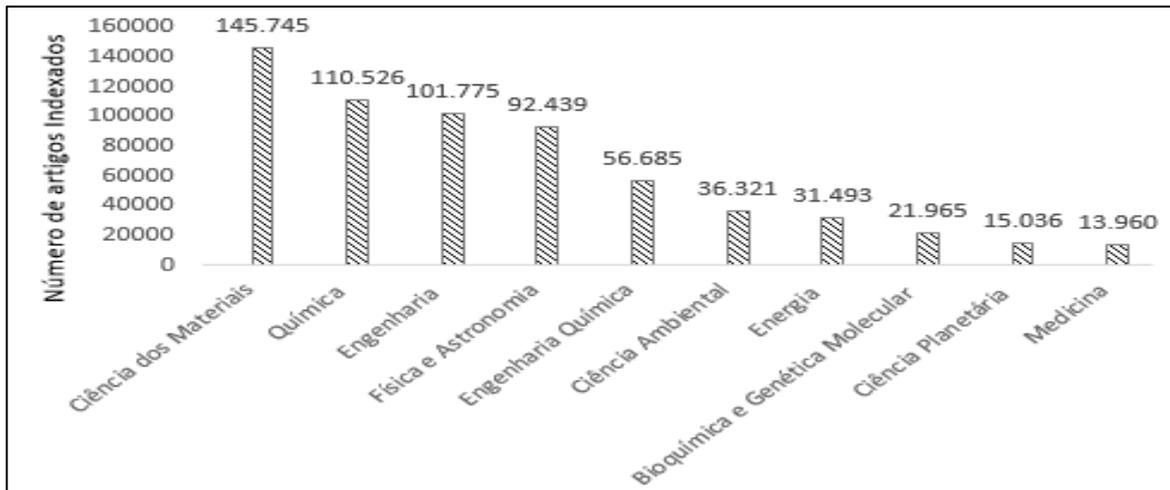
Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus.

Ao se avaliar o Gráfico 4, onde visualizamos os indicadores de publicações para o termo “*nickel*” pesquisado em tópicos por instituições, identificamos como principais publicadores instituições asiáticas, sendo responsáveis por 47,40% das publicações. Esse achado refuta informações já conhecidas e divulgadas em estudos ligados a este mineral, como por exemplo o fato do níquel ser um material estratégico para a China nos próximos anos (GUOHUA, 2021), podendo a oferta e demanda impactar diretamente seu crescimento.

**Gráfico 4** - Número de publicações por instituições, buscas feitas por tópico para o termo ‘*nickel*’

Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus.

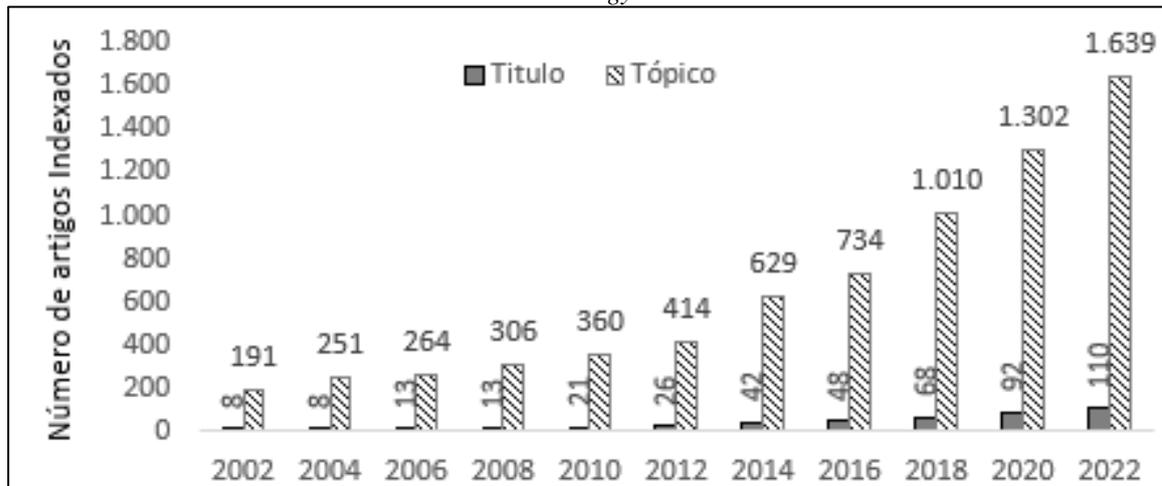
Quando se avalia o Gráfico 5, que apresenta os dados de produção científica para o termo “*nickel*”, em pesquisas por tópicos, por áreas de publicação, percebe-se que as áreas ligadas ao desenvolvimento de novas tecnologias, de aplicações e de energias renováveis ocupam lugar de destaque, ficando a ciência dos materiais com 23,28% das publicações, seguido da Química, e, por fim, das engenharias, com 16,25% do total de publicações. Observa-se que, nas publicações das engenharias, a principais pesquisas são ligadas à energias e aos materiais para aplicações no desenvolvimento de células de energias mais duradouras (RATH, et al., 2022).

**Gráfico 5** - Número de publicações por área, em buscas feitas por tópico para o termo “*nickel*”

Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus.

No Gráfico 6, evidencia-se um total de 7.100 publicações para o termo “*nickel*” e “*energy*”, para pesquisas realizadas por tópico. Já nas pesquisas por título, foram identificados 449 publicações. Essa combinação de termos gerou uma redução de 2.858 publicações, o que representa 40% do total, guiando os estudos para as publicações mais específicas e ligadas à aplicações no setor de energia.

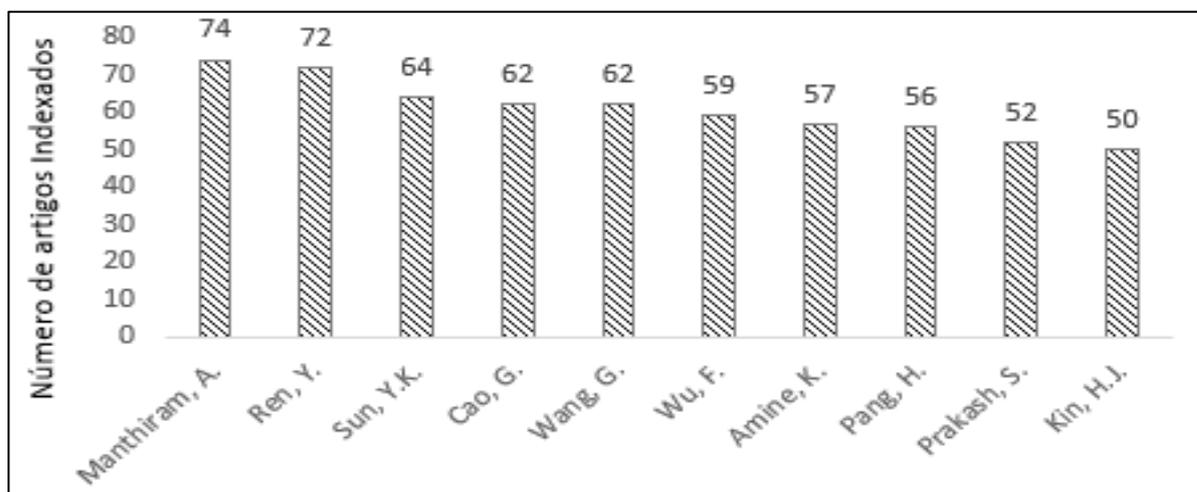
**Gráfico 6** - Publicações por ano, em buscas cruzadas feitas por tópico e por título para os termos “*nickel*” e “*energy*”.



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Por sua vez, o Gráfico 7 traz os 10 autores que mais apresentaram publicações para o termo “*nickel*” e “*energy*”, destacando-se Manthiram, A., com um total de 74 publicações, o que representam 12,17% de um total de 608 publicações. Desse percentual, grande parte de suas publicações são de estudos relacionados à cátodos de energia e suas derivações.

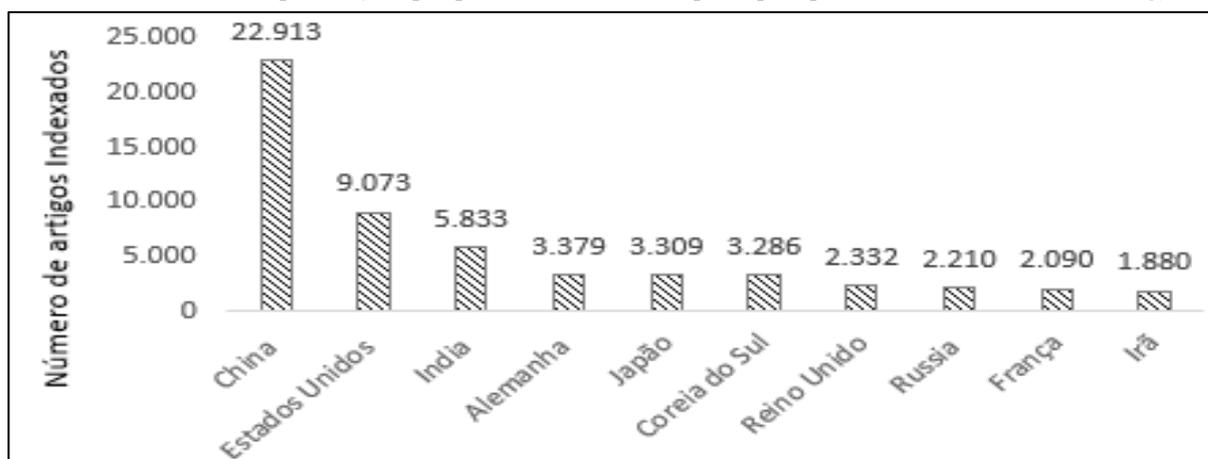
**Gráfico 7** - Publicações por autor, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*energy*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

O Gráfico 8 traz a análise do número de publicações, por país, das combinações de termos “*nickel*” e “*energy*”, pesquisadas em tópicos. Observa-se que o país mais representativo no número de publicações, assim como na pesquisa anterior por autor, é a China, agora com 22.913 publicações, que mostra uma redução de 23,98% no números de publicações em relação ao número de publicações realizadas pelo termo “*nickel*”.

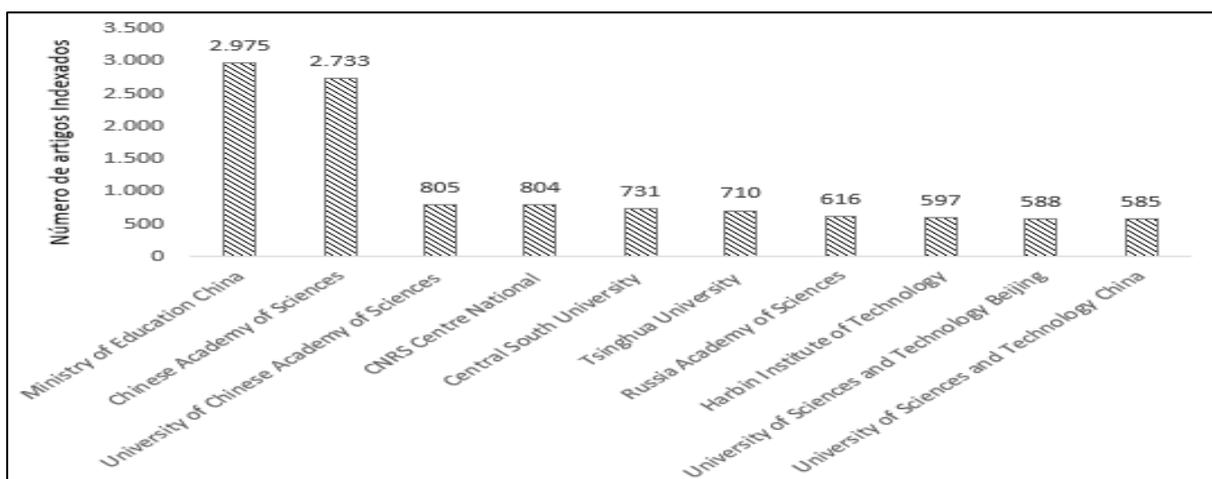
**Gráfico 8** - Número de publicações por país, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*energy*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

No Gráfico 9, analisaram-se os números de publicações para os termos “*nickel*” e “*energy*”, pesquisados em tópicos, por instituições, com destaque evidente para instituições asiáticas, que lideraram os números de publicações, totalizado em 5.708, o que, em termos percentuais, representa 51,22% do número total de elaborações científicas.

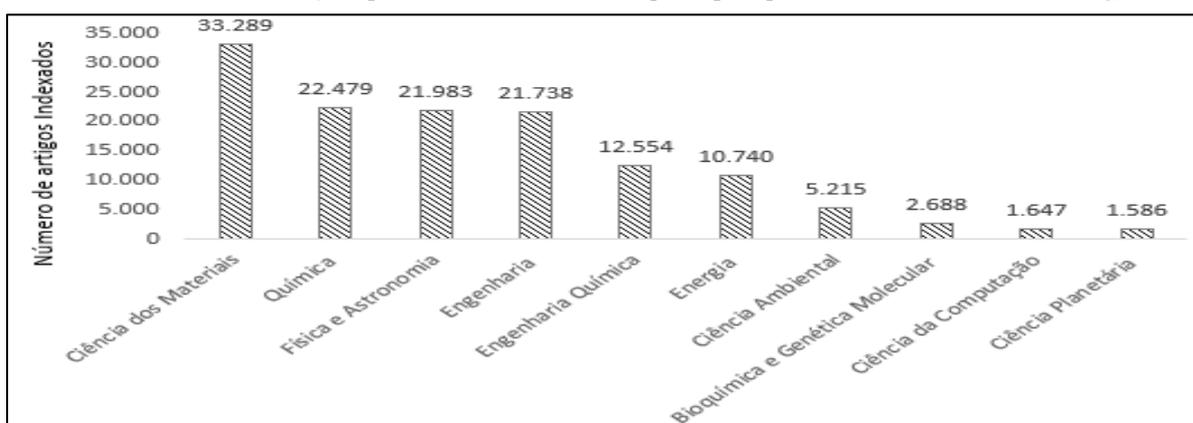
**Gráfico 9** - Publicações por instituição, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*energy*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

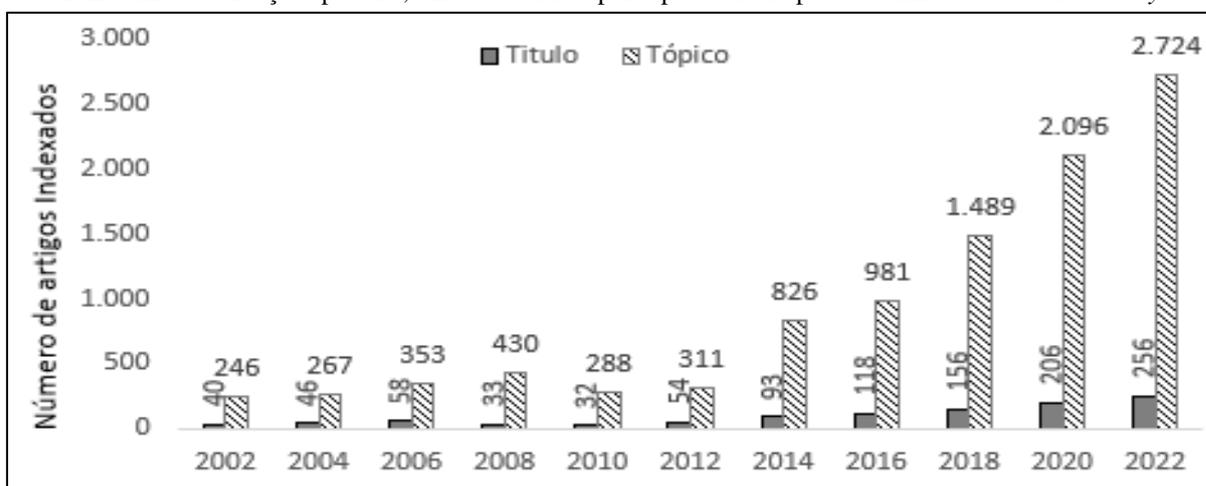
Ao avaliar as publicações para os termos “*nickel*” e “*energy*”, por área de interesse, mostrado no Gráfico 10, verificou-se que a área de Ciências dos Materiais continua sendo a que mais possui artigos indexados na plataforma Scopus, seguida pelas áreas de Química, de Física e de Astronomia e de Engenharia, com aproximadamente 16,6 % do total de publicações cada uma.

A área de engenharia tem 16,41% do total do número de publicações, o que representa uma parcela importante no número total de publicações, que totalizam 21.738 publicações. Mesmo considerando a associação dos termos que restringiu o campo de buscas, a Engenharia se manteve entre as áreas de destaque, evidenciando a relevância do tema para essa área de pesquisa.

**Gráfico 10** - Publicações por área, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*energy*”

Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

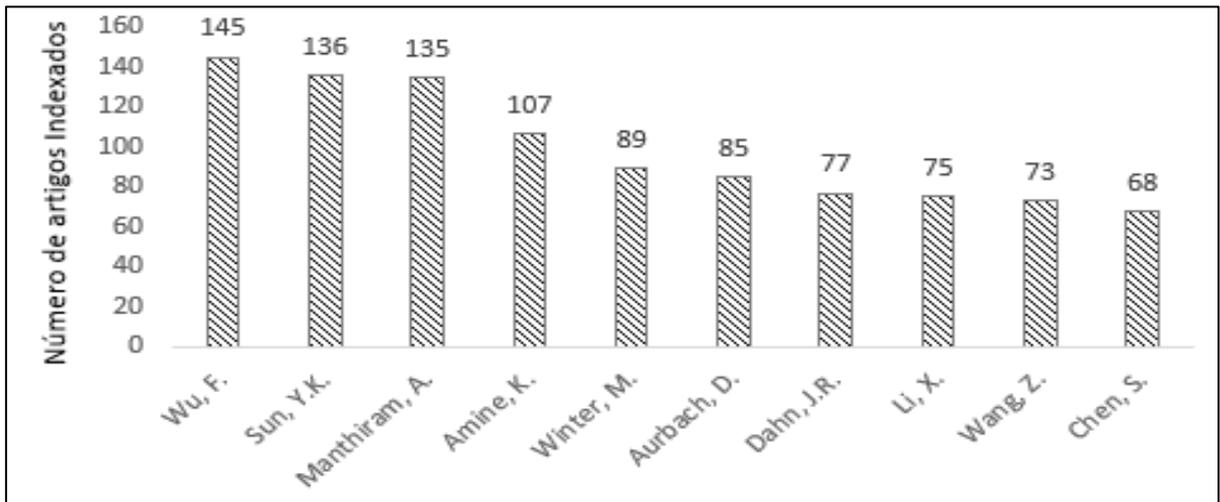
No Gráfico 11, foi analisado o número de publicações, por ano, para os termos “*nickel*” e “*battery*”, por título e por tópico, onde visualiza uma diferença significativa nos números de publicações de acordo com o filtro de pesquisa. Observa-se, ademais, uma elevação significativa no número de publicações a partir do ano de 2014, fato curioso, haja vista a crise mundial enfrentada pela indústria nesse período, que afetou, de forma intensa, os mercados de mineração (ZIBECHI, 2015), mostrando que, apesar da instabilidade momentânea, o interesse de pesquisas ligadas à demandas futuras para esse mercado em específico já era, naquele momento, muito promissor.

**Gráfico 11** - Publicações por ano, em buscas feitas por tópico e título para os termos “*nickel*” e “*battery*”

Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Ao se avaliar o Gráfico 12, encontram-se dados de publicações, por autor, para os termos “*nickel*” e “*battery*”, especificamente por tópico, onde 4 autores destacaram-se, o que concentrou neles o percentual de 52,82% de todas as publicações, correspondendo esse percentual à 523 das 990 publicações identificadas, oriundas, essencialmente, de instituições asiáticas, fato que corrobora com dados até então aqui apresentados / analisados sobre a alta produção de artigos científicos que versam sobre o níquel por instituições e por pesquisadores chineses, indexados na base de dados Scopus.

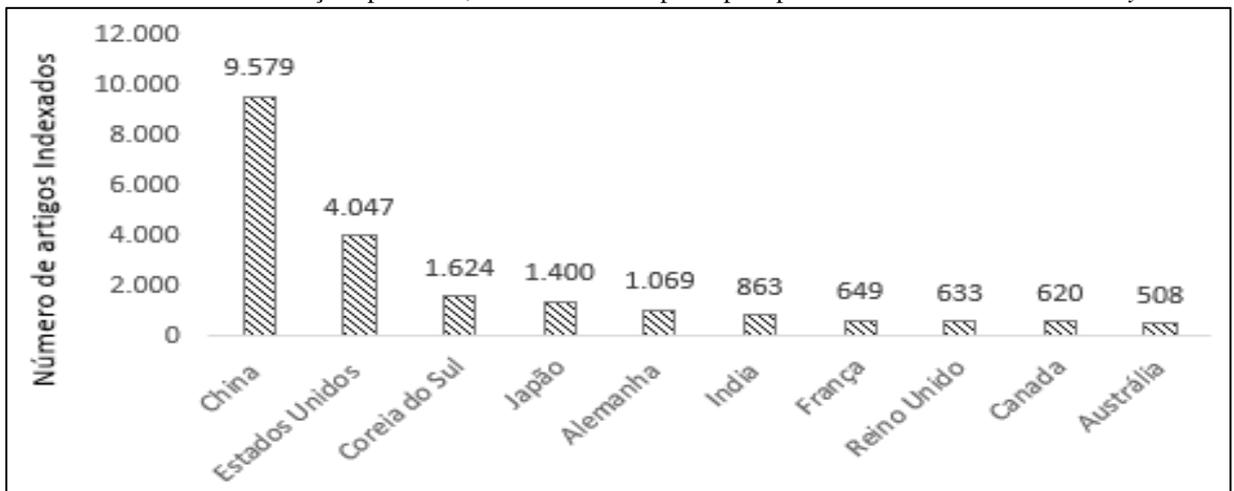
**Gráfico 12** - Publicações por autor, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*battery*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

O Gráfico 13 traz os dados referentes aos países que mais publicam sobre o tema quando as pesquisas são realizadas para os termos “*nickel*” e “*battery*”, destacando-se a China, com o número total de 9.579 publicações, representando 45,63% do total de publicações.

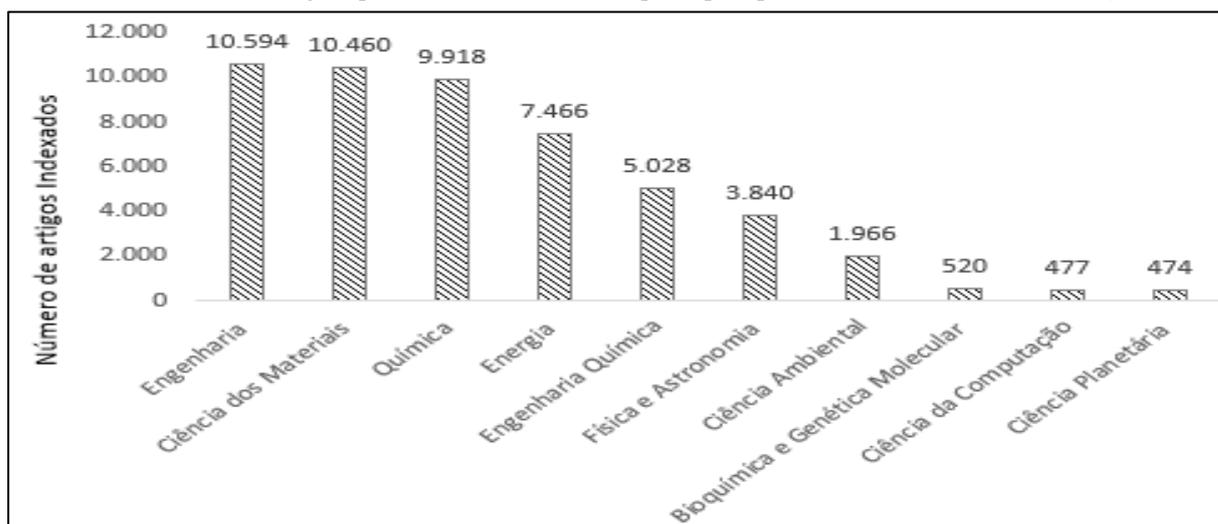
**Gráfico 13** - Publicações por autor, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*battery*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Nos dados do Gráfico 14, identificam-se o número de publicações, por áreas de interesse, para os termos associados “*nickel*” e “*battery*”, pesquisados por tópico. Depreende-se que a Engenharia lidera o número de publicações, aparecendo com 10.594 delas, seguida pela Ciência dos materiais, com 10.460 publicações, que representam, respectivamente, 20,87% e 20,61% das publicações. Conclui-se que a Engenharia é a área que possui maior interesse na utilização de níquel para produção de bateria, muito em função da sua utilização em carros elétricos (WANG, et al., 2022).

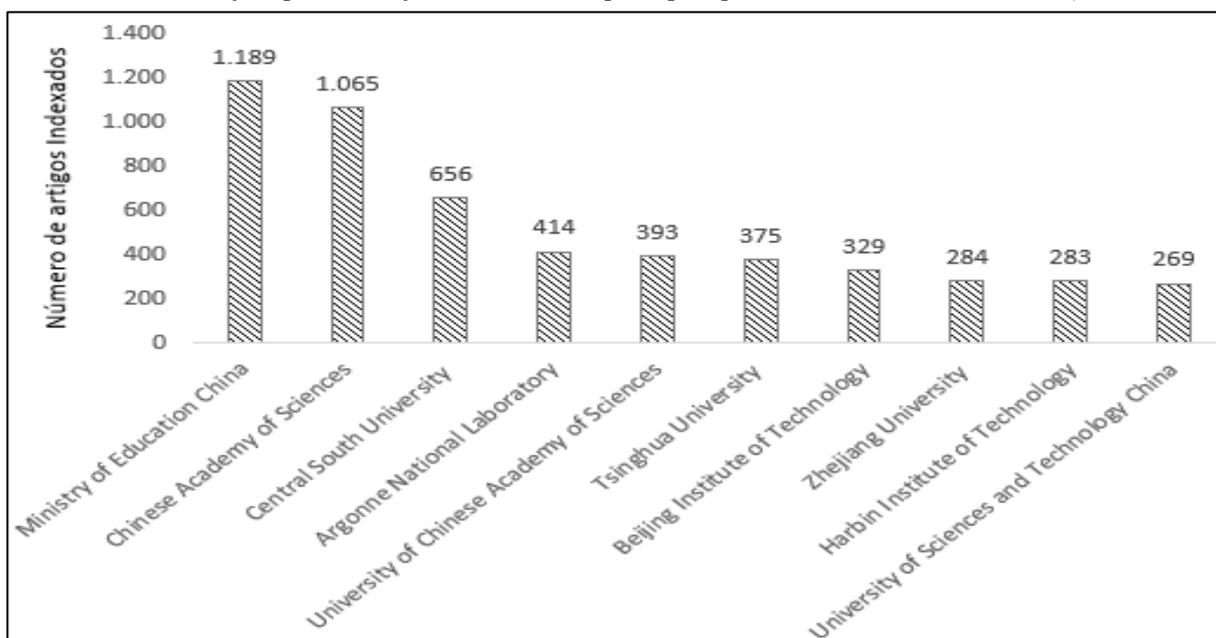
**Gráfico 14** - Publicações por área, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*battery*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Já no Gráfico 15, os números concordam com os dados de publicações por autor, por países e demais análises. Nesse gráfico, foram identificados dados das publicações, por instituições para o tema, correlacionando os termos “*nickel*” e “*battery*”, onde se destacam instituições Chinesas, com 42,87% de todas as publicações. Vale pontuar que o Ministério de Educação da China lidera o número de publicações, com 1.189 publicações através de instituições públicas.

**Gráfico 15** - Publicações por instituições, buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*battery*”

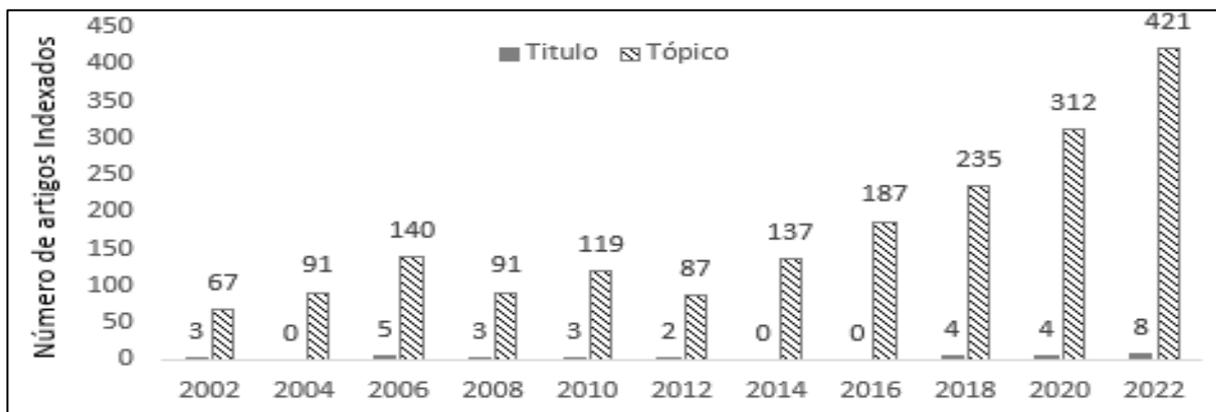


Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

O Gráfico 16 traz dados do tema, com a combinação dos termos “*nickel*” e “*vehicle*”, no período de 20 anos. No comparativo do número de publicações, por tópico e por título, infere-se que há uma diferença significativa, com 1.887 e 32 publicações, respectivamente,

levando a pesquisa para análise de dados mais específicos concernentes ao tema, o que, em termos percentuais, configuram 98,33% e 1,66% respectivamente.

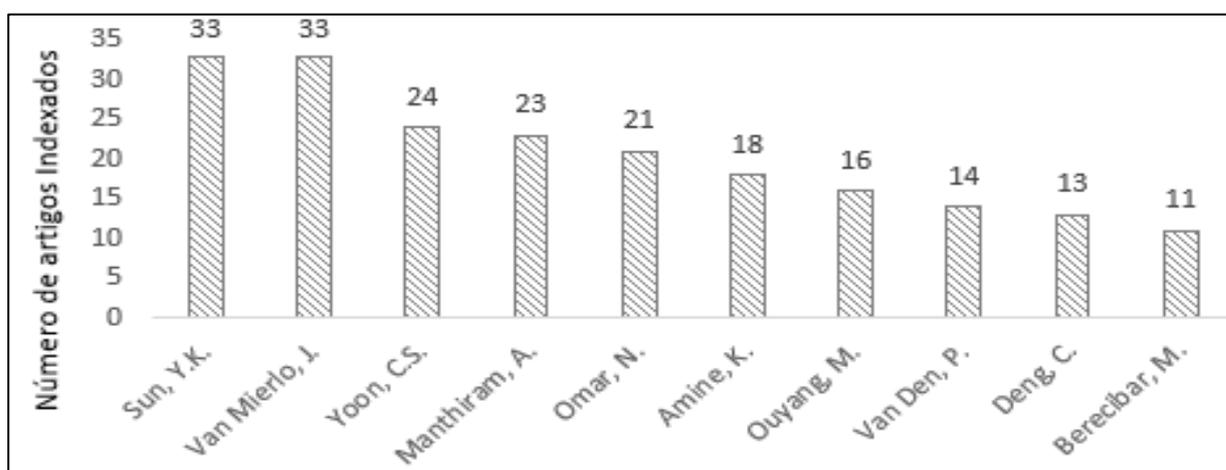
**Gráfico 16** - Publicações por ano, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*vehicle*”



Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

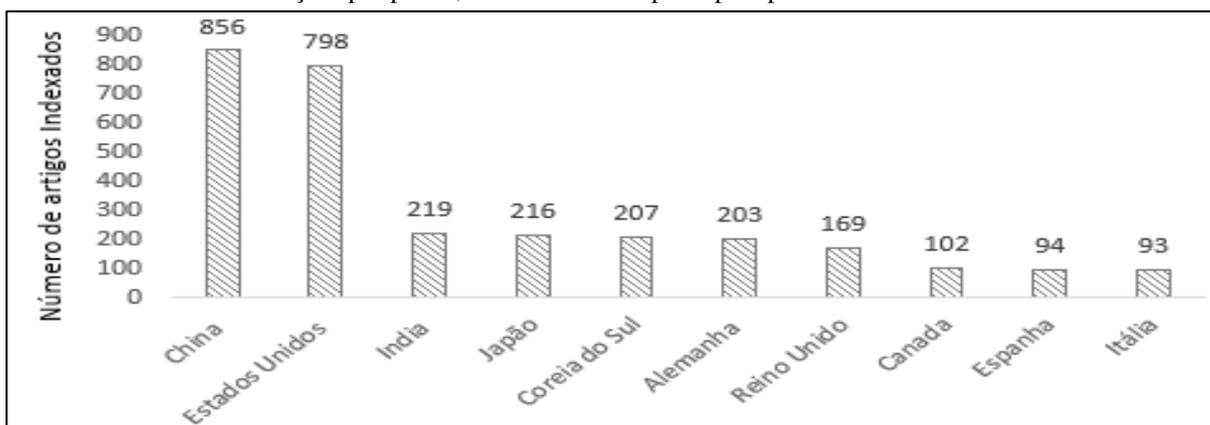
Nas pesquisas para a combinação dos termos “*nickel*” e “*vehicle*”, por autor, identificaram-se os dados apresentados no Gráfico 17, onde há um número de publicações equilibrado, tendo os autores Sun, Y. K. e Van Mierlo, J. aparecido com o maior número de publicações, representando, cada um, 16,06% de um total de 206 publicações, o que totaliza 33 publicações cada.

**Gráfico 17:** Publicações por autor, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*vehicle*”



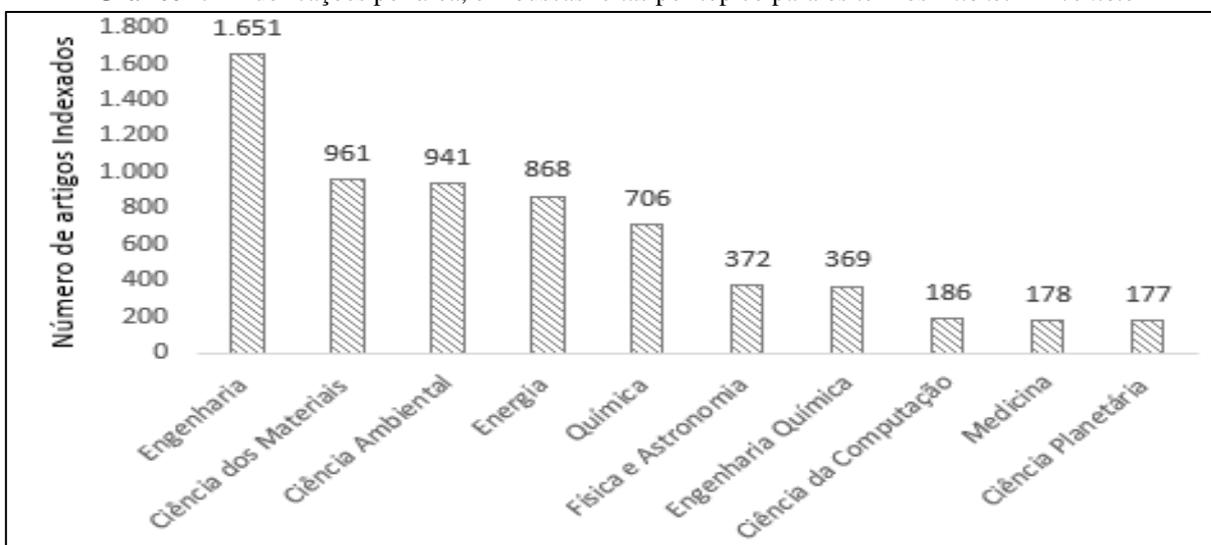
Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

No Gráfico 18, pode-se analisar o número de publicações por país, onde os dados levantados apenas confirmam os conhecimentos acerca dos países que, historicamente, lideram pesquisas, desenvolvimento de novas tecnologias, processos de industrialização e consumo de matérias primas para seus setores industriais (CARDOSO, 2022). Tais países, que lideram os números de publicações, são a China e os Estados Unidos, conforme já identifica alhures, apresentando 856 e 798 publicações, respectivamente, o que, em números percentuais, corresponde a 28,95% e 26,98%.

**Gráfico 18** - Publicações por países, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*vehicle*”

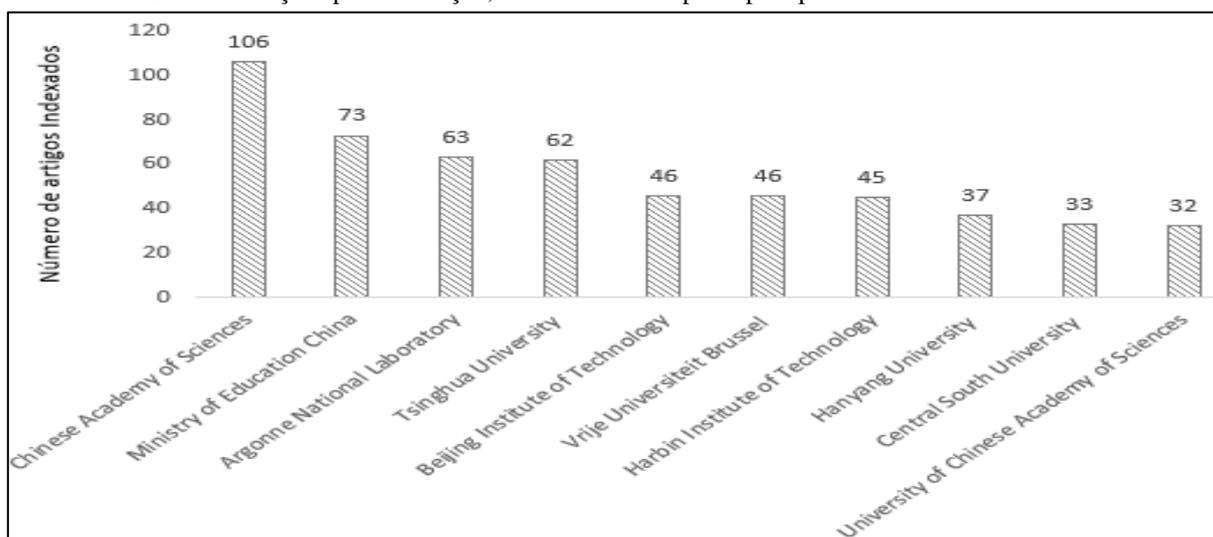
Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Por sua vez, o gráfico 19 traz dados muito relevantes e primordiais para a pesquisa, com o objetivo de identificar as áreas que mais publicam sobre os temas “*nickel*” e “*vehicle*”, pesquisas feitas por tópicos, que trazem resultados importantes, onde a área de Engenharia lidera os números de publicações, com 25,76% do total, percentual esse que corresponde ao número de 1.651 publicações, de um total de 6409, reafirmando que os veículos elétricos são um tema recorrente em pesquisas nas engenharias.

**Gráfico 19** - Publicações por área, em buscas feitas por tópico para os termos “*nickel*” e “*vehicle*”

Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Por fim, no Gráfico 20, identificam-se os dados resultantes da pesquisa realizada para os termos “*nickel*” e “*vehicle*”, por tópicos, quanto às instituições que mais publicam sobre os temas. A instituição de pesquisa Chinese Academy of Sciences é a líder em números de publicações, contando com 106 de um total de 543, o que representa 19,42% das publicações totais. Os números mostram que, de modo não diferente das associações aos termos anteriormente indicados para fins do presente estudo, as instituições de pesquisas científicas chinesas mostram maior interesse pelo tema, bem como pela própria atividade de publicação.

**Gráfico 20** - Publicações por instituição, em buscas feitas por tópico para os termos “nickel” e “vehicle”.

Fonte: Gráfico gerado pelos autores a partir de dados da plataforma Scopus

Os maiores consumidores desse mineral são EUA e China, haja vista suas lideranças mundiais na produção de industrial e de tecnológica, tanto para produtos já estabelecidos, quanto para desenvolvimento de novas tecnologias, o que confirmou-se ao analisar o interesse acadêmico pelo tema estudado, onde EUA e China se destacam, novamente, em todos os dados detidamente analisados.

#### 4.7 SIGLAS

Agência Internacinoal de Energia (IEA).  
 Agência Nacional de Mineração (AMB).  
 Associação Brasileira de Aço Inoxidável (ABINOX).  
 Bolsa de Metais de Londres (LME).  
 Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDS).  
 Grupo Internacional de Estudos de Níquel (INSG).  
 Organizações das Nações Unidas (ONU).  
 Plano de Aproveitamento Econômico (PAE )

#### 5 CONCLUSÕES

O aumento do percentual de níquel em baterias para aplicação em veículos elétricos cresceu exponencialmente, assim como o número de publicações produzidas sobre o tema, evidenciando a crescente demanda por esse minério. Os Estados Unidos dependem fortemente das importações de níquel, enquanto Indonésia, Austrália e Brasil, respondem juntos por cerca de 60% das reservas globais de níquel. A Indonésia é o maior produtor mundial de Níquel. A Rússia aparece em terceiro lugar, em função disso, a invasão da Ucrânia também gera preocupações com o fornecimento de níquel no mercado mundial. Como a utilização de níquel em baterias para aplicação em veículos elétricos está em crescente demanda, a preocupação com seu fornecimento no mercado mundial é algo evidente, haja vista que os estudos mostraram que este mineral poderá ser um impeditivo para a manutenção do processo de transição dos veículos a combustão para veículos elétricos no médio e longo prazo, podendo desacelerar o processo em função do desabastecimento do mercado.

Mostrou-se notório, durante o estudo cienciométrico, que o interesse da comunidade científica pelo tema sempre existiu e que vem apresentando um crescimento exponencial nas buscas, feitas por tópicos. Por títulos também há crescimento, embora menos acelerado, o que não altera a evidente relevância da presente pesquisa, haja vista que esses resultados propiciam uma análise dos estudos mais abrangentes acerca do tema.

Conclui-se, ademais, que o maior número de artigos sobre “*nickel*” não fala apenas sobre ele, mas faz um estudo em conjunto com outros minerais e com outras ligas.

## REFERÊNCIAS

- BLUMBERGS, Ervins; SERGA, Vera; PLATACIS, Ernests; MAIOROV, Michael; SHISHKIN, Andrei. **A recuperação de Cádmio de Baterias Ni-Cd Usadas: Uma Breve Revisão**. *Metals*, v. 11, n. 1714, p. 1- 14, out, 2021. Disponível em: <Cadmium Recovery from Spent Ni-Cd Batteries A Brief Review .en.pt (1).pdf> Acesso em: 21 mai. 2023.
- BRASIL, Agência Nacional de Mineração. **I anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas**. Brasília: ANM, 2021.
- CARDOSO, Jessica. EUA e China travam disputa tecnológica por influência global. **Poder360**, 2022. Disponível em:< <https://www.poder360.com.br/economia/eua-e-china-travam-disputa-tecnologica-por-influencia-global/>>. Acesso em: 21 mai. 2023.
- CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de et al. **Panorama e tendências do mercado de níquel: estudo realizado em junho de 2015**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 42, p. 245-295, set, 2015.
- CONFERÊNCIA de Transporte Sustentável pede ação amplamente acelerada para alcançar emissões líquidas zero e construir um futuro verde, inclusivo e equitativo. **United Nations**, 2021. Disponível em:< <https://www.un.org/en/desa/sustainable-transport-conference-calls-vastly-accelerated-action-achieve-net-zero-emissions-and>>. Acesso em: 21 nov. 2022.
- ESTATÍSTICAS anuais do inox. **ABINOX**, 2021. Disponível em:< <https://abinox.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 23 dez. 2022.
- GROUP, International Nickel Study Group. **The word nickel factbook 2021**, 2021. Disponível em:<THE WORLD NICKEL FACTBOOK 2021 (insg.org)>. Acesso em: 01 out. 2022.
- GUOHUA, Yuan; ELSHKAKIB, Ayman; XIAOUMA, Xi. **Análise dinâmica da demanda futura de níquel, fornecimento e materiais associados, energia, água e emissões de carbono na China**. *Política de Recursos*, v. 74, n. 102432, p. 1-10, out, 2021. Disponível em: <Dynamic analysis of future nickel demand, supply, and associated.en.pt.pdf> Acesso em: 20 mai. 2023.
- HEIDER, Mathias. Estrutura produtiva do Níquel no Brasil. **InTheMine**, 2022. Disponível em:<<https://www.inthemine.com.br/site/estrutura-produtiva-do-niquel-no-brasil/>>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- HEIJLEN, Wouter; FRANCESCHI, Guy; DUHAYON, Chris; NIJEN, Kris Van. **Avaliando a adequação do pipeline global de desenvolvimento de mina terrestre à luz de cenários futuros de alta demanda: O caso da bateria-metals níquel (Ni) e cobalto (Co)**. *Política de Recursos*, v. 73, n. 102202, p. 1-14, jul, 2021. Disponível em: <Assessing the adequacy of the global land-based mine development pipeline.pdf> Acesso em: 22 nov. 2022.
- KIM, Tae-Yoom. Minerais críticos ameaçam uma tendência de décadas de declínio de custos para tecnologias de energia limpa. **Agência Internacional de Energia**, 2022. Disponível em:<<https://www.iea.org/commentaries/critical-minerals-threaten-a-decades-long-trend-of-cost-declines-for-clean-energy-technologies>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

LIU, Bin; LIU, Xiaorui; DING, Jia; HUUMA, Wenbin; ZHONGUMA, Cheng. **120 anos de cátodos à base de níquel para baterias alcalinas**. *Jornal de Ligas e Compostos*, v. 834, n. 155185, p. 1-11, abri, 2020. Disponível em: <120 Years of nickel-based cathodes for alkaline batterie .en. pt.pdf> Acesso em: 20 nov. 2022.

MARTINS, Livia Sales; GUIMARÃES, Lucas Fonseca; BOTELHO JUNIOR, Amilton Barbosa; TENORIO, Jorge Alberto Soares; ESPINOSA, Denise Croce Romano. **Bateria de carro elétrico: uma visão geral da demanda global, reciclagem e abordagens futuras para a sustentabilidade**. *Revista de Gestão Ambiental*, v. 295, n. 113091, p. 1-16, jun, 2021. Disponível em: <Electric car battery An overview on global demand, recycling and future.en.pt (1).pdf> Acesso em: 01 out. 2022.

NÍQUEL: o metal crítico que impulsionará a revolução dos veículos elétricos. **Sherritt**, 2021. Disponível em: <Nickel The Critical Metal May-3-21 .en.pt.pdf> Acesso em: 27 set. 2022.

NÍQUEL sulfetado produzido pela Atlantic Nickel é insumo para produção de baterias de veículos elétricos. **Atlantic Nickel**, 2020. Disponível em: :<https://atlanticnickel.com/niquel-sulfetado-produzido-pela-atlantic-nickel-e-insumo-para-producao-de-baterias-de-veiculos-eletricos/> Acesso em: 23 de nov. 2022.

O ACORDO de Paris. **United Nations**, 2022. Disponível em:<https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> Acesso em: 21 nov. 2022.

OS FATORES que transformaram a China em uma potência da inovação. **ABMES**, 2019. Disponível em: < https://abmes.org.br/noticias/detalhe/3387> 22 dez. 2022.

OLIVEIRA, Sonia Maria Barros de. **Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel no Brasil e no mundo**. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, v. 11, n. 2, p. 49-57, jul./dez, 1990.

OZDEMIRUMA, Ali Can; BULUSB, Kurtulus; ZOR, Kasim. **Previsão de preço de níquel de médio a longo prazo usando redes LSTM e GRU**. *Política de Recursos*, v. 78, n. 102906, p. 1-10, ago, 2022. Disponível em: <Previsão de preço de níquel de médio a longo prazo usando redes LSTM e GRU.pdf> Acesso em: 19 dez. 2022.

RATH, Manasa Kumar et al. **Desenvolvimento de célula de combustível de óxido sólido de grande área altamente eficiente e durável por meio de uma impressora tridimensional de escrita direta com tinta**. *Jornal de Fontes de Energia*, v. 552, 2022.

SILVA, Cristina Socorro da. Níquel. **Balanço Mineral Brasileiro**, 2001. Disponível em: Disponível em: <niquel (www.gov.br)> Acesso em: 27 set. 2022.

TRACY, Brandon S. **Minerais críticos em baterias de veículos elétricos**. Congressional Research Service, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/RuteL/Downloads/Critical%20Minerals%20in%20Electric%20Vehicle%20Batteries.en.pt%20(1).pdf > Acesso em: 27 set. 2022.

USO primário do níquel. **Nickel Institute**, 2021. Disponível em:<https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/#mining>. Acesso em: 01 out. 2022.

VALE assina acordo com GM para fornecer níquel para veículos elétricos. **Vale**, 2022. Disponível em: <Vale confirma acordo com a Tesla para fornecimento de níquel de baixa emissão de carbono - Vale >. Acesso em: 23 nov. 2022.

VILELA, Donizeth Alves. **Panorama da Indústria Brasileira de Níquel: Contexto Internacional, Tendências e Players**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p.57, 2002.

WANG, Xingxing; WANG, Anjian; ZHONG, Weiqiong; ZHU, Depeng; WANG, Chunhui. **Análise do fluxo internacional de níquel com base na cadeia industrial**. Política de Recursos, v. 77, n. 102729, p. 1-9, abr, 2022. Disponível em: <Analysis of international nickel flow based on the industrial chain.en.pt.pdf> Acesso em: 20 nov. 2022.

ZHAO, Kun; GAO, Feng; YANG, Qunying. **Revisão Abrangente sobre Processos de Atualização Metalúrgica de Minérios de Sulfeto de Níquel**. Revista de Metalurgia Sustentável, v. 8, p. 38-50, 2022. Disponível em: <Comprehensive Review on Metallurgical Upgradation Processes.en.pt.pdf> Acesso em: 20 nov. 2022.

ZIBECHI, Raúl. Na crise da mineração, chance para a América Latina. **Outras palavras**, 2015. Disponível em: <Na crise da mineração, chance para a América Latina - Outras Palavras> Acesso em: 21 nov. 2022.