



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (DCT)
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

GUILHERME GABRIEL SALDANHA PEREIRA

***CHIP WAR: UMA ANÁLISE SOBRE OS FATORES GEOPOLÍTICOS
QUE ENVOLVEM A CRISE DOS CHIPS SEMICONDUTORES***

CARAÚBAS

2023

GUILHERME GABRIEL SALDANHA PEREIRA

***CHIP WAR: UMA ANÁLISE SOBRE OS FATORES GEOPOLÍTICOS
QUE ENVOLVEM A CRISE DOS CHIPS SEMICONDUTORES***

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Interdisciplinar em
Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Ana Tereza de
Abreu Lima, Profa. Dra.

CARAÚBAS

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P436c Pereira, Guilherme Gabriel Saldanha .

Chip War: Uma análise sobre os fatores que envolvem a crise dos chips semicondutores / Guilherme Gabriel Saldanha Pereira. - 2023.

41 f. : il.

Orientadora: Ana Tereza de Abreu Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2023.

1. Semicondutores. 2. Crise dos chips. 3. Pandemia. 4. Discussão geopolítica. I. Lima, Ana Tereza de Abreu , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GUILHERME GABRIEL SALDANHA PEREIRA

***CHIP WAR: UMA ANÁLISE SOBRE OS FATORES GEOPOLÍTICOS
QUE ENVOLVEM A CRISE DOS CHIPS SEMICONDUTORES***

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Interdisciplinar em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 11/10/2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ANA TEREZA DE ABREU LIMA
Data: 20/10/2023 09:24:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ana Tereza de Abreu Lima, Profa. Dra. (UFERSA)

Presidente

Documento assinado digitalmente



JOSE JUNIOR ALVES DA SILVA
Data: 19/10/2023 19:10:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Júnior Alves da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



ZENNER SILVA PEREIRA
Data: 19/10/2023 23:28:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Zenner Silva Pereira, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro Examinador

É uma disciplina que promove, com visão integrada, o gerenciamento e o compartilhamento de todo o ativo de informação possuído pela empresa. Esta informação pode estar em um banco de dados, documentos, procedimentos, bem como em pessoas, através de suas experiências e habilidades.

Gartner Group

RESUMO

A discussão sobre a fabricação dos *chips* semicondutores vem ganhando mais espaço para discussões tanto na mídia quanto no meio acadêmico, devido ao prolongamento da crise que envolve a escassez deste material. Sendo tal escassez iniciada no período pandêmico, quando ocorreu um aumento da demanda por produtos baseados em *chips* semicondutores juntamente com as dificuldades que as fábricas encontraram em produzir os *chips*, devido à instabilidade da rede de fornecimentos. Nesse sentido, este trabalho propõe uma análise sobre os conflitos geopolíticos que impactam a crise por meio das redes de fornecimento, referenciando modelos de redes de outras literaturas atrelados ao andamento da crise. Tendo como base notícias e relatórios recentes, é feita uma análise de quais fatores impactam a crise, além da pandemia. Desta análise, é válido ressaltar os impactos negativos que as futuras fábricas montadoras de *chips* irão sofrer, com as leis que dificultam a mão de obra qualificada. Mostrando que cada indústria secundária está lidando com a crise de forma diferente e que talvez, a escassez desta matéria-prima ainda não esteja tão próxima de acabar. Demonstrando severas incertezas para futuras projeções do mercado.

Palavras-Chave: Semicondutores. Crise dos *chips*. Pandemia. Discussão geopolítica.

ABSTRACT

The discussion about the manufacture of semiconductor chips has been gaining more space for dissemination both in the media and in academia, due to the prolongation of the crisis involving a shortage of this material. This shortage began during the pandemic period, when there was an increase in demand for products based on semiconductor chips, due to the instability of the supply chains. In this sense, this work proposes an analysis of the geopolitical conflicts that impact the crisis through supply chains, referencing network models from other literature linked to the progress of the crisis. Based on recent news and reports, an analysis is made of which factors impact the crisis, in addition to the pandemic. From this analysis, it is worth highlighting the negative impacts that future chip factories will suffer, with laws that hinder committed labor. Showing that each secondary industry is dealing with a crisis differently and that perhaps the scarcity of this raw material is not yet so close to ending. Demonstrating several uncertainties for future market projections.

Keywords: Semiconductors. Chips crisis. Pandemic. Geopolitical discussion.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - BANDAS DE VALÊNCIA, CONDUÇÃO E PROIBIDA.....	16
FIGURA 2 - COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS ISOLANTES, CONDUTORES E SEMICONDUTORES	18
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA CADEIA DE FORNECIMENTO DOS SEMICONDUTORES	22
FIGURA 4 - MODELO DE UMA FÁBRICA DA INTEL DISTRIBUÍDO ENTRE NÍVEIS.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - PARTICIPAÇÃO DO LUCRO OPERACIONAL DA FUNDIÇÃO DOS SEMICONDUTORES, EM PORCENTAGEM.....	24
GRÁFICO 2 - SEMICONDUTORES USADOS PELAS INDÚSTRIAS	32
GRÁFICO 3 - INVESTIMENTOS EM SEMICONDUTORES NA CHINA, EM BILHÕES DE CNY.....	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DO MATERIAL SEMICONDUTOR	23
TABELA 2 - POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS CHINESAS QUE AJUDARAM NOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO DECORRER DAS DÉCADAS	27

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
1 INTRODUÇÃO	12
2 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 <i>CHIPS SEMICONDUTORES</i>	15
3.2 <i>MATERIAIS SEMICONDUTORES</i>	15
3.2.1 <i>Bandas de valência, condução e proibida</i>	16
3.2.2 <i>Materiais isolantes, condutores e semicondutores</i>	17
3.2.3 <i>Comportamento do material semicondutor.....</i>	18
3.2.4 <i>Dopagem e as junções tipo n e p</i>	19
3.3 <i>FABRICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS CHIPS SEMICONDUTORES.....</i>	20
3.4 <i>GEOPOLÍTICA: O TRIÂNGULO EUA, CHINA E TAIWAN</i>	24
3.4.1 <i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company.....</i>	24
3.4.2 <i>China e Taiwan</i>	26
3.4.3 <i>EUA e China</i>	28
3.4.4 <i>Chip War.....</i>	30
4 ANÁLISE FINAL.....	31
4.1 <i>AS INDÚSTRIAS AFETADAS PELA CRISE NÃO TERÃO A MESMA PERSPECTIVA</i>	31
4.2 <i>OS PAÍSES GLOBALIZADOS INVESTINDO NOS SEMICONDUTORES</i>	33
4.3 <i>ATRASOS DAS NOVAS FÁBRICAS.....</i>	34
5 CONCLUSÃO	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com os avanços da indústria eletrônica, os *chips* semicondutores vêm se provando como um forte pilar para os saltos tecnológicos que a humanidade vem dando no século XXI. Afinal, estas pequenas peças com circuitos integrados são encontradas nos mais diversos aparelhos eletrônicos como televisões, computadores, celulares e, até mesmo, em carros. Eles atuam como base para formar a arquitetura de qualquer aparelho eletrônico da atualidade, seja um smartphone, um console de vídeo game ou até mesmo o sistema de uma nave da aeronáutica.

Com o advento da pandemia, que se alastrou para o mundo inteiro no começo de 2020, a maioria dos governos juntamente com a população entenderam que a quarentena seria uma boa resposta para preservar a saúde coletiva. Com isso, a demanda por produtos eletrônicos começou a aumentar exacerbadamente. Afinal, os professores e os alunos das escolas precisavam de notebooks e webcams para que ocorressem aulas online. Celulares e telefones teriam um papel mais do que essencial para a comunicação de pessoas que não podiam sair de suas residências devido a iminência do contágio do vírus. Sem opções, até mesmo o lazer foi moldado com equipamentos como TVs, celulares e consoles de videogame, a fim de evitar o máximo de contato possível com o vírus SARS-COV-2.

Nesse sentido, esta pesquisa tem como base 3 etapas: A primeira etapa consiste em caracterizar o material semicondutor a partir das suas propriedades físicas e contextualizar os principais processos que envolvem a sua fabricação e distribuição. A segunda etapa da pesquisa foca em evidenciar problemas geopolíticos em países globalizados como EUA, China e Taiwan, com o propósito de relaciona-los diretamente com a crise dos semicondutores por meio da *Chip War*. Além de artigos, a terceira parte envolve a coleta de recentes relatórios de tecnologia para abordar as dificuldades relacionadas as projeções sobre quando a crise irá minguar, relacionando com os conflitos geopolíticos mencionados na segunda etapa.

Além deste primeiro capítulo introdutório, o segundo será referente a metodologia de pesquisa. Neste capítulo, são especificados quais livros foram utilizados como fonte de pesquisa para a coleta de dados das propriedades dos materiais semicondutores e como os relatórios de tecnologia e artigos serviram para a formulação do triângulo geopolítico

que envolve os norte-americanos, chineses e taiwaneses. O terceiro capítulo tratasse do referencial teórico. É nele onde a base da pesquisa é estabelecida por meio da análise das principais propriedades do material semicondutor, o processo de fabricação e distribuição dos chips e os conflitos geopolíticos existentes entre os três países que estão inseridos no mercado dos semicondutores: EUA, China e Taiwan. O capítulo 4 engloba a terceira etapa da pesquisa, juntando as informações e os dados coletados no referencial para criar tópicos voltados para a projeção da crise. Em seguida, o quinto capítulo desenvolve as discussões iniciadas no capítulo passado. Sendo o sexto e último capítulo, destinado para as referências do trabalho.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para que haja uma fundamentação teórica sobre o assunto envolvendo os materiais semicondutores, primeiramente foi necessário recorrer a autores como Ângelo Eduardo B. Marques, Eduardo Cesar Alves Cruz, Salomão Choueri Júnior e Sérgio M. Rezende em trabalhos bibliográficos como “Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores” e “Materiais e Dispositivos Eletrônicos”.

Inicialmente, a procura por tais fontes foi realizada para encontrar informações a respeito dos materiais semicondutores: Quais são as suas propriedades intrínsecas, quais componentes que integram um chip semicondutor e como o *chip* é fabricado por meio deste material. Uma vez que a introdução do trabalho foi dada por meio de uma abordagem mais teórica para o tema, apresentando o material semicondutor e o que pode ser feito a partir dele, como os próprios *chips*, diodos e transistores.

Em seguida, a pesquisa foi realizada por meio de artigos e notícias em jornais da web a respeito do andamento da crise principalmente no cenário geral, o qual nos causa impactos de forma direta e indireta.

Arelado a tudo isso, por meio dessa pesquisa, estabelecer fundamentos para entender as relações geopolíticas entre o trio: Estados Unidos, China e Taiwan. Como a TSMC de Taiwan é tão impactante no mercado mundial, por que a China cobiça tanto a TSMC e como a tensão entre EUA e China afetam diretamente a TSMC. A maior parte das notícias e informações são encontradas em portais nacionais e estrangeiros, uma vez que trata de um tema de relevância mundial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Chips* semicondutores

O *chip* semicondutor foi o resultado da contribuição de várias pessoas e empresas ao longo das últimas décadas. O desenvolvimento do primeiro transistor, por William Shockley (*National Center for Biotechnology Information*, 2012) juntamente com o fato de Jack Kilby, ter projetado o primeiro circuito integrado, anexando vários transistores e outros componentes em uma única peça de silício (*All About Circuits*, 2017), contribuíram fortemente para o surgimento de tal *chip* que se tornou um componente-chave para a produção de qualquer eletrônico ou eletrodoméstico atualmente.

Desde então, a indústria dos semicondutores tem trabalhado para aumentar a densidade de transistores e de outros componentes eletrônicos em uma única peça. Isso significa que a tendência é que, com o passar do tempo, os *chips* semicondutores fiquem cada vez mais compactos e menores, com um número maior de componentes eletrônicos e, por consequência, com um poder computacional maior também. Toda essa visão sobre o futuro destas pequenas peças foi criada por uns dos fundadores da empresa multinacional de tecnologia *Intel Corporation* chamado Gordon Moore, em 1965 e que, mais tarde, foi chamada de “Lei de Moore”. Segundo esta lei, a quantidade de transistores, componente eletrônico básico para a elaboração dos circuitos integrados modernos, dobraria a cada dois anos enquanto o poder de processamento dos computadores dobraria a cada 18 meses.

3.2 Materiais semicondutores

Os materiais semicondutores são, em resumo, a principal matéria-prima para fabricar o *chip* semicondutor, como também os componentes que comportam os circuitos integrados que estão no interior desta pequena peça, como diodos e transistores. Antes de começar a descrevê-lo, torna-se necessário introduzir algumas propriedades que explicam os motivos que fazem estas pequenas peças sólidas serem tão impactantes para a indústria de tecnologia.

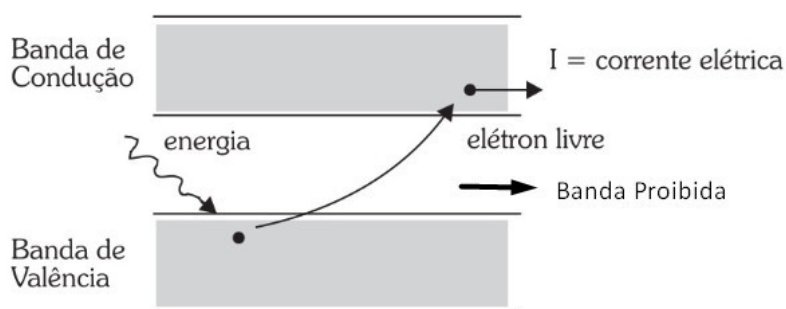
3.2.1 Bandas de valência, condução e proibida

Um átomo de um elemento qualquer possui um núcleo composto por prótons e nêutrons juntamente com uma eletrosfera composta por elétrons. A eletrosfera é composta por camadas eletrônicas que podem ir desde o K (camada mais interna) passando por L, M, N, O, P e Q.

A camada mais externa depende do elemento químico, sendo esta chamada de camada de valência. Também conhecida como banda de valência, essa é a região onde os elétrons estão mais longe do núcleo atômico. Por conta desses elétrons estarem mais afastados do núcleo, a sua força eletrostática de atração com o mesmo é baixa em comparação às cargas negativas mais próximas ao núcleo atômico e, além disso, a energia potencial deles é maior com relação aos elétrons das outras camadas internas do átomo devido a distância maior com relação ao núcleo atômico. Todos esses fatores colaboram para que os elétrons da banda de valência saiam do átomo “X” e possam se ligar com outros átomos “Y”, “Z”, etc.

Nesse sentido, existe a banda de condução, que é a região onde os elétrons livres passam a se movimentar, criando uma corrente elétrica no material. Vale salientar que existe um espaço entre a região da banda de valência e da banda de condução. Este espaço é chamado de banda proibida pois é uma região na qual não pode existir elétrons. A Figura 1 exibe qual é o trajeto que um elétron livre percorre. Evidenciando, assim, as bandas de valência, condução e proibida.

Figura 1 - Bandas de Valência, Condução e Proibida



Fonte: Adaptado de: Marques, Ângelo Eduardo, B. et al (1998).

Dessa maneira, é possível definir o que é um material semicondutor a partir do tamanho da banda proibida, caracterizando assim, o comportamento físico do material.

Sendo este, o ponto de partida para entender como são caracterizados os materiais semicondutores.

3.2.2 Materiais isolantes, condutores e semicondutores

Por meio do tamanho da banda proibida relacionada a cada átomo, é possível identificar se um átomo de um elemento específico é caracterizado como condutor, isolante ou semicondutor. Isso acontece pois para que um elétron saia da banda de valência para a banda de condução, ele precisa gastar uma quantidade específica de energia para efetuar essa transição, realizando um salto de energia. Esta energia necessária para a transição do elétron é chamada de *Gap* de Energia (*Band Gap*).

Em materiais condutores, os elétrons conseguem passar com mais facilidade para a banda de condução, tendo em vista que a banda proibida é menor ou está sendo sobreposta pelas bandas de valência e condução. Dessa forma, o *gap* de energia é baixo e resulta no fato de que a magnitude da corrente elétrica neste material será maior pois mais elétrons livres estarão sujeitos a passar na banda de condução.

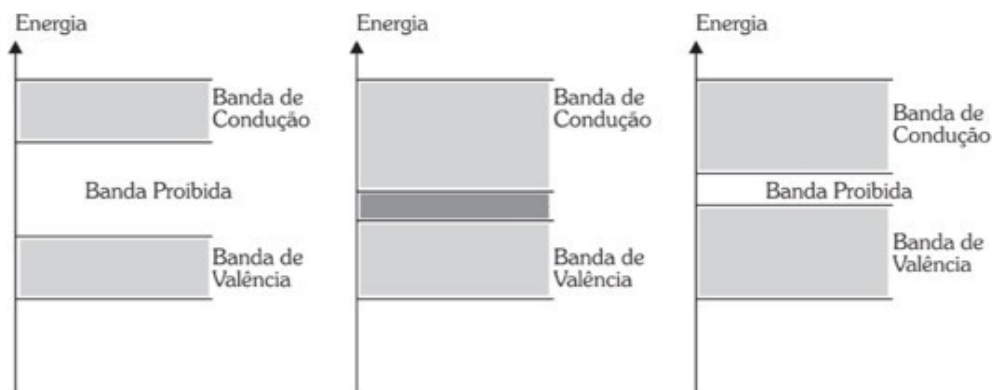
A situação dos materiais isolantes acontece de forma inversa aos condutores. Neste caso, os elétrons possuem mais dificuldade para chegar na banda de condução devido a banda proibida ser maior e, como resultado, o *gap* de energia é maior para os elétrons deste material, fazendo com que eles precisem de uma energia considerável para poder transitar. Por isso, a magnitude da corrente elétrica nesse material será menor porque apenas um número menor de elétrons conseguirá transitar para a banda de condução, comprometendo a magnitude da corrente elétrica.

O caso dos materiais semicondutores é uma circunstância especial pois trata-se de um caso intermediário entre os condutores e os isolantes. Nesse cenário, o *gap* de energia dos elétrons desse material é relativamente pequeno. Dessa forma, o fator temperatura será essencial para analisar o semicondutor, uma vez que ele varia exponencialmente com relação a concentração de elétrons na banda de condução do material (Battistini; Alvez; Choueri; Rezende, 1996, p.118).

Sendo assim, caso haja variação de temperatura, terão momentos em que esse material se comportará como condutor e outros que se comportará como isolante. A

Figura 2 ilustra todos os casos abordados, sendo eles respectivamente: isolantes, condutores e semicondutores:

Figura 2 - Comportamento dos materiais isolantes, condutores e semicondutores



Fonte: Marques, Ângelo Eduardo, B. et al (1998).

Nesse sentido, o comportamento dos materiais isolantes é identificado no cenário à esquerda da figura, onde existe uma banda proibida mais extensa, fazendo com que os elétrons gastem mais energia para transitarem da banda de valência para a banda de condução. No centro da figura, está situado o cenário do material condutor, que é identificado pela banda proibida, a qual está sendo sobreposta pelas bandas de condução e valência, sendo esta destacada com um cinza mais escuro. À direita da figura, o caso do material semicondutor. Vale salientar o fato de que por mais que haja uma banda proibida menor, o fator determinante do material semicondutor é a temperatura, como já mencionado acima.

3.2.3 Comportamento do material semicondutor

Com o passar do tempo, os cientistas e engenheiros viram em materiais semicondutores, como o silício e o germânio, uma oportunidade de deixar os *chips* mais sofisticados e flexíveis, criando componentes eletrônicos como diodos e transistores a partir de tal material. A principal razão para isso se deu devido o duplo comportamento que o semicondutor poderia ter. Dito isso, os *chips* semicondutores são projetados partindo do princípio de que o material pode se comportar, em momento oportunos, como condutor ou isolante. Logo, é possível classificar os materiais semicondutores como intrínsecos ou extrínsecos.

Os semicondutores intrínsecos são basicamente os semicondutores puros, desprovidos de outros elementos que possam estar junto do material, os quais são chamados de impurezas. Pelo fato de não haver impurezas em sua composição, os semicondutores intrínsecos são bastante instáveis com relação à temperatura, variando consideravelmente a partir deste fator.

Este tipo de semicondutor é pouco utilizado na indústria devido a sua condutividade ser pequena e pelo fato de que temperatura impacta de forma negativa. Ou seja, a própria temperatura do ambiente pode exercer resultados indesejáveis sobre o material, sendo necessário a implementação de sistemas de controle de temperatura que encareceriam de forma significativa o orçamento do projeto. Logo, este tipo de semicondutor é utilizado em casos mais específicos.

Os semicondutores mais usados no mercado para desenvolver as aplicações gerais são os extrínsecos, pois os mesmos possuem na sua composição impurezas que permitem os desenvolvedores do projeto manipularem o comportamento do material semicondutor, adicionando ou retirando essas impurezas.

3.2.4 Dopagem e as junções tipo n e p

Dopagem é o nome dado ao processo responsável por implementar as impurezas dos semicondutores extrínsecos. Ou seja, adicionar átomos de diferentes elementos em um material semicondutor puro, como o silício. Com isso, os semicondutores extrínsecos também podem ser chamados de materiais dopados.

Logo, é possível compreender rapidamente a importância deste processo para a fabricação dos *chips* semicondutores uma vez que, a depender do objetivo do material à ser modificado, o mesmo necessitará de quantidades diferentes de impurezas, de tipos de elementos diversos e de concentrações controladas e implementadas de forma proposital em um cristal de silício.

Como consequência, os materiais semicondutores dopados possuem uma condutividade que varia pouco com relação a temperatura, cujo valor é controlado pelas impurezas adicionadas ao cristal. E é basicamente esse controle das propriedades dos semicondutores, proporcionado pela dopagem que faz com que seja possível utilizar estes materiais para a fabricação de diferentes tipos de componentes eletrônicos como

transistores e diodos. Desse modo, existem dois tipos de dopagem: a dopagem do tipo n e a do tipo p.

Na dopagem do tipo n, as impurezas adicionadas fazem com que o material fique com um número maior de elétrons livres, pois não houve lacunas o suficiente para realizar as devidas ligações químicas ao material semicondutor e, conseqüentemente, o material é carregado negativamente. Por exemplo, quando é acrescentado em um cristal de silício (tetraivalente) um material impuro pentavalente como o arsênio (As), o antimônio (Sb) ou fósforo (P), ocorrem quatro ligações covalentes. Por conta da estrutura da banda de valência dos átomos envolvidos, haverá um elétron que não participará das ligações, ficando livre para vagar e definindo o caráter negativo da carga (Marques, Ângelo Eduardo, B. et al, 1998, p.29).

Já na dopagem do tipo p, as impurezas implementadas ao material fazem com que o material comporte todos os elétrons vindos da banda de valência dos átomos impuros e, além disso, deixa o material semicondutor com lacunas e, conseqüentemente, o material é carregado positivamente. Por exemplo, quando é acrescentado em um cristal de silício um material impuro trivalente como alumínio (Al), gálio (Ga) ou boro (B), isso possibilitará a existência de ligações covalentes incompletas no material semicondutor. Criando lacunas que definem o caráter positivo da carga (Marques, Ângelo Eduardo, B. et al, 1998, p.30).

É importante ter ciência do processo de dopagem e dos tipos de dopagens para relacionar ao fato de que a criação de diodos e de transistores no geral possuem sua construção baseada em junções pn e conseqüentemente, oriundas do material semicondutor.

3.3 Fabricação e distribuição dos *chips* semicondutores

Mostrar o processo de fabricação e distribuição deste produto será importante para poder encontrar em qual das etapas está o problema para que, só depois, seja possível discutir a razão pela qual tal etapa está sendo comprometida. Vale salientar que a fabricação e distribuição são processos extremamente complexos e variam para cada empresa, logo, serão apresentados a seguir apenas as principais etapas que a maioria das fabricantes tem em comum.

A primeira etapa envolve a coleta dos materiais semicondutores, dos materiais que contém os átomos impuros utilizados no processo de dopagem e de outros metais necessários para a fabricação dos *chips*. Dentre os materiais semicondutores, o mais coletado é a areia de quartzo, por conta da sua abundância na natureza. Essas matérias-primas frequentemente são adquiridas por empresas mineradoras que atuam como fornecedoras para as grandes fabricantes de *chips*.

Em seguida, o material é levado para as fabricantes e lá o silício é extraído da areia de quartzo e em seguida purificado utilizando um processo chamado *Czochralski*. O intuito deste processo é sintetizar um cristal de formato cilíndrico monocristalino extremamente puro (Handwiki, 2022). O cilindro é cortado em discos finos chamados *wafers*, o corte é feito por uma lamina de diamante, resultando em um corte limpo para deixar a superfície dos *wafers* plana e uniforme. Depois disso, os discos são submetidos a processos rigorosos de limpeza e de polimento, resultando em um material extremamente limpo e liso.

A próxima etapa é propriamente a fabricação dos *chips* semicondutores. É nela onde as impurezas são colocadas, o processo de dopagem é realizado e em cada *wافر* é gravado os padrões do *chip* utilizando litografia, juntamente com a retirada de cada pequeno pedaço do *wافر*. Esses pedaços posteriormente são montados e fundidos uns com os outros, formando o *chip* semicondutor. Após a fabricação, o produto é submetido a vários testes para garantir o grau de qualidade exigido pelo cliente.

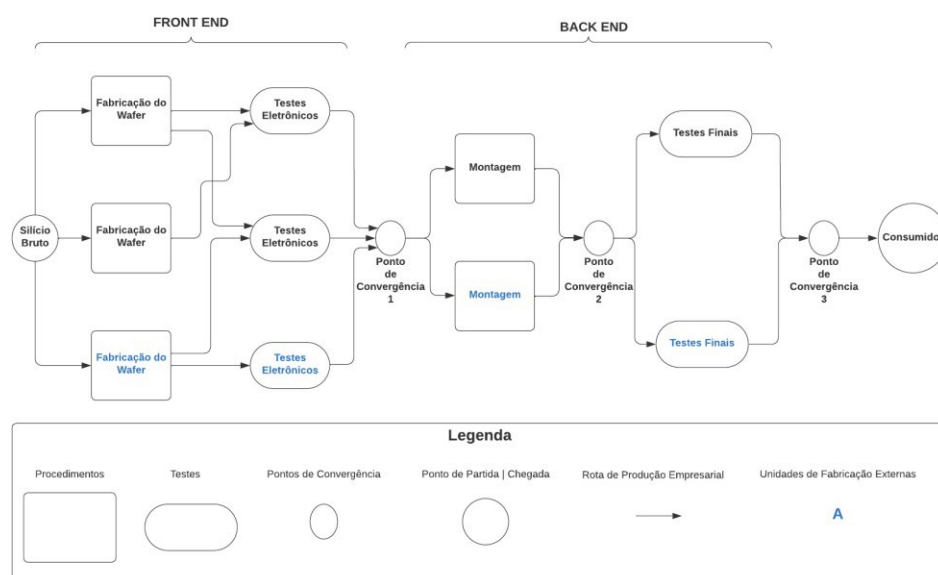
E por último, o *chip* sintetizado é embalado e distribuído para os clientes no mundo todo. Os lotes de *chips* podem ser transportados em vias aéreas ou marítimas. Vale mencionar que a coordenação entre diferentes empresas e países é essencial para que seja possível otimizar o tempo de entrega do produto para o cliente.

Com isso, torna-se perceptível que a fabricação dos *chips* semicondutores necessita de uma rede de fornecimentos altamente estável, sendo esta, o resultado da globalização de diversos países associados com os seus respectivos interesses. Popularmente conhecida como *supply chains*, estas redes são extremamente complexas e, ao mesmo tempo, intrínsecas para a produção do material.

Dessa forma, é possível esquematizar como funcionam os fluxos das *supply chains* que passam por cada etapa dos procedimentos. Tendo como referência o texto de Rupp e Ristic, onde eles realizaram uma abordagem mais generalista das etapas do

cenário industrial com base no mercado de aplicações específicas para a fabricação de circuitos integrados (*ASIC*¹), a Figura 3 mostra o fluxo de algumas etapas citadas acima juntamente com a categorização do *Frontend* e do *Backend*. Sendo o *Frontend* a categorização dada ao conjunto das etapas que envolvem desde a coleta e fabricação do *wafer* até os testes eletrônicos que neles são feitos. Enquanto o *Backend* está relacionado ao conjunto de etapas que levam à montagem dos *chips*, testes finais de qualidade e distribuição do produto final para o cliente. Além disso, são expostos os pontos de convergência que representam visualmente o processo de transição entre as etapas importantes da produção.

Figura 3 - Fluxograma das etapas da cadeia de fornecimento dos semicondutores



Fonte: RUPP, Thomas M.; RISTIC, Mihailo (2000).

O primeiro ponto de convergência tratasse da transição dos testes eletrônicos dos materiais semicondutores para a montagem dos *chips*. No segundo ponto, ocorre a transição dos procedimentos envolvendo as unidades de circuito integrado já montadas para a execução dos testes finais. No terceiro e último ponto convergente do fluxograma, a transição ocorre dos *chips* já montados e testados sendo encaminhados para o consumidor.

¹ *Application-Specific Integrated Circuits*. São circuitos integrados voltados para aplicações específicas. Considerados muito caros, demandam muito tempo de desenvolvimento para oferecer desempenho elevado atrelado a um baixo consumo de energia (Embarcados, 2014).

É possível notar que existem certas etapas do fluxograma que estão de forma paralela, possuindo o mesmo nome. No *Frontend*, isso acontece por que a fabricação dos *wafers* é ramificada devido a criação dos diferentes tipos de junções n e p. Além disso, existem *wafers* que são feitos fora do ecossistema da fabricante dos *chips* por meio de terceirizações, sendo a etapa destacada de azul. A mesma lógica é implementada no *Backend*, onde tanto uma parte da montagem quanto uma parte dos testes finais são feitos por outras unidades de fabricação externas.

Voltando para a questão da complexidade destas redes, Rupp e Ristic mencionam em seu texto, alguns agentes impactantes para as *supply chains*. Sendo estes agentes, relacionados com o fluxo de produtos complexos, rendimentos aleatórios, equipamentos produzidos com diversas características, produção e desenvolvimento em instalações compartilhadas (RUPP; RISTIC, 2000, p.391).

Indo por esta perspectiva, um ponto que vale a pena ser levado em consideração é a produção e desenvolvimento em instalações compartilhadas. Ou seja, pelo fato da fabricação ter um caráter globalizado, cada país envolvido possui uma certa contribuição para a produção destes *chips* e, conseqüentemente, qualquer interferência nesta cadeia pode ser prejudicial para o fornecimento do produto à nível mundial. A Tabela 1 denota algumas das etapas mencionadas no início deste tópico juntamente com as empresas e os países envolvidos em cada processo da fabricação.

Tabela 1 - Processo de produção do material semicondutor

Ordem	Etapas de Produção	Empresa Envolvida	País Envolvido
1º	Arquitetura do <i>Chip</i>	ARM	Reino Unido
2º	Design do <i>Chip</i> baseado na Arquitetura do <i>Chip</i>	AMD, Apple, Intel ou Qualcomm	EUA
3º	Produção do <i>Wafer</i> ¹ . O silício é enviado, por exemplo, dos EUA para o Japão e processado em um <i>Wafer</i>	Sumco, Shin-Etsu	Japão
4º	Produtor de maquinário que fornece máquinas complexas para planos de produção de <i>microchips</i>	ASML	Os Países Baixos
5º	<i>Foundries</i> ² que constroem os <i>microchips</i> sob pedido dos clientes	TSMC, UMC	Taiwan
6º	Conexão, carcaça e testes dos <i>chips</i>	Amkor	Singapura, Malásia
7º	Instalação, por exemplo, de <i>smartphones</i> e carros	Foxconn, Volkswagen	China, Alemanha
8º	Venda do produto finalizado	Por exemplo, Apple	Mundialmente

¹ *Wafers*: São discos nos quais os *microchips* são produzidos. Eles são redondos e consistem em silício ou germânio.

² *Foundries* (Companhias de manufaturamento): Tratam-se de empresas que atuam no setor de semicondutores e que fabricam os *chips* para outras empresas de semicondutores.

Fonte: Adaptado de: KEMPF, Tristan; BOBEK, Vito; HORVAT, Tatjana (2021).

A Tabela 1 mostra o comprometimento de diversos países e companhias multinacionais envolvidas no processo compartilhado de produção e distribuição dos semicondutores. Por ela, é possível interpretar que cada região do globo possui uma contribuição para a fabricação e distribuição dos *chips* semicondutores, fazendo com que a fabricação deste produto tenha um caráter globalizado. Portanto, analisar a relação de países que estão inseridos no mercado e que exercem grandes colaborações como os Estados Unidos, China e Taiwan talvez seja crucial para tentar entender o prolongamento da crise.

3.4 Geopolítica: O triângulo EUA, China e Taiwan

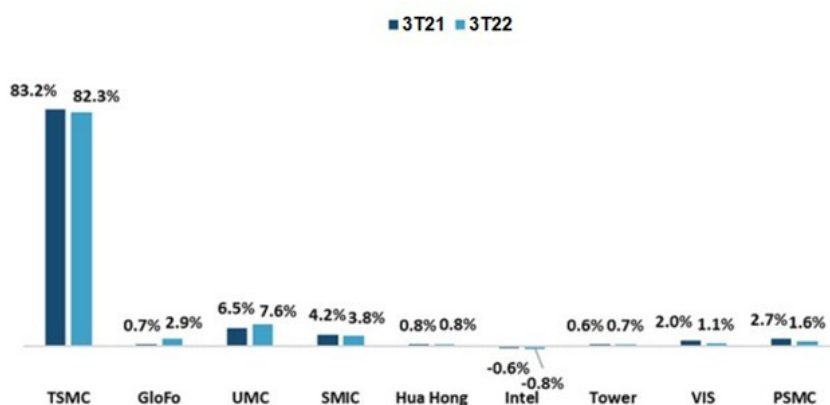
Atualmente, é discutido a existência mundial de um embate geopolítico entre os Estados Unidos da América, China e Taiwan. Essa questão pode estar contribuindo para prolongamento da crise, uma vez que envolve as maiores fabricantes de *chips* semicondutores do mundo, como a TSMC de Taiwan (Strategy Analytics, 2022).

3.4.1 Taiwan Semiconductor Manufacturing Company

Em Taiwan, existe uma fabricante de *chips* semicondutores chamada TSMC que, segundo a *Strategy Analytics*, em novembro de 2022 a companhia tinha mais de 82% dos lucros mundiais neste setor. O gráfico 1 evidencia tal dominância indicando as fatias de lucro das maiores companhias de fundição de semicondutores do mundo comparando o 3º semestre do ano de 2021 (3T21) com o 3º semestre do ano de 2022 (3T22):

Gráfico 1 - Participação do lucro operacional da fundição dos semicondutores, em porcentagem

Participação do lucro operacional da fundição de semicondutores (%): 3T22 vs 3T21



Fonte: Adaptado de: *Company Financial Reports, Strategy Analytics* (2022).

A partir do Gráfico 1, é explícito que a companhia de origem taiwanesa lidera fortemente o monopólio do setor, sendo conhecida por sua tecnologia avançada na criação de *chips* semicondutores que são aplicados em diversas outras áreas como a computação, smartphones, automobilismo, etc. Essa liderança se dá, principalmente, pelo fato desta companhia produzir *chips* cada vez menores, com uma densidade maior de transistores e com uma abrangência de mercado bem maior para empresas que projetam a arquitetura e não possuem condições para fabricar os próprios *chips*.

A TSMC foi fundada em 1987 por Morris Chang. Antes de fundar a companhia, Chang foi considerado um dos pioneiros da indústria, atuando como engenheiro eletrônico em várias empresas de semicondutores como a *Texas Instruments*, a *Fairchild Semiconductor* e a *Intel Corporation*. Tendo como base uma forte experiência no mercado, sua atuação como fundador e como chefe de todo o projeto da TSMC no decorrer dos anos contribuiu fortemente para o desenvolvimento da empresa tal como da expansão da indústria no território taiwanês.

Seus principais clientes são empresas *big techs* como *Apple*, *AMD*, *Qualcomm* e *Nvidia*. Possuindo não só fábricas em território taiwanês mas também em locais como China, EUA e Europa. Sendo considerada uma empresa de *foundry*, ela produz os *chips* para que as outras empresas possam projetar e comercializar os seus produtos. Ou seja, a marca *Apple* não fabrica o seu próprio *chip*, ela apenas projeta a sua arquitetura e, ao chegar nas etapas de fabricação e montagem, a produção é terceirizada para TSMC a qual produz os lotes do produto sob a demanda dos seus respectivos clientes.

Referente ao domínio de mercado da TSMC, ele deve se estender por mais alguns anos. Segundo o blog de notícias Voitto, a *TrendForce*, corporação taiwanesa de pesquisa de mercado e de análise de dados, investiu cerca de 171 trilhões de *wons* no ano de 2021, o que equivale cerca a de 691,3 bilhões de reais. *Chips* de 3 nanômetros já são uma realidade na companhia taiwanesa e demonstram uma significativa disparidade com relação a concorrência, pois enquanto fabricantes como a Samsung buscavam o posto de pioneira no ramo de *chips* de 3 nanômetros, a TSMC já planejava a produção de *chips* de 2 nanômetros para o ano de 2025 (Voitto, 2022).

3.4.2 China e Taiwan

A China é um país que, atualmente, é considerado como um dos grandes produtores e consumidores mundiais de *chips*, tendo em vista o seu crescimento rápido e expressivo no mercado de semicondutores. Isso se dá muito por conta dos seus fortes investimentos na área de tecnologia ao decorrer das décadas para a pesquisa e desenvolvimento tanto dos semicondutores quanto na construção de fábricas que sintetizem tal produto com qualidade e tecnologia de ponta.

Nesse sentido, uma vez que a China possui mais de 1.4 bilhões de habitantes, há uma grande demanda de consumidores em potencial e, atrelado a isso, o país permitiu a entrada de empresas estrangeiras como a TSMC, oferecendo incentivos fiscais e financeiros, fazendo com que ambos os países se beneficiem. Dentre as principais fabricantes chinesas, estão a *Semiconductor Manufacturing International Corporation*, conhecida como SMIC, que é a maior fabricante de *chips* semicondutores da China como também a quinta maior do mundo.

Por mais que os chineses sejam um agente importante no mercado por conta da sua demanda ser muito alta, o país é altamente dependente de fabricantes exteriores como a TSMC, sendo este o principal motivo para a terceirização e para a abertura do território chinês para outras fabricantes internacionais.

Contudo, por mais que a China ofereça condições para a TSMC prosperar à curto prazo em território chinês por meio de subsídios, a China é um país que possui fortes tensões políticas e culturais com Taiwan. Isso acontece porque uma porção significativa dos chineses ainda consideram Taiwan como parte do território chinês e, portanto, não o consideram como país independente. Dessa forma, existe uma tensão política entre estes dois territórios, envolvendo até mesmo possibilidade da China invadir Taiwan, em projeções críticas.

Em contrapartida, a China não mede esforços nos investimentos para poder crescer mais ainda na indústria e se tornar independente das gigantes companhias taiwanesas de tecnologia. A Tabela 2 indica o processo de criação do ecossistema tecnológico chinês no decorrer dos anos. Ela especifica algumas das principais políticas que impactaram os chineses e que ilustram a ascensão de tal país na indústria tecnológica nacional.

Tabela 2 - Políticas governamentais chinesas que ajudaram nos avanços tecnológicos no decorrer das décadas

Anos	Evento
De 1990 até 2000	Planejamento estadual com foco para a indústria.
1991	Desenvolvimento do documento do Oitavo Plano Quinquenal (FYP) onde “a principal tarefa” do estado era o desenvolvimento da indústria.
De 2000 até 2013	Primeiras fabricantes Chinesas. <i>Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)</i> .
2014	- Divulgação das Diretrizes Nacionais de Desenvolvimento da Indústria de Circuitos Integrados. - Criação do Fundo Nacional de Investimento do IC.
2015	A iniciativa <i>Made in China 2025</i> (MIC2025).
2018	Relatório da seção 301 do Representante de Comércio dos EUA (USTR) sobre as políticas comerciais da China em março de 2018, início da guerra comercial entre China e EUA. As autoridades chinesas aumentaram o seu foco em tornar a China menos dependente das empresas que atualmente lideram o mercado e em preparar o mercado interno tendo como base os seus recursos para o desenvolvimento da cadeia de abastecimento local.

Fonte: Adaptado de: MARINOVA, Galia I.; BITRI, Aida K (2021).

Na tabela acima, é perceptível que este processo não começou de forma repentina. Desde os anos 90, já haviam sido iniciados os primeiros planejamentos do estado para a implementação deste mercado em território nacional. Evidenciando que o surgimento da China como um dos países relevantes para a indústria dos semicondutores não ocorreu de forma súbita, mas sim por meio de longas décadas até chegarem no nível atual, por mais que a tabela se limite ao ano de 2018.

É evidente o foco chinês para se tornar independente de importações tecnológicas vindas de países exteriores, principalmente de Taiwan. Em contrapartida, Chris Miller² mencionou o forte papel de Taiwan na indústria de *chips* mundial, incluindo a chinesa, durante uma entrevista dada para a CSIS³. Segundo ele, Taiwan produz 90% dos *chips* de processador mais avançados do mundo e mais de um terço do poder de computação do mundo vem de *chips* feitos em Taiwan. O que deixa evidente a dependência tecnológica não só de empresas chinesas, mas também do mundo inteiro.

² Professor de história internacional associado na *Fletcher School of Law and Diplomacy da Tufts University*, professor visitante de Jeane Kirkpatrick no *American Enterprise Institute* e também autor do livro “*Chip War: The Fight For The World's Most Critical Technology*”.

³ *Center for Strategic & International Studies*. É uma organização bipartidária e sem fins lucrativos de pesquisa política, dedicada a desenvolver ideias práticas para enfrentar os maiores desafios do mundo.

3.4.3 EUA e China

Assim como em outros setores, há também uma forte tensão entre os Estados Unidos da América e a China no setor de semicondutores em específico. Em um panorama geral, os norte-americanos acusam os chineses de não respeitarem a propriedade intelectual das suas ideias e dos seus produtos. Essas especulações de violação se dão por meio de supostas infrações de patentes e de direitos autorais por parte das empresas chinesas.

Antes mesmo da pandemia se estender para o mundo, os Estados Unidos acusaram a empresa multinacional de tecnologia chinesa *Huawei* de roubar tecnologia de empresas norte americanas (*Financial Times*, 2020). Segundo os promotores estadunidenses, o grupo chinês de equipamentos de telecomunicações teria fraudado comercialmente o sistema, passando por cima de sanções impostas pelo seu concorrente. Os impactos desta acusação foram decisivos para que países como a Grã-Bretanha e a Polônia também excluíssem a *Huawei* de seus planos de 5G. A Alemanha e outras federações também reforçaram as barreiras de entrada no mercado (*Gladstone*, 2020).

Por outro lado, a China consegue produzir inúmeros produtos tecnológicos que tem como base os *chips* semicondutores em alto nível tecnológico e de alta escala devido a sua mão de obra abundante. Consequentemente, eles vendem os produtos por preços mais baixos fazendo com que vários países optem pela importação de produtos de origem chinesa do que estadunidense.

Um bom exemplo destes países importadores é o Brasil, que hoje tem como o seu maior parceiro comercial a China, representando mais de 21,72% das importações comerciais, segundo a *TAC Corporation*, estabelecendo lojas digitais e produtos de origem chinesa em território brasileiro como a *Shopee*, *Shein* e *Ali Express*. Isto posto, produtos eletrônicos com base nos *chips* semicondutores de origem chinesa, como os smartphones da *Xiaomi*, conquistaram certa notoriedade no mercado de celulares no Brasil recentemente.

Em outubro de 2022, segundo a *CNN Business*, o governo Biden revelou um conjunto de controles de exportação que proíbem empresas chinesas de comprar *chips* avançados e equipamentos de fabricação sem licença. As autoridades americanas comentaram a medida como um meio de proteger os interesses de segurança nacional.

Para Nir Kshetri⁴, estas restrições impostas pelos Estados Unidos fazem com que empresas americanas como a *Nvidia* e *AMD* interrompam o fornecimento de equipamentos para fabricantes chinesas, a fim de evitar a produção de *chips* avançados chineses. Até mesmo cidadãos americanos e portadores do *green card* foram proibidos de trabalhar em tecnologias que envolvessem *chips* para entidades chinesas, desde o governo até fabricantes, montadoras e empresas privadas. Tornando assim, perceptível a criação de uma barreira socioeconômica estabelecida pelos países globalizados que estão travando esta batalha.

Como resposta à estas restrições comerciais, a potência asiática implementou em abril de 2023, restrições referentes ao Gálio e ao Germânio. Dessa forma, a China encontra uma boa resposta para as restrições estadunidenses, uma vez que ela é a maior produtora mundial de Gálio e Germânio, de acordo com *US GEOLOGICAL SURVEY*. Estes dois elementos químicos são essenciais para a indústria dos semicondutores. De acordo com a *CNN Business*, o Gálio é comumente utilizado para produzir os compostos que são materiais-chave para os semicondutores e o Germânio é utilizado na produção de fibras ópticas que podem transmitir luz e dados eletrônicos, sendo tal país responsável por 98% da produção mundial de gálio e 68% da produção de refinarias de germânio (*CNN Business*, 2023). O que demonstra um nível considerável de relevância que os chineses possuem no mercado de semicondutores.

Dados os alegados motivos, os Estados Unidos realizam sanções contra a China com o intuito de inibir os seus crescentes avanços em setores como da inteligência artificial, da computação, militar e, conseqüentemente, eles influenciam diretamente nas relações entre Taiwan e China. Tais movimentos implicam em dizer que os americanos de certa forma temem uma possível perda de mercado para os chineses na área da tecnologia.

O país norte-americano está totalmente ciente sobre a tensão política entre China e Taiwan e, por conta disso, acabam gerando sanções e outros artifícios para inibir a distribuição de *chips* da China para os demais compradores do mundo. Até mesmo a própria TSMC, ficou proibida de produzir *microchips* mais sofisticados para a China

⁴ Professor da *Bryan School of Business and Economics*, da Universidade da Carolina do Norte e autor artigo “*The Economics of Chip War: China’s Struggle to Develop the Semiconductor Industry*”.

segundo o próprio Nir Kshetri, prejudicando assim uma das maiores redes de mercado do mundo com relação aos *chips* semicondutores.

3.4.4 Chip War

Chip War é o termo dado ao conflito geopolítico que se intensificou após a pandemia, em meados de 2022. Sua origem está relacionada as restrições impostas pelos Estados Unidos da América sobre a China nos setores de tecnologia relacionados à fabricação de semicondutores. Trata-se de uma guerra fria moderna, similar a corrida armamentista, cujo objetivo final é o domínio da indústria dos semicondutores, responsável pela criação dos *chips* de processadores e de computadores mais modernos da atualidade e estão inclusos, desde a indústria automotiva até a fabricação de armas de fogo e aeronaves.

Como já mencionado acima, as *supply chains* são os procedimentos realizados em diferentes companhias de vários países do mundo. Isso faz com que qualquer problema relacionado às importações ou exportações de certos materiais, sejam estes gerados de forma não planejada como foi a pandemia de COVID-19 ou de forma planejada a partir de sanções governamentais, impactam diretamente nas cadeias de produção como um todo. Prejudicando não só os países envolvidos diretamente no mercado, como terceiros.

Em um artigo publicado em 20 de março de 2021, Kempf, Bobek e Horvat afirmam que em 2018 o governo Trump introduziu tarifas de US\$ 250 bilhões em centenas de produtos chineses importados para os EUA. Como resultado, a China revidou com tarifas sobre US\$ 110 bilhões em produtos americanos. Isso mostra que a “guerra dos semicondutores” tem uma origem que vem antes do cenário pandêmico explodir, quando o assunto pautado não tinha um foco específico no material semicondutor.

Atualmente, o material semicondutor já não é mais visto com um simples componente de um celular ou de um computador pessoal, mas sim como algo similar à uma *commodity*, usado para a criação de satélites, antenas de rádio, armas e transportes militares, como aviões-caça da aeronáutica. Pouco a pouco, o *chip* semicondutor está virando uma palavra sinônima de “poder” e enquanto existem potências mundiais que já tentam manter a liderança nesse mercado, existem outros países em ascensão, se destacando com o passar do tempo e começando a confrontar com as lideranças.

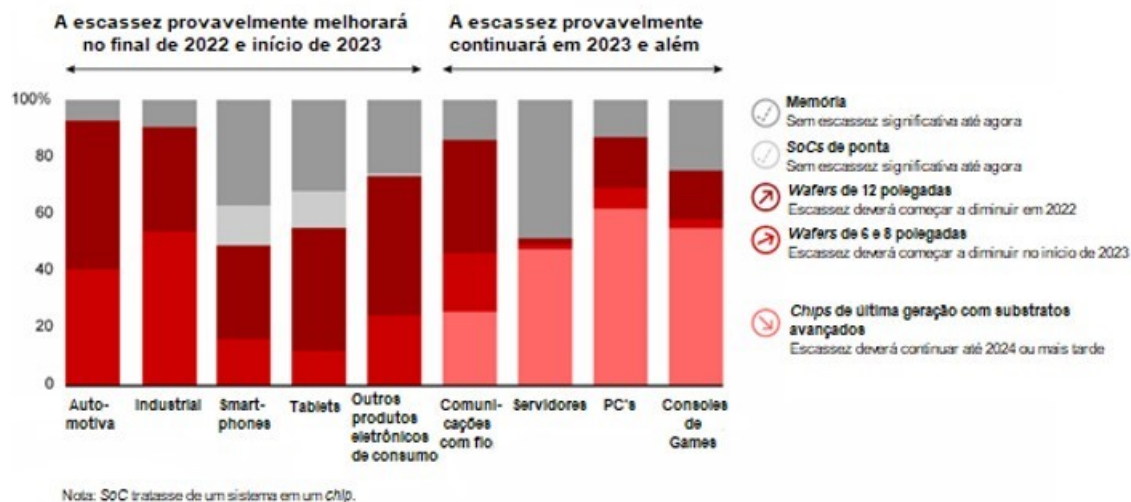
4 ANÁLISE FINAL

Prever o que irá acontecer no cenário dos *chips* semicondutores como um todo nos próximos meses ou anos é uma tarefa árdua que até mesmo os pesquisadores da área possuem dificuldades para indicar um trimestre ou semestre do ano em específico que a crise será contida. À vista disso, o principal ponto que dificulta a criação desta perspectiva é a quantidade numerosa de variáveis que impactam nas estatísticas. Como já foi comentado no texto acima, alguns destes fatores são a pandemia ocasionada pelo vírus SARS-COV-2 e a ascensão de conflitos geopolíticos ocasionados pela *Chip War*. Contudo, também ocorreram incidentes mais recentes relacionados a problemas climáticos como a seca que ocorreu em Taiwan no primeiro semestre de 2021. Essa seca teve um impacto negativo em várias linhas de produção da TSMC devido ao surgimento de problemas de refrigeração ocasionados pela falta de água na região (Canaltech, 2021).

4.1 As indústrias afetadas pela crise não terão a mesma perspectiva

Dada a complexidade de fatores que afetam as projeções, torna-se necessário primeiramente entender que a escassez de *chips* ocasionada pela crise não terminará de forma linear para todas as indústrias secundárias afetadas. Isso acontece por que cada indústria desenvolveu formas específicas de contornar os problemas de demanda dos semicondutores com o passar do tempo. Dessa forma, cada nicho está buscando formas diferentes de contornar a crise, uma vez que por mais que os *chips* se fazem presentes em todas estas indústrias, o seu grau de implementação e de importância varia, como mostra o Gráfico 2. Nele é apresentado como os *chips* semicondutores são utilizados nas indústrias de diferentes níveis qualidade, sendo desde *chips* que podem ser substituídos ou trocadas pois não há escassez para eles até *chips* de ponta que se tornaram inacessíveis por conta da crise dos semicondutores.

Gráfico 2 - Semicondutores usados pelas indústrias

Semicondutores usados pelas indústrias

Fonte: Adaptado de: Gartner; Bain analysis (2022).

Portanto, é possível observar no Gráfico 2 que os setores automotivo e industrial estão lidando muito melhor com a escassez do que setores voltados à tecnologia de ponta, como computadores de servidor, pessoais ou até mesmo de consoles de videogames. Isso se dá por que a escassez acaba se tornando diretamente proporcional com relação a produção de *chips* semicondutores de ponta, que demandam de uma rede de fornecimentos ainda mais delicada do que os convencionais e que vem sendo interferida com frequência pelas variáveis recém citadas.

Afinal, os chamados “supercomputadores” de servidores, necessitam de tecnologia de ponta para armazenamento e transferência de dados em níveis de processamento extremamente elevados. Os próprios consoles de videogame priorizam tempos de resposta baixíssimos para os jogos, juntamente com a integração de interfaces gráficas vindas de unidades de *chips* gráficos de ponta. Nesse sentido, os governos das nações envolvidas na *Chip War* estão desejando cada vez mais esta matéria-prima e, por isso, estão injetando recursos para o desenvolvimento da indústria por meio de novas fábricas montadoras mais modernas de *chips*.

4.2 Os países globalizados investindo nos semicondutores

Afim de contornar a escassez de *chips* semicondutores de ponta, os países que participam ativamente do mercado, seja exportando ou importando, estão realizando investimentos a longo prazo em suas respectivas indústrias nacionais de tecnologia.

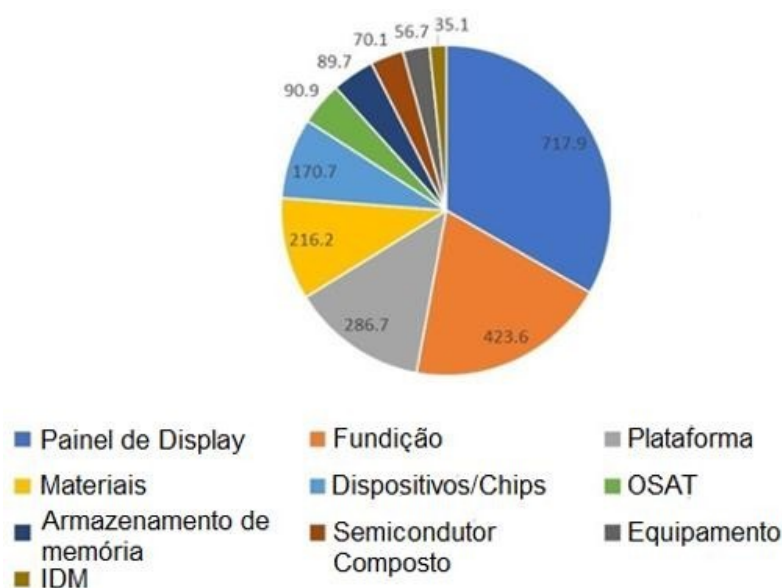
A comissão europeia reservou 15 bilhões de euros para projetos públicos e privados de semicondutores até 2030 (*Reuters*, 2023). Na América do Norte, o governo Biden aprovou a lei *CHIPS*, responsável por injetar mais de 52 bilhões de dólares para fabricantes nativas (CNN Brasil, 2022). Em dezembro de 2022, a TSMC se comprometeu de investir 40 bilhões de dólares para construir uma fábrica de semicondutores no Arizona, em solo americano. Taiwan, Índia e Coreia do Sul, ofereceram incentivos fiscais para o estabelecimento de fábricas montadoras de *chips* semicondutores em solo nacional, com o intuito de aumentar a produção doméstica nacional (*Reuters*, 2023).

São notáveis os sólidos investimentos que os países estão implementando nessa indústria. Isso faz com que as futuras projeções das fatias de mercado dos semicondutores acabem ficando ainda mais complicadas de serem interpretadas, uma vez que a curva de evolução que cada país terá no setor, será determinada por requisitos já atendidos ou não pelos países que estão investindo, como a mão de obra qualificada já existente em território nacional e a estrutura de fabricação e montagem pré-estabelecida.

Nesse sentido, a China ganha protagonismo sobre os demais países com relação à curva de evolução justamente pelo planejamento a longo prazo que eles começaram a implementar décadas atrás, como mostra a Tabela 2 na seção 3.4.2 e, atrelado a isso, os chineses continuam investindo intensamente no setor de tecnologia nacional. Em um recente relatório da *JW Consulting*, foram registrados 742 projetos de investimentos em semicondutores em 25 províncias e regiões chinesas dentre os anos de 2021 e 2022. Foram mais de CNY⁵ 2,1 trilhões (aproximadamente U\$290,8 bilhões) investidos em projetos para dispositivos e *chips*, sendo cerca de um terço, dedicado apenas para equipamentos e materiais semicondutores (*DIGITIMES Asia*, 2023). O Gráfico 3 apresenta o capital investido destes 742 projetos, divididos por setores da tecnologia:

⁵ *Chinese Yuan*. Trata-se da abreviação da moeda oficial da China, a sigla é frequentemente utilizada para facilitar o comércio da moeda e identifica-la de forma mais rápida.

Gráfico 3 - Investimentos em semicondutores na China, em bilhões de CNY



Fonte: Adaptado de: *Ijiwei* (2023).

4.3 Atrasos das novas fábricas

Grande parte dos investimentos dos países vistos logo acima está envolta na construção de novas fábricas montadoras de *chips*. Sendo estas capazes de produzir unidades de circuitos integrados de ponta, a fim de contornar a escassez e, para até alguns casos, suavizar a dependência do país em específico com as demais nações globalizadas que possuem uma dominância maior no mercado. É possível ter uma referência com relação aos gastos de tal investimento analisando o modelo de fábricas de semicondutores da *Intel Corporation*.

As fábricas de semicondutores incluem 1200 ferramentas que custam valores multimilionários de dólares com 1500 peças dos mais diversos equipamentos utilizados no processo. É um investimento que leva cerca de 3 anos, custando cerca de 10 bilhões de dólares e 6 mil trabalhadores envolvidos na construção até o projeto ser concluído e apto para a fabricação (*Intel Corporation*).

Além destas informações relatadas, também entram no cálculo a quantidade de técnicos e engenheiros envolvidos no processo de fabricação tal como para operações que envolvam a manutenção do local. Como também os gastos envolvendo o abastecimento energético e da água a ser utilizada como resfriamento, lavagem e limpeza. A Figura 4 exibe o modelo de uma fábrica de semicondutores da Intel que está atualmente em exibição no museu da companhia:

Figura 4 - Modelo de uma fábrica da Intel distribuído entre níveis



Fonte: What does it take to build a fab? (2023)

Além disso, a construção das fábricas está sujeita a atrasos. Em um recente relatório da *Reuters*, foi apontado que a gigante taiwanesa TSMC, enfrenta atrasos com a sua fábrica de US\$ 40 bilhões, no Arizona. Inicialmente, estava sendo planejado para que a fábrica fosse capaz de produzir *chips* de 4 nanômetros para o ano de 2023. Todavia, por motivos que envolvem a escassez de trabalhadores qualificados na área, a obra sofreu um atraso considerável e agora está sendo prevista para 2025 (*Sourcengine*, 2023).

Fica explícito o elevado grau de complexidade para a construção destas fábricas dados os altos valores de investimento associados ao longo tempo de espera para a conclusão destas obras. Como consequência, acaba refletindo no prolongamento da escassez dos *chips*, uma vez que as atuais linhas de produção de *chips* de ponta não estão sendo suficientes para suprir a demanda atual.

5 CONCLUSÃO

Vale salientar inicialmente que os atrasos das fábricas de *chips* semicondutores tem um forte agravante chamado “mão de obra qualificada”. Se pararmos para refletir, veremos que não se trata da escassez do material ou de trabalhadores qualificados. A principal razão está relacionada com o fato de que os países estão começando a adotar métodos mais agressivos para ganhar fatias maiores do mercado, uma vez que, em países como EUA, cidadãos, residentes e titulares do *green card* estão proibidos de trabalhar em empresas chinesas de semicondutores devido a implementação da lei *CHIPS* (CNN Brasil, 2022).

Caso outros países que são referência no mercado como China, Taiwan, Japão e Coreia do Sul adotem comportamentos similares, as futuras fábricas montadoras encontrarão severas dificuldades para desenvolver unidades de circuitos integrados mais avançados, tendo em mente o desafio que será montar uma equipe de profissionais altamente capacitados e que todos sejam de uma nacionalidade conveniente para o país que está adotando tal projeto.

Dessa forma, é possível concluir que estes métodos mais agressivos são oriundos dos conflitos geopolíticos entre os países globalizados que buscam uma parcela maior do mercado de semicondutores e, como consequência, uma vez que estes conflitos estejam relacionados com a *Chip War*, é possível afirmar que ela impacta bastante no atraso da conclusão das fábricas e, dessa forma, na produção de novos *chips* semicondutores de ponta que abasteceriam o mercado e diminuiriam a escassez de *chips*.

Como vimos na seção 4.1, essa escassez de *chips* está relacionada com o grau de eficiência e de modernidade do *chip*. Ou seja, como cada indústria secundária lida com quantidades diferentes de *chips* variados que vão dos mais comuns até os mais modernos, estas indústrias terão retomadas diferentes com relação a crise. Nesse sentido, dificulta ainda mais a projeção do cenário global da diminuição da crise, uma vez que a análise de retomada das indústrias não será feita de forma linear.

Por enquanto, ainda não há uma resposta definitiva para a escassez de *chips* semicondutores no cenário global. As expectativas estão para a chegada das futuras fábricas que estão com projeções de conclusão para 2025, como a da TSMC no Arizona

(Reuters, 2023) caso não ocorram agravantes. Vale salientar que a chegada das novas fábricas montadoras não são uma certeza definitiva que a crise irá diminuir. Trata-se apenas de um indicativo que terão mais *chips* semicondutores de ponta no mercado.

O que provavelmente irá determinar se a crise irá minguar estará relacionado ao nível de estabilidade das *supply chains*. Uma vez que as redes de fornecimento para a fabricação de tal material no mercado são um reflexo das relações entre os países líderes do mercado de semicondutores. Portanto, uma vez que o andamento da *Chip War* reflete diretamente nas *supply chains*, tornasse necessário termos ciência de que os impactos oriundos de conflitos geopolíticos de países estrangeiros ecoam também sobre todos os países que não estão envolvidos, tendo como base o mundo globalizado que estamos inseridos, juntamente com a noção do quão importante estas pequenas peças semicondutoras são para o nosso cotidiano.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ângelo Eduardo Battistini Marques; Eduardo Cesar Alves Cruz; Salomão Choueri Jr. Rezende, Sergio M. **A Física dos Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. Pernambuco: UFPE, 1996.

Marques, Ângelo Eduardo, B. et al. **Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores**. Disponível em: Minha Biblioteca, (13th edição). Editora Saraiva, 1998.

Boylestad, Robert; Nashelsky, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. 5ta. Ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

OMS declara fim da Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional referente à COVID-19. **OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**, 2023. Disponível em: [https://www.paho.org/pt/noticias/5-5-2023-oms-declara-fim-da-emergencia-saude-publica-importancia-internacional-referente#:~:text=Bras%C3%ADlia%2C%205%20de%20maio%20de,\)%20referente%20%C3%A0%20COVID%2D19.](https://www.paho.org/pt/noticias/5-5-2023-oms-declara-fim-da-emergencia-saude-publica-importancia-internacional-referente#:~:text=Bras%C3%ADlia%2C%205%20de%20maio%20de,)%20referente%20%C3%A0%20COVID%2D19.). Acesso em: 23 de janeiro de 2023.

William Shockley and the Transistor. **National Center for Biotechnology Information**, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3498287/>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2023.

YOUNGBLOOD, Tim. Jack Kilby and the first World's First Integrated Circuit. **All About Circuits**, 16 de set. de 2017. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/news/jack-kilby-and-the-world-first-integrated-circuit/>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2023.

KEMPF, Tristan; BOBEK, Vito; HORVAT, Tatjana. The impacts of the American-Chinese trade war and Covid-19 pandemic on Taiwan's sales in semiconductor industry. *International Journal of Economics and Finance*, v. 13, n. 4, p. 62-72, 2021.

TSMC é a grande líder dos chips com 82% dos lucros a nível global. **PPLWARE.COM**, 22 de nov. de 2022. Disponível em: <https://pplware.sapo.pt/gadgets/hardware/tsmc-e-a-grande-lider-dos-chips-com-82-dos-lucros-a-nivel-global/>. Acesso em: 29 de junho de 2023.

MARINOVA, Galia I.; BITRI, Aida K. Challenges and opportunities for semiconductor and electronic design automation industry in post-Covid-19 years. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. p. 012036.

MILLER, Chris. Chip war: the fight for the world's most critical technology. Simon and Schuster, 2022.

Center for Strategic & International Studies. Book Event: Chris Miller's "Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology". YouTube, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=v5yztfMWXqA&list=LL&index=8&t=464s>. Acesso em: 28 de julho de 2023.

GOMES, Marcela. Chips de 3 nanômetros já são uma realidade. Entenda! **Voitto**, 14 de jul. de 2022. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/samsung-produz-chip-de-tres-nanometros>. Acesso em: 28 de julho de 2023.

HE, Laura. China just played a trump card in the chip war. Are more export curbs coming? **CNN Business**, 5 de jul. de 2023. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2023/07/04/tech/china-export-controls-semiconductor-war-explainer-intl-hnk/index.html>. Acesso em: 29 junho de 2023.

RUPP, Thomas M.; RISTIC, Mihailo. Fine planning for supply chains in semiconductor manufacture. Journal of materials processing technology, v. 107, n. 1-3, p. 390-397, 2000.

HANDWIKI, Liu. Czochralski Process. **Encyclopedia**, 24 de novembro de 2022. Disponível em: <https://encyclopedia.pub/entry/36346>. Acesso em: 23 de setembro de 2023.

JUNQUEIRA, Felipe. Seca em Taiwan pode tornar escassez de chips ainda pior do que o esperado. **Canaltech**, 4 de maio de 2021. Disponível em: <https://canaltech.com.br/hardware/seca-em-taiwan-pode-tornar-escassez-de-chips-ainda-pior-do-que-o-esperado-184120/>. Acesso em: 14 de setembro de 2023.

HOECKER, Anne; HANBURY, Peter; HEIDER, Hans; ZOU, Sophia. When will the Chip Shortage End? **Bain & Company**, 19 de setembro de 2022. Disponível em: <https://www.bain.com/insights/chip-shortage-end-tech-report-2022/>. Acesso em: 19 de setembro de 2023.

ISIK, O. et al. International Chip Crisis: Country Approaches. Proceedings of IConSES, 2023.

Chipmakers' plans for factories in Europe, US and Asia. **Reuters**, 1 de agosto de 2023. Technology. Disponível em: <https://www.reuters.com/technology/chipmakers-plans-factories-europe-2023-02-16/>. Acesso em: 19 de setembro de 2023.

NUSSEY, Sam; POTKIN, Fanny; STERLING, Toby. Exclusive: TSMC tells vendors to delay chip equipment deliveries, sources say. **Reuters**, 15 de setembro de 2023. Technology. Disponível em: <https://www.reuters.com/technology/tsmc-tells-vendors-delay-chip-equipment-deliveries-sources-2023-09-15/>. Acesso em: 18 de setembro de 2023.

What Does it Take to Build a Fab? **Intel Corporation**. Disponível em: <https://www.intel.com/content/www/us/en/corporate/usa-chipmaking/news-and-resources/what-does-it-take-to-build-a-fab.html>. Acesso em: 14 de setembro de 2023.

THORBECKE, Catherine. EUA estão investindo US\$ 52 bilhões para impulsionar fabricação de chips no país. **CNN Brasil**, 21 de outubro de 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/eua-estao-investindo-us-52-bilhoes-para-impulsionar-fabricacao-de-chips-no-pais/>. Acesso em: 14 de setembro de 2023.

Semiconductor Industry News – September 2023 Update. **Sourcengine**, 20 de setembro de 2023. Industry News. Disponível em: <https://www.sourcengine.com/blog/semiconductor-news>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

OLSON, Stephen. Will US semiconductor restrictions on China backfire? **Hinrich Foundation**, 13 de junho de 2023. Trade and Technology. Disponível em: <https://www.hinrichfoundation.com/research/article/tech/will-us-semiconductor-restrictions-on-china-backfire/>. Acesso em: 18 de setembro de 2023.

LIN, Judy. China invested US\$290.8 billion in semiconductor projects between 2021-2022. **DIGITIMES Asia**, Taipei, 27 de junho de 2023. Semiconductors. Disponível em: <https://www.digitimes.com/news/a20230627VL205/china-ic-manufacturing-semiconductor-chips+components.html#:~:text=China%20invested%20US%24290.8%20billion%20in>

[%20semiconductor%20projects%20between%202021%2D2022](#). Acesso em: 27 de setembro de 2023.

PRADO, André. Qual a diferença entre ASIC, ASSP, Soc e FPGA? Embarcados, 8 de setembro de 2014. Disponível em: <https://embarcados.com.br/asic-ssp-soc-fpga/#ASICs>. Acesso em: 30 de setembro de 2023.