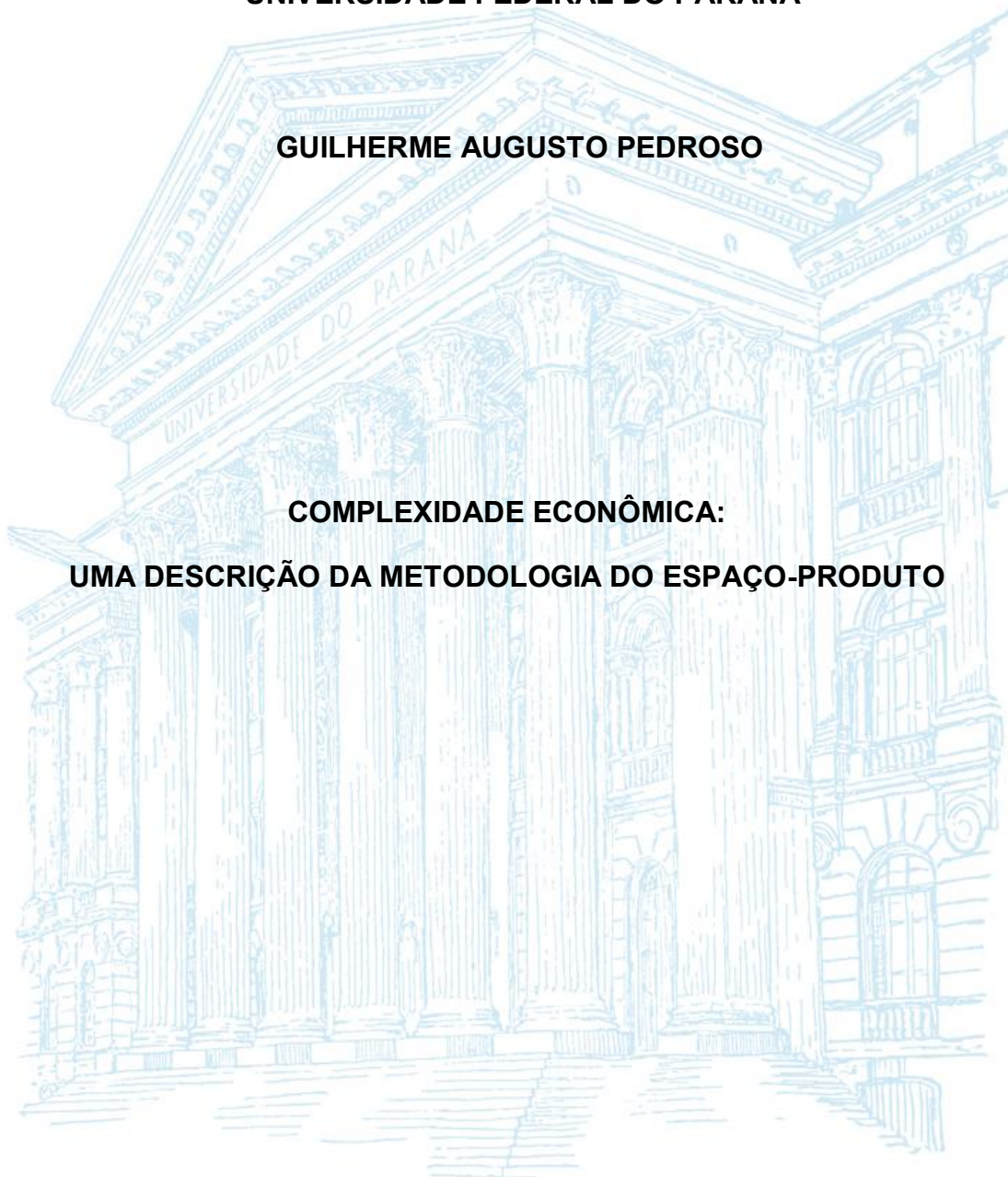


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME AUGUSTO PEDROSO

**COMPLEXIDADE ECONÔMICA:
UMA DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DO ESPAÇO-PRODUTO**



CURITIBA

2024

GUILHERME AUGUSTO PEDROSO

COMPLEXIDADE ECONÔMICA:
UMA DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DO ESPAÇO-PRODUTO

Dissertação apresentada ao curso de graduação em Ciências Econômicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título em bacharel em economia.

Orientador: Francisco Adilson Gabardo

CURITIBA

2024

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar o conceito de complexidade de exportação com base na metodologia do *Product Space*, desenvolvida por Ricardo Hausmann e César Hidalgo. Esta metodologia promove uma abordagem para compreender as relações entre produtos e economias. O *Product Space* é uma ferramenta que identifica oportunidades de diversificação econômica, mapeando produtos com base em suas similaridades. Por exemplo, se um país já produz um determinado produto, pode ser mais fácil diversificar para produtos relacionados, como um país que exporta café e pode explorar a exportação de chá ou cacau. Além disso, o *Product Space* revela lacunas produtivas, indicando setores não explorados que podem ser oportunidades de desenvolvimento, como um país próximo ao setor de eletrônicos que ainda não os produz. A posição de um país no *Product Space* está correlacionada com o seu potencial de crescimento econômico. Movimentos em direção a produtos mais complexos, como tecnologias avançadas, indicam um desenvolvimento positivo. Ademais, o *Product Space* pode orientar políticas industriais e de inovação, auxiliando os governos a identificar e investir em setores promissores. Portanto, a metodologia de Ricardo Hausmann e César Hidalgo pode ser útil em diversos cenários, como na diversificação econômica. Ela ajuda os países a identificar produtos relacionados aos que já produzem, facilitando a expansão para novos mercados e reduzindo a dependência de um único setor. O *Product Space* também revela lacunas na estrutura produtiva, mostrando setores ainda não explorados que podem impulsionar novos investimentos. Além disso, essa metodologia está vinculada às políticas públicas, informando decisões de políticas industriais e de inovação. Isso permite que os governos apoiem setores promissores e incentivem pesquisas, gerando um ambiente econômico mais competitivo e diversificado. Indubitavelmente, essa metodologia pode ser explorada e utilizada como ferramenta para tomar melhores decisões econômicas em diversos cenários.

Palavras-chave: Product Space, complexidade de exportação, diversificação econômica, Ricardo Hausmann, César Hidalgo, políticas industriais, inovação

ABSTRACT

The present work aims to introduce the concept of export complexity based on the Product Space methodology developed by Ricardo Hausmann and César Hidalgo. This methodology provides an approach to understanding the relationships between products and economies. The Product Space is a tool that identifies opportunities for economic diversification by mapping products based on their similarities. For instance, if a country already produces a certain product, it may find it easier to diversify into related products, such as a country that exports coffee exploring the export of tea or cocoa. Additionally, the Product Space highlights productive gaps, pointing to unexplored sectors that could represent development opportunities, such as a country near the electronics sector that has not yet entered that market. A country's position in the Product Space correlates with its potential for economic growth. Shifts toward more complex products, such as advanced technologies, indicate positive development. Moreover, the Product Space can guide industrial and innovation policies, helping governments identify and invest in promising sectors. Therefore, the methodology developed by Ricardo Hausmann and César Hidalgo can be valuable in various scenarios, such as economic diversification. It helps countries identify products related to those they already produce, facilitating expansion into new markets and reducing dependence on a single sector. The Product Space also uncovers gaps in the productive structure, highlighting unexplored sectors that could drive new investments. Furthermore, this methodology is closely linked to public policies, informing decisions on industrial and innovation policies. It enables governments to support promising sectors and foster research, creating a more competitive and diversified economic environment. Undoubtedly, this methodology can be explored and used as a tool for better economic decision-making in various contexts.

Keywords: Product Space, export complexity, economic diversification, Ricardo Hausmann, César Hidalgo, industrial policies, innovation.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	7
2. O Método das Reflexões.....	11
2.1 Cálculo Para Medir a Ubiquidade e Diversidade.....	11
2.2 Índice de Complexidade Econômica (ICE).....	16
2.3 Metodologia Product Space.....	16
2.4 Como Saber Qual Produto é Mais Tecnológico.....	22
3. Estrutura do Product Space.....	24
4. Economia Tradicional e a Complexidade Econômica.....	26
5. O Conceito de Product Space.....	30
5.1 Relação Product Space e VCR.....	31
5.2 Capabilities.....	33
6. Vantagem Comparativa Revelada.....	34
7. Complexidade Econômica e Funções de Produção.....	40
8. Índice de Complexidade Econômica (Exportações por Países)	41
9. Diversidade e Ubiquidade com um Abordagem Biológica.....	46
10. Conclusão.....	48
Referências.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Medidas de Ubiquidade e Diversidade.....	13
Figura 2 - Rede de Complexidade Econômica.....	20
Figura 3 - Rede Espaço Produto.....	22
Figura 4 - Índice de Complexidade Econômica de Exportação dos Países.....	43
Figura 5 - O Impacto da Complexidade Econômica no PIB per capita e no Crescimento.....	43

1. INTRODUÇÃO

Ao abordar a complexidade econômica, é inevitável mencionar a divisão do trabalho proposta por Adam Smith, onde a riqueza está intrinsecamente ligada à divisão do trabalho. À medida que indivíduos e empresas se especializam em diferentes atividades, a eficiência econômica aumenta. Sob essa perspectiva, o desenvolvimento está associado a um aumento no número de atividades individuais e à complexidade que emerge das interações entre elas.

O Espaço-Produto, uma metodologia inovadora proposta por Ricardo Hausmann e César Hidalgo, oferece uma abordagem distinta para entender as relações entre produtos e economias. Esta ferramenta analítica mapeia a produção econômica com base nas similaridades e conexões entre diferentes produtos, permitindo uma visualização mais clara das oportunidades e desafios econômicos enfrentados pelos países (Freitas, 2018). A relevância desta metodologia está na sua capacidade de identificar oportunidades de diversificação econômica, revelar lacunas na estrutura produtiva, prever o crescimento econômico e informar políticas industriais e de inovação.

Ricardo Hausmann e César Hidalgo, juntamente com Bailey Klinger e Albert-László Barabási, descrevem uma metodologia que sistematiza a ideia de similaridade entre produtos no contexto da economia global. Este conceito de Espaço-Produto foi introduzido pela primeira vez no artigo “The Product Space Conditions the Development of Nations”. Esta ferramenta analítica ajuda a entender por que alguns países experimentam crescimento econômico estável, enquanto outros permanecem estagnados (Freitas, 2018).

A análise revela que economias complexas têm a capacidade de combinar grandes quantidades de conhecimento em extensas redes de pessoas, gerando um conjunto diversificado de produtos intensivos em conhecimento. Economias mais simples, em contraste, possuem uma base estreita de conhecimento produtivo e produzem menos produtos, que são mais simples e exigem redes menores (Hausmann et al., 2013).

Portanto, é necessária uma transformação estrutural para alcançar o crescimento econômico, passando de atividades simples e de baixa tecnologia para atividades complexas e de alta tecnologia. Baseando-se nessa divisão de complexidade, Hidalgo e Hausmann (2009) criaram um método para capturar a

complexidade de produtos e países observando o padrão global de exportações. A essência é que produtos complexos são raros (baixa ubiquidade) e encontrados em locais que produzem uma grande variedade de produtos (alta diversidade). Um produto é considerado complexo se for produzido por países altamente diversificados que, por sua vez, produzem produtos raros. Países com economias complexas produzem muitos produtos, especialmente aqueles relativamente raros e de baixa ubiquidade.

Aplicando essa metodologia a países com grande heterogeneidade e em desenvolvimento, como o Brasil, observamos profundas e persistentes desigualdades regionais. A metodologia permite identificar que as regiões Sul e Sudeste concentram a maior parte da atividade econômica e da renda, apresentando melhores níveis de educação, saúde, infraestrutura e qualidade de vida. Isso se deve à vantagem comparativa que essas regiões possuem em relação às outras regiões do país (Freitas, 2018).

Em contraste, outras regiões enfrentam dificuldades significativas para alcançar um desenvolvimento econômico semelhante. Regiões com vantagens comparativas têm facilidade ao acesso a outros mercados, sendo mais fácil a entrada para a produção de novos produtos. Essa complexidade econômica está associada ao conjunto de habilidades e conhecimentos disponíveis em uma sociedade. Economias complexas produzem uma variedade diversificada de bens e serviços sofisticados (Freitas, 2018).

Desse modo, o presente trabalho busca contextualizar e esclarecer como produtos e países detêm determinada complexidade econômica, com a exploração da metodologia do Espaço-Produto e seu papel na análise da estrutura produtiva. Assim, para compreender essa abordagem, é fundamental considerar os conceitos como diversificação, ubiquidade, capacidades produtivas e vantagem comparativa revelada.

O estudo é conceituado inicialmente em duas métricas relevantes como ferramentas importantes que ajudam na avaliação da complexidade de produtos e países. A primeira é a diversificação como o número de produtos que um país pode exportar e a segunda é a ubiquidade na qual verifica-se a raridade desses produtos no mercado global. Essa análise permite calcular o Índice de Complexidade Econômica (ICE), que mede a sofisticação da estrutura produtiva de uma nação, combinando esses dois fatores.

Através do método das reflexões que será abordado durante a monografia

podemos verificar ao decorrer do trabalho que é possível medir simultaneamente a diversidade dos países e a ubiquidade dos produtos. A partir dessas medidas, é possível identificar produtos com alto potencial de desenvolvimento econômico e prever a trajetória de crescimento dos países.

Adicionalmente, o trabalho discute o conceito de vantagem comparativa revelada (VCR), uma métrica que indica a competitividade de um país na produção de determinados bens. Observamos ao decorrer do estudo que essa métrica é utilizada para definir a proximidade entre produtos no Espaço-Produto e identificar setores econômicos com potencial de crescimento. Com isso, verificamos que as capacidades produtivas ("capabilities"), são de suma importância e englobam o conhecimento técnico e as infraestruturas necessárias para a produção de bens complexos. Essas capacidades são essenciais para determinar a posição de um país no Espaço-Produto e sua capacidade de diversificação econômica

Por fim, o trabalho destaca a relação entre a complexidade econômica e as funções de produção, utilizando técnicas como a decomposição de valor singular (SVD) para analisar a estrutura produtiva das economias. A abordagem quantitativa adotada permite identificar padrões de especialização e prever quais setores têm maior probabilidade de crescimento. O estudo, nessa perspectiva, propõe-se a explorar detalhadamente cada um dos tópicos abordados, discutindo sua relevância teórica e suas aplicações práticas no desenvolvimento econômico e nas políticas industriais e de inovação.

Este trabalho será estruturado em dez capítulos. O primeiro capítulo aborda a complexidade econômica e sua relevância na análise das estruturas produtivas. No segundo, é detalhada a metodologia do Espaço-Produto, com ênfase nos cálculos de diversidade e ubiquidade. O terceiro capítulo explica o método das reflexões e sua aplicação prática. No quarto, discute-se as capacidades produtivas e a vantagem comparativa, destacando sua influência na competitividade econômica.

O quinto capítulo apresenta estudos de caso, demonstrando a aplicação prática da metodologia nas políticas econômicas. O sexto capítulo traz considerações finais e sugestões para futuras pesquisas. No sétimo, discute-se a relação entre complexidade econômica e funções de produção, enfatizando o uso da decomposição de valor singular (SVD). O oitavo capítulo aborda a aplicação prática do Índice de Complexidade Econômica (ICE) nas exportações globais e suas implicações econômicas.

O nono capítulo oferece uma análise interdisciplinar, relacionando diversidade e ubiquidade com conceitos biológicos aplicados à economia. Finalmente, o décimo capítulo sintetiza as descobertas, destacando recomendações para políticas públicas e desenvolvimento sustentável.

2. O MÉTODO DAS REFLEXÕES

Segundo Hidalgo e Hausmann (2009), o método das reflexões permite calcular simultaneamente o valor dos dois tipos de conexões: países e produtos.

Esse cálculo é realizado por meio da construção de uma matriz contendo informações sobre quais produtos um país exporta com vantagem comparativa, o que está relacionado à diversidade, assim como quantos países exportam esse mesmo produto com vantagem comparativa, que é a ubiquidade.

A diversidade está relacionada ao número de produtos aos quais um país está conectado, enquanto a ubiquidade refere-se ao número de países aos quais um produto está conectado. Para obter uma métrica que represente as capacidades disponíveis em uma economia, ou exigidas por um produto, é necessário ajustar as informações de diversidade e ubiquidade, utilizando uma para corrigir a outra, por meio do método das reflexões.

Desse modo, para os países, é necessário calcular a ubiquidade média dos produtos que eles exportam e a diversidade média dos países que produzem esses produtos. Para os produtos, calcula-se a diversidade média dos países que os produzem e a ubiquidade média dos outros produtos que esses países fabricam

2.1 CÁLCULO PARA MEDIR A UBIQUIDADE E DIVERSIDADE

Para compreender como a metodologia do Espaço-Produto opera na prática, examinemos o exemplo da Holanda apresentado na Figura 1. O país se destaca por sua alta diversidade de exportações, englobando produtos como máquinas de raio-X, medicamentos, cremes, polidores, queijo e peixe congelado. Essa ampla gama de produtos revela uma estrutura econômica complexa, sustentada por capacidades produtivas sofisticadas.

A diversidade se refere ao número de diferentes produtos que uma economia pode produzir, enquanto a ubiquidade mede a raridade desses produtos no contexto global. No exemplo da Figura 1, a Holanda demonstra alta diversidade ao exportar cinco tipos distintos de produtos. Produtos como medicamentos e máquinas de raio-X são considerados menos ubíquos, sendo exportados por poucos países devido às exigências técnicas necessárias para sua produção.

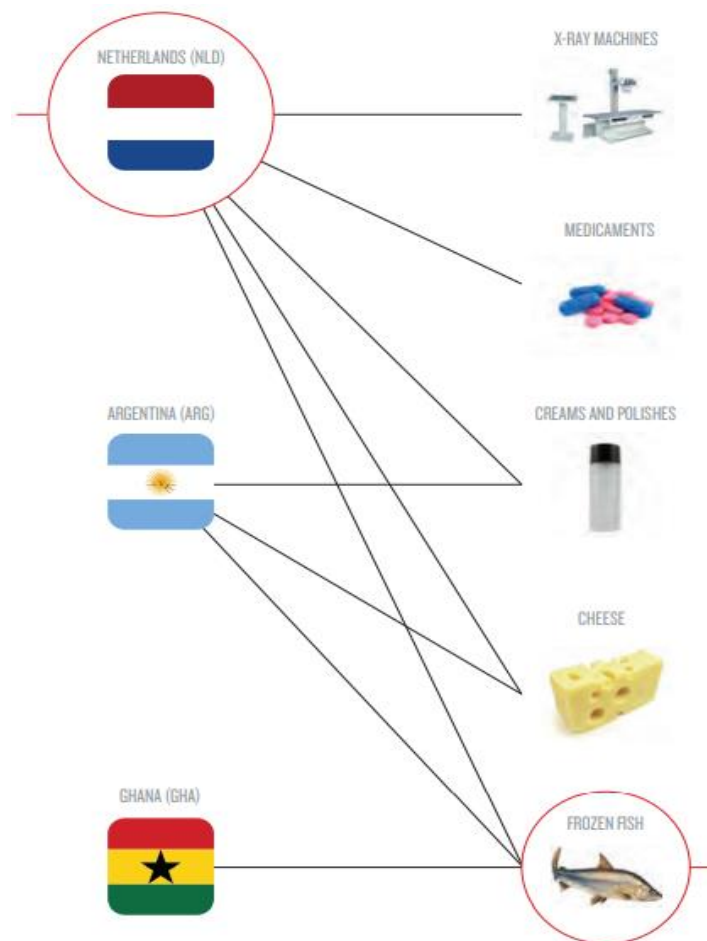
Em contraste com a Holanda, a Argentina exporta três produtos, enquanto

Gana exporta apenas um. Esse cenário ilustra que a Holanda é o país mais complexo entre os três, pois combina alta diversidade com baixa ubiquidade, fatores essenciais para determinar a complexidade econômica, de acordo com Hausmann e Hidalgo.

Essa análise permite visualizar como essas métricas são aplicadas para identificar a posição de um país no Espaço-Produto. Países mais complexos possuem uma estrutura produtiva diversificada e são capazes de exportar produtos raros, demonstrando potencial econômico e capacidade para desenvolver setores de alto valor agregado, promovendo o crescimento econômico sustentável.

Portanto, a Figura 1 ilustra os conceitos centrais de diversidade e ubiquidade na metodologia de complexidade econômica desenvolvida por Hausmann e Hidalgo. Esses conceitos são fundamentais para entender como a complexidade de uma economia é determinada pela variedade de produtos que um país pode exportar e pela raridade desses produtos no contexto global. No exemplo, a Holanda possui a maior diversidade de produtos exportados, incluindo itens como máquinas de raio-X e medicamentos, que são menos comuns globalmente. Em contraste, a Argentina e Gana apresentam menor diversidade. A Figura 1 demonstra que a Holanda possui maior complexidade econômica, pois combina uma alta diversidade de produtos com baixa ubiquidade, seguindo os critérios estabelecidos por Hausmann e Hidalgo. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity* (2011).

FIGURA 1: medidas de ubiquidade e diversidade



Fonte: The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity.(2011)

Diversidade

A diversidade está diretamente relacionada ao número de produtos exportados por um país. Esse número equivale à quantidade de conexões que o país possui na rede que vincula os países aos produtos que eles exportam. Neste exemplo, a diversidade da Holanda é cinco, da Argentina é três e de Gana é um.

Ubiquidade

A ubiquidade está relacionada ao número de países que exportam um determinado produto. Isso equivale ao número de conexões que esse produto possui na rede de exportações. Neste exemplo, a ubiquidade do queijo é dois, a do peixe é três, e a dos medicamentos e da máquina de raio-X é um.

Nessa perspectiva a análise de figura 1 é importante para compreender como o fenômeno acontece, então começando pela diversidade ($KD,0$) verifica-se que ela está relacionada ao número de produtos aos quais um país está conectado, enquanto já a ubiquidade ($KU,0$) refere-se ao número de países aos quais um produto está conectado. Neste exemplo, a diversificação dos países ($KG,0$) e a ubiquidade dos produtos ($KU,0$) são as seguintes:

$KD1,0 = \text{Holanda}$ $KD2,0 = \text{Argentina}$ $KD3,0 = \text{Gana}$

$KU1,0 = \text{Raio-X}$ $KU2,0 = \text{Medicamentos}$ $KU3,0 = \text{Cremes e Polidores}$ $KU4,0 = \text{Queijo}$
 $KU5,0 = \text{Peixe Congelado}$

$KD1,0 = 5$ $KU1,0 = 1$

$KD2,0 = 3$ $KU2,0 = 1$

$KD3,0 = 1$ $KU3,0 = 2$

$KD4,0 = 2$ $KU5,0 = 3$

Para obter uma métrica que represente as capacidades disponíveis em uma economia, ou exigidas por um produto, é necessário ajustar as informações de diversidade e ubiquidade, utilizando uma para corrigir a outra por meio do método das reflexões.

Para os países, é necessário calcular a ubiquidade média dos produtos que exportam e a diversidade média dos países que fabricam esses produtos. Para os produtos, calcula-se a diversidade média dos países que os fabricam e a ubiquidade média dos outros produtos que esses países produzem.

Em seguida, são calculadas reflexões de ordem superior (ou iterações). A primeira reflexão consiste na ubiquidade média dos produtos de um país e a segunda na diversificação média dos exportadores de um produto:

- $KD1,0 = \text{Holanda}$
- $KD2,0 = \text{Argentina}$
- $KD3,0 = \text{Gana}$

- $KU1,0$ = Raio-X
- $KU2,0$ = Medicamentos
- $KU3,0$ = Cremes e Polidores
- $KU4,0$ = Queijo
- $KU5,0$ = Peixe Congelado

$$KD1,1 = \left(\frac{1}{5}\right) (1 + 1 + 2 + 2 + 3) = 1,8 \quad KU1,1 = \left(\frac{1}{1}\right) (5) = 5$$

$$KD2,1 = \left(\frac{1}{3}\right) (2 + 3) = 2,33 \quad KU2,1 = \left(\frac{1}{1}\right) (5) = 5$$

$$KD3,1 = \left(\frac{1}{1}\right) (3) = 3 \quad KU3,1 = \left(\frac{1}{2}\right) (5 + 1) = 3$$

$$KU4,1 = \left(\frac{1}{2}\right) (5 + 1) = 3$$

$$KU5,1 = \left(\frac{1}{3}\right) (5 + 3 + 1) = 3$$

A segunda reflexão é dada pelos valores médios da primeira reflexão:

$$KD1,2 = \left(\frac{1}{5}\right) (5 + 5 + 3 + 3 + 3) = 3,8 \quad KU1,2 = \left(\frac{1}{1}\right) (3) = 3$$

$$KD2,2 = \left(\frac{1}{3}\right) (3 + 3 + 3) = 3 \quad KU2,2 = \left(\frac{1}{1}\right) (3) = 3$$

$$KD3,2 = \left(\frac{1}{1}\right) (3) = 3 \quad KU3,2 = (1/2) (3 + 3) = 3$$

$$KU4,2 = \left(\frac{1}{2}\right) (3 + 3) = 3$$

$$KU5,2 = \left(\frac{1}{3}\right) (3 + 3 + 3) = 3$$

Observamos que o método das reflexões é capaz de diferenciar entre diversos países com base apenas nas informações sobre quais produtos são exportados por cada país.

Neste exemplo, o país mais diversificado é a Holanda, que exporta cinco produtos, enquanto a Argentina exporta três e Gana exporta apenas um. Identificamos que $KU1,0$ = Raio-X e $KU2,0$ = Medicamentos possuem baixa ubiquidade, pois apenas a Holanda exporta esses produtos.

Por outro lado, $KU5,0$ = Peixe Congelado apresenta alta ubiquidade, já que os três países mencionados no exemplo, Holanda, Argentina e Gana, exportam esse

produto. O método coloca a Holanda à frente de Gana, pois a Holanda produz produtos de baixa ubiquidade, que são encontrados apenas em países diversificados. Isso indica que a Holanda possui uma dotação relativamente boa de capacidades, sendo um país diversificado que exporta desde produtos de alta tecnologia, como máquinas de raio-X, até peixes congelados.

Em contrapartida, Gana produz apenas um produto que é exportado por todos os países do exemplo, sugerindo que o peixe congelado é um produto simples e acessível a países com estruturas produtivas relativamente simples. Portanto, através do método das reflexões, é possível verificar que a Holanda possui um índice de complexidade econômica superior ao de Gana. A partir do método iterativo entre ubiquidade e diversidade, concluímos que a Holanda possui alta diversidade por exportar cinco tipos de produtos e baixa ubiquidade, uma vez que medicamentos e máquinas de raio-X são exclusivos do país. Essa exclusividade gera uma baixa ubiquidade, tornando esses produtos mais "raros" em relação aos demais.

2.2 ÍNDICE DE COMPLEXIDADE ECONÔMICA (ICE)

Índice de Complexidade Econômica (ICE) mede a sofisticação da estrutura produtiva de um país, combinando informações sobre a diversidade de um país (o número de produtos que ele exporta) e a ubiquidade de seus produtos (o número de países que exportam esses produtos). A premissa por trás do ICE é que economias sofisticadas são diversificadas e exportam produtos que, em média, apresentam baixa ubiquidade, pois apenas alguns países diversos são capazes de fabricar tais produtos sofisticados. De maneira análoga, espera-se que economias menos sofisticadas produzam produtos com alta ubiquidade.

O ICE explora essa variação na diversificação produtiva dos países e na ubiquidade dos produtos para criar uma medida da estrutura produtiva de um país que incorpora informações sobre a sofisticação dos produtos. Assim, o ICE é calculado a partir de dados de exportações que conectam países aos produtos nos quais possuem Vantagens Comparativas Reveladas (RCA).

2.3 METODOLOGIA PRODUCT SPACE

A complexidade econômica emerge das capacidades e combinações de

conhecimentos dos indivíduos. Distinguimos dois tipos de conhecimento: explícito e tácito. O conhecimento explícito pode ser transferido facilmente por meio da leitura de um texto ou da escuta de uma conversa. No entanto, se todo o conhecimento fosse assim, as diferenças de renda seriam menores e os países alcançariam rapidamente as tecnologias de ponta. O problema é que partes cruciais do conhecimento são tácitas e difíceis de incorporar nas pessoas. Aprender a resolver problemas dentários, falar uma língua estrangeira ou administrar uma fazenda requer um esforço caro e demorado. Portanto, não é viável que todos aprendam a fazer tudo. Devido à dificuldade de transferência, o conhecimento tácito limita o crescimento e o desenvolvimento. As diferenças de prosperidade estão relacionadas à quantidade de conhecimento tácito que as sociedades possuem e à sua capacidade de combiná-lo e compartilhá-lo (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity, 2011).

Considere como uma camisa é feita e vendida. Primeiro, ela precisa ser desenhada; depois, o tecido deve ser adquirido, cortado e costurado. Em seguida, a camisa precisa ser embalada, marcada, comercializada e distribuída. Numa empresa que fabrica camisas, diferentes pessoas detêm expertise em cada um desses pedaços de conhecimento – o negócio da camisa requer todos eles. Além disso, é necessário financiar a operação, contratar as pessoas relevantes, coordenar todas as atividades e negociar a adesão de todos, o que por si só requer diferentes tipos de conhecimento. Para fabricar camisas, é possível importar o tecido e, ao fazê-lo, acessar o conhecimento sobre teares e fios que está embutido em um pedaço de pano. No entanto, alguns conhecimentos necessários não podem ser acessados por meio de insumos transportados. As pessoas com o conhecimento relevante devem estar próximas do local onde as camisas são feitas.

Para operar eficientemente, as empresas dependem de um grande conjunto de sistemas, redes e mercados complementares. Matérias-primas precisam ser transportadas, e o produto enviado utilizando empresas de transporte, portos, estradas, aviões ou aeroportos. Os trabalhadores precisam ir e voltar do trabalho usando algum tipo de sistema de transporte urbano. As máquinas precisam ser alimentadas por eletricidade, e os processos necessitam de acesso à água e instalações de tratamento de água. As capacidades relevantes para realizar todas essas funções residem em organizações que conseguem empacotar o conhecimento relevante em pacotes transferíveis. Esses são pacotes de know-how que são mais

eficientemente organizados separadamente e transferidos como insumos ou serviços intermediários (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity, 2011).

Com esse exemplo das camisas, percebemos que a complexidade econômica é expressa na composição da produção de um país e reflete as estruturas que emergem para armazenar e combinar conhecimento. O conhecimento só pode ser acumulado, transferido e preservado se estiver inserido em redes de indivíduos e organizações que o utilizam de forma produtiva. Conhecimento não utilizado desaparece quando os indivíduos e organizações que o possuem se aposentam ou morrem. Em outras palavras, os países não produzem todos os produtos e serviços que utilizam e necessitam, mas apenas aqueles que conseguem, utilizando o conhecimento incorporado em suas próprias pessoas e organizações. Alguns bens, como dispositivos de imagem médica ou motores a jato, requerem grandes quantidades de conhecimento e resultam de redes extensas de pessoas e organizações. Em contraste, toras de madeira ou grãos de café exigem muito menos conhecimento e redes menores de suporte. Economias complexas são aquelas que conseguem reunir vastas quantidades de conhecimento relevante, através de grandes redes de pessoas, para gerar uma mistura diversificada de produtos intensivos em conhecimento. Economias mais simples possuem uma base de conhecimento produtivo mais estreita, resultando na produção de menos produtos e mais simples, exigindo redes menores de interação. A única maneira de as sociedades expandirem sua base de conhecimento é facilitando a interação de indivíduos com diferentes conjuntos de conhecimento em redes de organizações e mercados cada vez mais complexas. O aumento da complexidade econômica é necessário para que uma sociedade possa manter e utilizar uma maior quantidade de conhecimento produtivo. Por isso, podemos medir a complexidade observando a variedade de produtos que os países são capazes de produzir (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity, 2011).

Dessa forma, percebemos que medir a similaridade nas exigências de capacidades de diferentes produtos não é simples. Para identificar os requisitos técnicos e institucionais precisos de cada produto, seria necessário coletar um volume enorme de informações. Em vez disso, podemos usar um truque simples: retomando o exemplo das camisas, verificamos que existem conhecimentos semelhantes aos necessários para blusas, pela estrutura de fabricação ser semelhante e pelo uso da

mesma matéria-prima, mas diferentes dos exigidos para motores a jato, que demandam grande conhecimento técnico e outro tipo de material e maquinário para a produção. Assim, a probabilidade de que um país que exporta camisas também exporte blusas será maior do que a probabilidade de que ele também exporte motores a jato. Portanto, a probabilidade de que um par de produtos seja coexportado carrega informações sobre quão similares esses produtos são, segundo o modelo de complexidade de exportação e a metodologia *Product Space* (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity, 2011).

No que se refere às proximidades entre produtos, a ideia de coexportação é utilizada para medir a proximidade entre todos os pares de produtos no conjunto de dados. A coleção de todas as proximidades forma uma rede conectando produtos que são significativamente prováveis de serem coexportados por muitos países, o que chamamos de *Product Space*. Dessa forma, evidenciamos a importância do *Product Space*, cuja estrutura é crucial porque afeta a facilidade com que os países podem aumentar sua complexidade. Um *Product Space* densamente conectado implica que produtos vizinhos diferem pouco em suas capacidades necessárias, facilitando a adição de novos produtos ao portfólio do país, como no exemplo citado de camisas e blusas. Um *Product Space* escassamente conectado sugere que produtos vizinhos têm menos em comum, exigindo a aquisição simultânea de várias capacidades ausentes, tornando o crescimento da complexidade mais difícil. Contudo, é possível identificar isso na imagem 5.1, que verifica a metodologia *Product Space* na prática, exemplificando como uma rede de *Product Space* funciona (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity, 2011).

The figure displays a large, intricate network graph where nodes represent different entities or concepts, categorized by icons along the bottom axis. The nodes are interconnected by a dense web of grey lines, indicating relationships. The nodes are color-coded based on their category, with colors like blue, red, green, yellow, purple, and orange used frequently. The size of each node varies, likely representing its degree or importance within the network. The overall structure shows several clusters of related nodes, with some central hubs having many connections.

A figura 2 acima representa o conceito de *Product Space*, que mapeia a relação

O *Product Space* é uma representação gráfica que mapeia a relação entre diferentes produtos exportados por um país. Ele mostra como os produtos estão conectados entre si com base na similaridade de suas capacidades produtivas. Produtos que estão próximos no gráfico compartilham capacidades produtivas semelhantes, destacando tecnologias, habilidades da força de trabalho, infraestrutura, capital e instituições. A conexão entre produtos no *Product Space* é representada por linhas que indicam a proximidade entre as capacidades necessárias para produzi-los. Por exemplo, produtos como eletrônicos e automóveis estão próximos porque ambos exigem tecnologias avançadas, mão de obra especializada e capital, ou seja, o acesso aos insumos é similar. Produtos agrícolas podem estar em outra parte da rede,

O *Product Space* é uma representação gráfica que mapeia a relação entre diferentes produtos exportados por um país. Ele mostra como os produtos estão conectados entre si com base na similaridade de suas capacidades produtivas. Produtos que estão próximos no gráfico compartilham capacidades produtivas semelhantes, destacando tecnologias, habilidades da força de trabalho, infraestrutura, capital e instituições. A conexão entre produtos no *Product Space* é representada por linhas que indicam a proximidade entre as capacidades necessárias para produzi-los. Por exemplo, produtos como eletrônicos e automóveis estão próximos porque ambos exigem tecnologias avançadas, mão de obra especializada e capital, ou seja, o acesso aos insumos é similar. Produtos agrícolas podem estar em outra parte da rede,

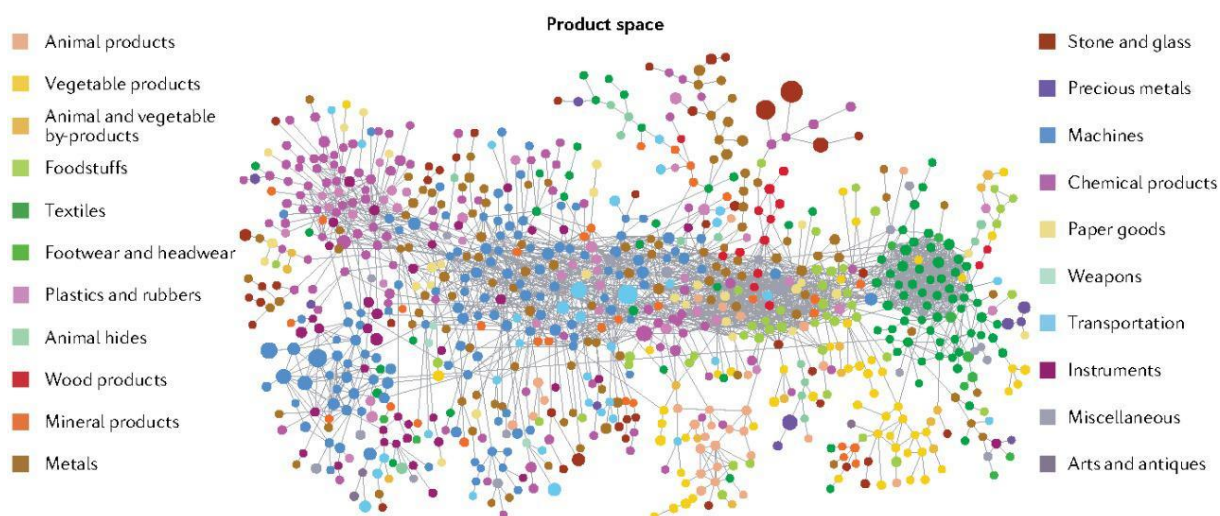
conectados a outros produtos que requerem condições climáticas ou habilidades de cultivo semelhantes. Dessa forma, a proximidade dos produtos indica que um país que já produz um produto pode ter uma vantagem competitiva ao tentar se diversificar em um produto próximo, pois já possui algumas das capacidades necessárias.

A complexidade de exportação refere-se ao quão sofisticado e raro é o conhecimento necessário para produzir um determinado produto. Produtos de alta complexidade geralmente requerem conhecimento técnico avançado, infraestrutura robusta e habilidades específicas, que são menos comuns globalmente. A complexidade de um produto é também um indicativo da vantagem competitiva que um país pode ter no mercado global.

Na rede do *Product Space*, os produtos no núcleo (centro) da rede geralmente têm alta complexidade e estão fortemente conectados a outros produtos, indicando que a produção deles pode permitir uma diversificação produtiva mais ampla. Produtos na periferia são de menor complexidade, menos conectados, e indicam que a capacidade de diversificação a partir desses produtos é limitada. Para uma análise detalhada, seria ideal olhar diretamente para os produtos e conexões específicos na imagem 5.1. No entanto, em termos gerais, produtos que estão densamente conectados na imagem 5.1 são aqueles que compartilham muitas capacidades produtivas e estão em setores que requerem habilidades semelhantes. A posição dos produtos no gráfico 5.1 pode indicar quão fácil seria para um país que exporta um produto específico se mover para exportar outro produto próximo (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity, 2011).

A figura 3 abaixo ilustra a estrutura do *Product Space*, uma representação visual que mapeia a relação entre produtos exportados por países com base em suas capacidades produtivas compartilhadas. No gráfico, os produtos no centro representam indústrias complexas, como máquinas, produtos químicos e eletrônicos, que são densamente conectados. Esses produtos demandam uma combinação de tecnologias avançadas, infraestrutura robusta e mão de obra especializada, permitindo aos países que já os produzem uma vantagem comparativa revelada (VCR) ao se diversificar para setores adjacentes de alta complexidade e valor agregado. Por outro lado, produtos situados na periferia do gráfico, como alimentos, produtos agrícolas e minerais, são menos conectados e de menor complexidade.

Figura 3: Rede Espaço Produto



Fonte: Hidalgo, C. A. (2021). *Economic complexity theory and applications*.

O *Product Space* é uma representação visual que mapeia a relação entre os produtos exportados pelos países e as capacidades produtivas que eles compartilham. O gráfico anexado ilustra essa ideia ao mapear a proximidade entre produtos com base nas tecnologias, infraestruturas e habilidades necessárias para produzi-los. Vamos detalhar os conceitos importantes utilizando a imagem do gráfico e o texto fornecido.

2.4 COMO SABER QUAL PRODUTO É MAIS TECNOLÓGICO?

A classificação de complexidade dos produtos resulta da própria técnica utilizada para calculá-la. Assim como o Índice de Complexidade Econômica (ICE), ambas são, na verdade, classificações relativas que podem mudar. A classificação não é fixa ou absoluta; por exemplo, itens com alto teor tecnológico, como motores a jato, em um determinado ano podem ter um Índice de Complexidade do Produto (ICP) maior do que o de máquinas de raio-X, e em outro ano a situação pode se inverter. Isso depende de quantos países produzem e exportam esses bens e do ICE desses países nos respectivos anos.

Um produto com alto grau de complexidade pode passar a ser classificado como de médio ou baixo grau de complexidade se muitos países passarem a produzir esse bem, ou seja, as classificações tanto do ICP quanto do ICE são dinâmicas. No

entanto, como a estrutura produtiva dos países muda lentamente, o mesmo ocorre com o índice de complexidade dos produtos.

3. ESTRUTURA DO PRODUCT SPACE

Produtos no Centro (Núcleo)

Alta Complexidade e Conexões Fortes: Produtos localizados no centro do gráfico, como máquinas, produtos químicos e eletrônicos, estão densamente conectados a muitos outros produtos. Isso indica que as capacidades produtivas necessárias para fabricá-los podem ser aplicadas em uma ampla gama de outras indústrias.

Exemplo: Um país que já fabrica máquinas (em azul) ou produtos químicos (em rosa) possui infraestrutura avançada, mão de obra qualificada e acesso a insumos sofisticados, o que permite diversificar para setores adjacentes, como transporte, eletrônicos e produtos de alta tecnologia.

Vantagem Competitiva: Esses produtos representam indústrias complexas e de alto valor agregado, permitindo ao país uma maior capacidade de diversificação e, portanto, maior competitividade no mercado global.

Produtos na Periferia

Baixa Complexidade e Conexões Limitadas: Produtos na periferia, como alimentos, produtos agrícolas e matérias-primas, são menos conectados a outros setores. Eles são menos complexos e exigem menos capacidades produtivas especializadas.

Exemplo: Produtos agrícolas (em amarelo) ou minerais (em cinza) exigem menos habilidades técnicas, baseando-se principalmente em condições naturais (clima, solo) e mão de obra menos especializada. Um país que exporta principalmente esses produtos terá mais dificuldade em se diversificar para setores complexos, já que as capacidades necessárias são muito diferentes.

Capacidade de Diversificação Limitada: Países cuja economia depende de produtos periféricos têm menos oportunidades para transitar para produtos de alta complexidade, o que limita a possibilidade de aumentar a sofisticação de suas exportações.

Conexões Entre Produtos

Linhas no Gráfico: As linhas que conectam os produtos representam a proximidade de suas capacidades produtivas. Por exemplo, produtos da indústria de máquinas estão próximos aos da indústria automotiva porque ambos requerem tecnologias avançadas, engenheiros especializados e fábricas com infraestrutura de alta complexidade. Da mesma forma, produtos agrícolas estão conectados entre si, pois exigem habilidades e recursos semelhantes, como técnicas de cultivo ou condições climáticas específicas.

Aplicação para o Brasil e China

No contexto do Brasil e da China, ambos os países têm uma base produtiva que inclui produtos em diferentes partes do gráfico. O Brasil tende a exportar produtos mais periféricos, como commodities agrícolas e minerais (soja, minério de ferro), mas também possui setores produtivos mais complexos, como a fabricação de aeronaves. Já a China possui uma base manufatureira forte, com capacidade produtiva centralizada em produtos como máquinas e eletrônicos, embora ainda mantenha exportações de menor complexidade, como têxteis.

Diversificação e Vantagem Competitiva: A capacidade de diversificação de um país está diretamente relacionada à proximidade dos produtos que ele já fabrica. Países como o Brasil, que têm produtos mais periféricos, enfrentam maiores desafios para migrar para indústrias mais complexas, enquanto a China, com produtos mais próximos do centro, tem maior facilidade para expandir para outros setores sofisticados. O *Product Space* mostra que a complexidade das exportações está fortemente relacionada à posição dos produtos em uma rede de capacidades produtivas. Produtos no núcleo são mais complexos, conectados a muitos outros setores e fornecem uma base sólida para diversificação econômica. Produtos na periferia são mais simples e têm menos conexões, oferecendo menos oportunidades de avanço em termos de sofisticação industrial.

4. ECONOMIA TRADICIONAL E A COMPLEXIDADE ECONÔMICA

As métricas de complexidade são úteis para prever crescimento econômico, desigualdade de renda e emissões de gases de efeito estufa. Os métodos de complexidade econômica tornaram-se ferramentas populares em geografia econômica, desenvolvimento internacional e estudos de inovação, focando em duas principais vertentes da literatura: a literatura sobre "relatedness" (ou "relacionamento"), que examina a evolução dos padrões de especialização, e a literatura sobre métricas de complexidade econômica, que utilizam dados geográficos sobre atividades econômicas para estimar a disponibilidade, diversidade e sofisticação dos fatores presentes em uma economia. Introduzidas na última década, essas métricas medem a afinidade entre uma atividade específica e uma localização, explicam dependências de trajetória e preveem quais atividades irão crescer ou declinar em determinada localização. Essas métricas ajudam a responder, por exemplo, quão "distante" uma cidade está de desenvolver uma indústria farmacêutica próspera, com base no relacionamento e nos níveis de tecnologia que determinada região possui.

Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidas técnicas de redução de dimensionalidade utilizadas para criar métricas de sofisticação econômica, sendo preditivas em relação a variações na renda, crescimento econômico e desigualdade de renda. Diferente das abordagens tradicionais da economia, que tentam identificar fatores individuais de crescimento econômico, as métricas de "relatedness" e de complexidade são agnósticas quanto à natureza desses fatores, estimando a presença combinada de insumos sem fazer suposições rígidas sobre sua natureza. Os métodos de complexidade econômica utilizam dados detalhados sobre milhares de atividades econômicas para aprender tanto os fatores abstratos de produção quanto a forma como se combinam em milhares de produtos. Isso é possível aplicando as técnicas mencionadas anteriormente de redução de dimensionalidade a dados sobre a geografia das atividades, como exportações de produtos, emprego por indústria ou patentes por tecnologia. Essas técnicas, relacionadas à fatoração de matrizes e comuns em aprendizado de máquina, fornecem uma maneira poderosa de resumir a geografia da produção econômica e podem ser usadas para construir preditores do potencial de diversificação e desenvolvimento de um local (Hidalgo, 2021).

Nessa perspectiva, o estudo da complexidade econômica acelerou na última década graças a duas contribuições mencionadas. Vale ressaltar novamente a importância das métricas de relacionamento, que explicam dependências de trajetória e preveem quais atividades crescerão ou declinarão em um local, e as métricas de complexidade, que usam dados sobre a geografia das atividades para estimar a disponibilidade, diversidade e sofisticação dos fatores ou insumos presentes em uma economia. Além disso, é importante frisar que os métodos e o estudo da complexidade econômica foram motivados por outras tendências-chave, como o renascimento da política industrial, o crescimento da inteligência artificial (IA) e o desenvolvimento da teoria do crescimento endógeno (Hidalgo, 2021). Nesse caso, percebe-se que a teoria da complexidade econômica é vista como uma continuação da teoria do crescimento endógeno, que estabelece que o crescimento econômico é o crescimento do conhecimento. Mesmo sendo o conhecimento um bem não-rival, ele é difícil de reproduzir ou compartilhar, sendo limitado por fatores geográficos, redes sociais e especificidades econômicas. Os métodos de complexidade ajudam a caracterizar estruturas econômicas detalhadas e fornecem uma base quantitativa para esforços de políticas, especialmente industriais, no que tange a tecnologia e desenvolvimento.

Desse modo, ao tratar de complexidade econômica, é importante mencionar o que Warren Weaver discorre em seu artigo "Science and Complexity". Weaver identifica três fases distintas na ciência: a ciência da simplicidade, focada em sistemas que podem ser descritos por trajetórias, como o movimento de um pêndulo ou a órbita de um planeta, utilizando cálculo e equações diferenciais; a ciência da complexidade desorganizada, desenvolvida com a ascensão das máquinas a vapor e da termodinâmica, utilizando o conceito de probabilidade para descrever sistemas como gases, onde a identidade ou trajetória dos elementos não precisa ser rastreada; e a ciência da complexidade organizada, que propõe o estudo de sistemas vastos onde a identidade dos elementos e seus padrões de interação são fundamentais. Weaver vislumbrou essa ciência como uma forma de descrever sistemas complexos que não podem ser compreendidos apenas por trajetórias ou probabilidades. Contudo, as ideias de Weaver se concretizaram com o avanço de dados, capacidade computacional e métodos analíticos, permitindo o estudo quantitativo de sistemas complexos (Hidalgo, 2021).

Na economia, essas ideias estão sendo aplicadas sob a teoria da complexidade econômica, onde os conceitos de "relatedness" são retomados utilizando métodos de

rede para criar variáveis que preveem as atividades econômicas que uma região tem maior probabilidade de entrar ou sair no futuro, semelhante a sistemas de recomendação usados para prever cliques ou compras online. Já em relação à complexidade, aplica-se o princípio discutido anteriormente, utilizando técnicas de redução de dimensionalidade (como SVD ou componentes principais) a dados geográficos de atividades econômicas para identificar os vetores que melhor explicam a estrutura de uma matriz de especialização, sem assumir a natureza dos fatores de produção. Assim, as métricas de complexidade econômica preservam a identidade das localidades e atividades, aproveitando informações sobre interações, ao invés de utilizar agregações ou distribuições. Essas métricas consideram simultaneamente múltiplos fatores e suas interações, utilizando técnicas de redução de dimensionalidade para destilar informações valiosas dos dados.

Apesar disso, a literatura sobre complexidade econômica ainda é jovem, porém, já está contribuindo para o entendimento de como o conhecimento produtivo e as atividades econômicas estão distribuídos geograficamente, influenciando o desenvolvimento econômico. Com o desenvolvimento das métricas de complexidade, obteve-se um dos principais impulsionadores do estudo da complexidade econômica: a redução dos números de variáveis para aglomerar o maior número de informações relevantes. Enquanto a literatura anterior focava em estruturas produtivas e utilizava indicadores como patentes e capital humano, as métricas de complexidade aplicam métodos de redução de dimensionalidade, oferecendo uma nova maneira de analisar a sofisticação tecnológica e o crescimento econômico. Com esses avanços, o mercado vem evoluindo com pesquisas e desenvolvimento. Já existem evidências examinando como diferentes formas de relacionamento (por exemplo, conhecimento específico de indústria e ocupação) afetam a diversificação, o crescimento e a sobrevivência das empresas. Além disso, estão sendo desenvolvidas estratégias para otimizar os caminhos de diversificação industrial e avaliar políticas industriais. Assim, as pesquisas e o desenvolvimento mostram como a complexidade influencia uma variedade de resultados, incluindo desigualdade de renda e gênero, desenvolvimento humano, volatilidade da produção e produtividade.

Esses estudos também consideram fatores que contribuem para o crescimento da complexidade, como diferentes modos de tributação, direitos de propriedade intelectual, instituições, demografia, transporte, conectividade digital e reformas estruturais. Com o advento dessas descobertas, adquire-se uma expansão da

compreensão da geografia das atividades econômicas e suas consequências, alinhando-se com a visão de Warren Weaver sobre a ciência da complexidade organizada (Hidalgo, 2021).

5. O CONCEITO DE PRODUCT SPACE

O conceito de *Product Space* pode ser descrito da seguinte maneira: cada produto é representado por um ponto no espaço de produtos, e o conjunto desses pontos constitui uma rede de produtos. Nesse cenário, um país é composto por diversas empresas que operam dentro dessa rede. O crescimento econômico envolve a transição de produtos menos complexos para produtos mais complexos. Para isso, as empresas precisam alocar recursos (físicos, humanos e institucionais) para iniciar a produção de novos produtos.

A teoria econômica tradicional pressupõe que a mudança entre produtos é sempre fácil e viável. Contudo, se a rede de produtos não for uniforme, haverá áreas com alta densidade de produtos relacionados, onde a transição para novos produtos exige pouco esforço, e áreas com baixa densidade, onde essa transição requer um esforço significativo. Em algumas regiões quase vazias da rede de produtos, a transição pode ser impraticável. Portanto, a estrutura da rede de produtos e a posição das empresas dentro dessa rede são fatores essenciais para determinar a capacidade de crescimento econômico. Em termos econômicos, a tipologia do *Product Space* afeta a habilidade dos países de produzir novos tipos de produtos.

Desse modo, a diversificação econômica torna-se um dos principais benefícios proporcionados pelo *Product Space*, pois ajuda a identificar produtos relacionados que um país pode começar a produzir com relativa facilidade. Por exemplo, voltando ao caso da exportação de café, ao utilizar o *Product Space*, é possível sugerir a exploração de produtos como chá ou cacau, aproveitando a infraestrutura e o conhecimento já existentes. Dessa forma, esta abordagem permite que os países expandam suas economias para áreas que oferecem maiores retornos e menor risco, promovendo um crescimento econômico sustentável (The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity).

O conceito de *Product Space* surgiu no final da década de 2000 como uma abordagem alternativa para compreender as relações entre comércio internacional e desenvolvimento econômico. Liderado por Ricardo Hausmann e César Hidalgo, o modelo propõe que a competitividade na produção e exportação de determinados produtos vai além da simples dotação de recursos tradicionais, como infraestrutura e capital humano. Ele sugere que a capacidade de um país em desenvolver-se economicamente depende de recursos intangíveis, chamados *capabilities*

(capacidades), que incluem conhecimento, tecnologia e outras habilidades sofisticadas (Freitas, 2018).

Diferente das abordagens econômicas tradicionais, que se baseiam nas diferenças de recursos entre os países, o *Product Space* enfatiza que a prosperidade e o crescimento de uma nação estão intimamente ligados ao tipo de produtos que ela exporta. Países que se especializam em produtos mais sofisticados, que utilizam capacidades mais avançadas, têm maior potencial de desenvolvimento econômico. Isso ocorre porque esses produtos geram externalidades positivas, como aprendizado e acumulação de conhecimento (Freitas, 2018). Países pobres tendem a se especializar na produção de bens intensivos em trabalho não qualificado, terra e recursos naturais, enquanto países ricos se especializariam na produção de bens intensivos em infraestrutura, tecnologia e capital (Hidalgo et al., 2007). Se considerarmos que o desenvolvimento econômico é o processo de produzir cada vez mais bens intensivos em tecnologia e capital (Hidalgo et al., 2007), Hausmann, Hidalgo e seus colegas criticam os modelos tradicionais por negligenciarem a importância do tipo de produto exportado. Eles argumentam que se especializar em certos produtos gera mais crescimento econômico do que em outros (Freitas, 2018). O conceito de EXPY foi introduzido para medir a sofisticação da pauta de exportação de um país, sugerindo que nações que exportam bens com alta produtividade tendem a ter um maior potencial de desenvolvimento econômico (Freitas, 2018). Em resumo, o modelo do *Product Space* propõe que o desenvolvimento econômico de um país depende não apenas da quantidade exportada, mas principalmente da qualidade dos produtos exportados, considerando a sofisticação e a capacidade de inovação desses produtos (Freitas, 2018).

5.1 RELAÇÃO PRODUCT SPACE E VCR

Ao abordar o conceito de *Product Space*, é necessário explicar a vantagem comparativa revelada. Hausmann e Klinger (2007) analisam a evolução das vantagens comparativas reveladas dos países, observando que isso segue um padrão específico. É comum que os produtos que começam a ser exportados com vantagem comparativa revelada estejam, de alguma forma, relacionados aos já presentes na pauta de exportação. Esse tipo de transformação torna-se mais claro por meio de uma representação gráfica do *Product Space*, que consiste em um conjunto de círculos

representando produtos, conectados pelo grau de semelhança ou proximidade. Quanto mais próximos os produtos, maior é seu grau de similaridade.

Para medir a relação entre produtos, os autores utilizam um índice de proximidade ou distância entre eles. A similaridade nos requisitos de dois produtos é indicada pela probabilidade de os países exportarem ambos com vantagem comparativa revelada. Portanto, quanto mais países exportam ambos os produtos com vantagem comparativa, mais próximos eles são. Outro conceito importante discutido por Hausmann e Klinger, relevante na literatura de complexidade econômica, é a densidade. Ela é determinada pela quantidade de produtos e sua proximidade em uma área específica. Em geral, países de baixa renda tendem a se especializar em produtos localizados em áreas menos densas, enquanto países de alta renda se especializam em produtos situados em zonas mais densas.

Complementando os conceitos relacionados ao *Product Space*, Hausmann e Hidalgo (2009) introduzem o conceito central dessa linha de pesquisa: a complexidade econômica. Esta é uma medida de conhecimento técnico, avaliada pela diversidade de capacidades (*capabilities*) presentes em um país e suas interações. O conceito de *capabilities*, conforme utilizado pelos autores, é definido como a menor unidade de conhecimento técnico, embora também inclua aspectos institucionais e econômicos que permitem a produção de determinados bens.

O modelo *Product Space*, desenvolvido por Hidalgo et al. (2007), utiliza informações sobre a quantidade e competitividade dos bens produzidos para inferir o nível de sofisticação das economias. Esse modelo baseia-se no índice de Vantagens Comparativas Reveladas (VCR) de Balassa (1965), que mede a competitividade de um país na produção de um determinado bem. Se o índice VCR de um produto for superior a 1, isso indica que o país possui elevada competitividade naquele bem (Freitas, 2018). A partir de dados de comércio internacional, os autores criaram o *Product Space*, uma representação gráfica que mapeia as conexões entre diferentes produtos com base em probabilidades condicionais.

A ideia central é que produtos que compartilham capacidades similares estão mais próximos no espaço de produtos. Produtos com muitas ligações intersetoriais estão no centro desse espaço e são considerados mais sofisticados, enquanto produtos com poucas conexões estão na periferia (Freitas, 2018). O modelo revela que países desenvolvidos tendem a produzir bens com mais ligações intersetoriais, o que facilita a diversificação, enquanto países subdesenvolvidos produzem bens com

menos conexões, o que limita seu crescimento econômico. Além disso, os autores destacam a importância da dependência de trajetória no desenvolvimento econômico, já que a estrutura produtiva inicial de um país influencia suas futuras oportunidades de crescimento (Freitas, 2018).

Para aprimorar a análise, Hidalgo e Hausmann (2009) introduziram os índices de diversificação e ubiquidade. A diversificação mede o número de produtos que um país exporta com VCR, enquanto a ubiquidade avalia quantos países exportam um determinado produto com VCR. Países mais diversificados tendem a produzir produtos mais sofisticados, o que está diretamente relacionado ao nível de desenvolvimento econômico (Freitas, 2018). A análise do *Product Space* demonstra que o progresso econômico está vinculado à capacidade dos países de mover sua produção para setores mais sofisticados. Países ricos tendem a exportar produtos mais complexos e tecnologicamente avançados, enquanto países pobres exportam produtos menos sofisticados, o que limita seu crescimento (Freitas, 2018)

5.2 CAPABILITIES

O conceito de *capabilities* é bem estabelecido na literatura econômica, sendo utilizado em estudos sobre evolução tecnológica, como os de Dosi (1988) e Lall (1992). Hausmann e Hidalgo (2009) contribuem significativamente para a discussão sobre como mensurá-las. O método para medir essas capacidades pressupõe que é possível interpretar os dados comerciais como uma medida comparativa entre países, através de uma rede bipartida derivada de uma rede tripartida que conecta os países, suas *capabilities* e seus produtos exportados.

Para calcular essa rede bipartida, Hausmann e Hidalgo (2009) utilizam o chamado Método Reflexivo nos dados de comércio internacional para determinar a disponibilidade de *capabilities* nos países. Os resultados desse método servem como indicadores de Complexidade Econômica (ICE), e os autores demonstram que essa complexidade calculada está correlacionada com a renda dos países.

6. VANTAGEM COMPARATIVA REVELADA

Diz-se que um país c tem uma vantagem comparativa revelada em um produto p quando a proporção entre exportações do produto p e suas exportações totais de todos os bens (produtos) excede a mesma proporção para as exportações mundiais:

$$VCR_{cp} = \frac{\frac{X_{cp}}{\sum_{p'} X_{cp'}}}{\frac{\sum_{c'} X_{c'p}}{\sum_{c'p'} X_{c'p'}}} \quad (1.1)$$

onde c' corresponde aos demais países, com exceção do país c , e p' aos demais produtos, com exceção do produto p .

Quando $VCR > 1$, considera-se que o país tem uma vantagem comparativa revelada, o que indica que é um produtor e exportador competitivo daquele produto.

O VCR é utilizado para definir uma matriz discreta M_{cp} que é igual a 1 se o país c tem VCR no produto p e 0 caso contrário, isto é:

$$M_{cp} = 1 \text{ se } VCR_{cp} \geq 1 \quad (1.2)$$

$$M_{cp} = 0 \text{ se } VCR_{cp} < 1 \quad (1.3)$$

A matriz M_{cp} permite definir a diversidade de um país e a ubiquidade de um produto, respectivamente, como o número de produtos que são exportados por um país com vantagem comparativa e o número de países que exportam um produto com vantagem comparativa.

$$\text{Diversidade} = M_c = p \sum M_{cp} \quad (1.4)$$

$$\text{Ubiquidade} = M_p = c \sum M_{cp} \quad (1.5)$$

Utilizamos as matrizes definidas acima para calcular o índice de complexidade econômica (ICE; K_c) e o índice de complexidade do produto (ICP; K_p) da seguinte forma:

$$\tilde{M}_{cc'} = \frac{\sum_p M_{cp} M_{c'p}}{M_c M_{c'}}$$

$$\tilde{M}_{pp'} = \frac{\sum_c M_{cp} M_{c'p}}{M_p M_{p'}}$$

$$\sum_{c'} \tilde{M}_{cc'} = 1$$

(1.6)

$$\sum_{p'} \tilde{M}_{pp'} = 1$$

(1.7)

Como $M_{cc'}$, e $M_{pp'}$ são matrizes linha (matrizes de transição ou de Markov), o primeiro autovetor é um vetor de 1s ($\sum_{c'} M_{cc'}=1$ e $\sum_{p'} M_{pp'}=1$), de forma que o segundo autovetor se torna a métrica da complexidade econômica (Hidalgo 2021)

Na sequência calculamos:

$$K_c = \sum_{c'} \tilde{M}_{cc'} K_{c'}$$

(1.8)

$$K_p = \sum_{p'} \tilde{M}_{pp'} K_{p'}$$

(1.9)

onde K_c e K_p são os autovetores das matrizes $M_{cc'}$ e $M_{pp'}$ respectivamente, associados ao segundo maior autovalor dessas matrizes.

Finalmente, temos que:

$$ICE_c = \frac{K_c - \langle K_c \rangle}{\text{stdev}(K_c)} \quad (1.10)$$

$$ICP_p = \frac{K_p - \langle K_p \rangle}{\text{stdev}(K_p)} \quad (1.11)$$

Em termos econômicos, o ICE é o vetor que melhor divide as economias em grupos com base nas atividades presentes nelas. Valores de $ICE > 0$ representam economias com complexidade maior que a média e valores de $ICP > 0$ representam produtos com complexidade maior que a média. O cálculo é realizado com base em dados de comércio exterior, considerando sua abrangência geográfica, o detalhamento no nível de produtos e seu potencial para refletir o grau de especialização da estrutura produtiva das economias (Hausmann; Hidalgo, 2011). A rede é representada por uma matriz adjacente M_{cp} , que mostra as conexões bipartidas, onde c é o país exportador do produto p . Para permitir a comparação entre países com diferentes volumes de exportação, os valores na matriz serão iguais a 1 quando o país c apresentar uma vantagem comparativa revelada (VCR), conforme desenvolvido por Balassa (1965), nas exportações do produto p , ou seja, quando VCR

≥ 1 ; caso contrário, o valor será zero. Assim, o volume exportado não é considerado, apenas a vantagem comparativa revelada, o que indica a presença das capacidades necessárias na economia (Hidalgo; Hausmann, 2009).

Assim,

$$VCR_{cp} = \frac{X_{cp} / \sum_p X_{cp}}{\sum_c \left(\frac{X_{cp}}{\sum_{c,p} X_c} \right)}$$

$$Mcp = \{ 1 \text{ se } RCA_{cp} \geq 1; 0 \text{ de outra forma} \}$$

O método das reflexões gera um conjunto de variáveis simétricas para os dois tipos de nós na rede, ou seja, países e produtos, capturando a estrutura da rede definida pela matriz Mcp . Dessa forma, a aplicação desse método consiste em calcular, de forma iterativa, o valor médio das características do nível anterior da vizinhança do nó (HIDALGO; HAUSMANN, 2009).

Sendo N o número de iterações, com $N \geq 1$.

$$K_{c,N} = \frac{1}{K_{c,0}} \sum_p M_{cp} K_{p,N-1} \quad K_{p,N} = \frac{1}{K_{p,0}} \sum_c M_{cp} K_{c,N-1} \quad [1] \quad [2]$$

As condições iniciais dadas pelos números de ligações são as somas das diversificações do país c de todos os produtos da matriz Mcp .

$$k_{c,0} = \sum_p M_{cp} \quad [3]$$

$$k_{p,0} = \sum_c M_{cp} \quad [4]$$

As equações 3 e 4 representam, respectivamente, o nível de diversificação do país c e o nível de ubiquidade do produto p . Com $N=1$, obtêm-se as médias da ubiquidade de um produto exportado por determinado país e da diversificação do país que exporta esse produto ($k_{c,1}$ e $k_{p,1}$). Com $N=2$, calcula-se a diversificação média de um país com uma cesta de exportação semelhante à de outro país e a ubiquidade média dos produtos exportados por países que também exportam o mesmo produto ($k_{c,2}$ e $k_{p,2}$). À medida que se aumentam as reflexões, as características dos nós da rede passam a ser uma combinação das propriedades dos nós vizinhos. No entanto, ao levar essas reflexões ao infinito, todos os valores tendem a convergir para suas

respectivas médias (HAUSMANN; HIDALGO, 2011).

Com base nesses dois conceitos, os autores desenvolvem um modelo binomial que investiga as relações entre ubiquidade, diversificação e capacidades, com o objetivo de analisar o comportamento das variáveis conforme suas probabilidades. Consequentemente, o Índice de Complexidade Econômica (ICE), apresentado no *Atlas of Economic Complexity*, é calculado a partir das equações

[1] e [2] (HAUSMANN; HIDALGO, 2011):

[5]

$$K_{c,N} = \frac{1}{K_{c,0}} \sum_p \frac{1}{K_{p,0}} \sum_{c'} M_{c'p} K_{c',N-2}$$

$$K_{c,N} = \sum_{c'} \tilde{M}_{cc'} K_{c',N-2} \quad \tilde{M}_{cc'} = \frac{\sum_p M_{cp} M_{c'p}}{K_{c,0} K_{p,0}} \quad [6] \quad [7]$$

Seja $\vec{K}$ o autovetor de $\tilde{M}_{cc'} = \sum_p M_{cp} M_{c'p} / K_{c,0} K_{p,0}$, associado ao segundo maior autovalor, pois é o que apresenta a maior variância do sistema. Assim, o Índice de Complexidade Econômica (ICE) é definido como:

$$ICE = \vec{K} - \langle \vec{K} \rangle \text{stdev}(\vec{K}) \quad [8]$$

E o ICP, de forma análoga ao Índice de Complexidade Econômica (ICE) e inserindo [1] em [2]:

[9]

$$K_{p,N} = \frac{1}{K_{p,0}} \sum_c \frac{1}{K_{c,0}} \sum_{p'} M_{cp'} K_{p',N-2}$$

$$K_{p,N} = \sum_{p'} \tilde{M}_{pp'} K_{p',N-2} \quad \tilde{M}_{pp'} = \frac{\sum_c M_{cp} M_{cp'}}{K_{c,0} K_{p,0}} \quad [10] \quad [11]$$

Seja $\vec{Q}$ o autovetor de $M_{pp'} = \sum M_{cp}M_{cp'} / k_{p,0}k_{c,0}$ associado ao seu segundo maior autovalor, pelas mesmas razões mencionadas anteriormente. Dessa forma, o Índice de Complexidade do Produto (ICP) será:

$$ICP = \frac{\vec{Q} - \langle \vec{Q} \rangle}{\text{stdev}(\vec{Q})} \quad [12]$$

Assim, o Índice de Complexidade Econômica (ICE) avalia a complexidade econômica de um país, enquanto o Índice de Complexidade do Produto (ICP) mede a complexidade dos produtos. Ou seja, conforme explicado anteriormente, o ICE reflete a estrutura de capacidades existentes em uma economia, e o ICP representa as capacidades exigidas para produzir um determinado produto. A interpretação a ser feita é que, quanto mais elevados forem o ICE e o ICP, maior será a complexidade da economia e do produto, indicando a presença de um maior número de capacidades.

Ao associar países a produtos, é importante levar em conta o volume de exportação dos países e do comércio mundial. Uma maneira de estimar empiricamente se um país é um exportador crucial de um produto é conhecer a Vantagem Comparativa Revelada (VCR) que esse país tem em um produto específico. Quando $VCR > 1$, considera-se que o país tem uma vantagem comparativa revelada, o que indica que é um produtor e exportador competitivo daquele produto.

Na prática, cria-se uma rede bipartida que conecta os países aos produtos que eles exportam de forma significativa. Esses produtos são definidos como aqueles que os países exportam com uma Vantagem Comparativa Revelada ($VCR \geq 1$)

A rede é representada por uma matriz de adjacência que utiliza os valores 1 e 0, indicando, respectivamente, se o país exporta o produto com VCR ou não. Desse modo, é válido utilizar um exemplo para elucidar de forma prática como funciona o VCR. Em 2008, com exportações de US\$42 bilhões, a soja representou 0,35% do comércio mundial. Desse total, o Brasil exportou US\$11 bilhões, e como as exportações totais do Brasil naquele ano foram de US\$140 bilhões, a soja foi responsável por 7,8% das exportações brasileiras. O VCR do Brasil na soja naquele ano foi de:

$$VCR = \frac{7,8}{0,35} = 22,28$$

Assim, concluímos que o Brasil tem vantagem comparativa na exportação de soja. Um VCR maior que 1 mostra que o país possui vantagem comparativa revelada nesse produto, ou seja, ele exporta uma quantidade relativamente maior desse bem em comparação com o restante do mundo. Nesse caso, o Brasil possui uma forte especialização na exportação de soja, o que justifica seu destaque no mercado internacional desse produto.

Nessa perspectiva, considerando cada país e cada produto como um nó na rede, Hausmann e Hidalgo (2009) utilizam o Método Reflexivo, nomeado assim pela simetria da rede bipartida, para calcular cada nó. O método envolve o cálculo iterativo da média dos nós mais próximos.

Dessa forma, a diversidade dos países é medida pelo número de produtos que exportam, e a ubiquidade dos produtos é medida pelo número de países que os exportam. Essas medidas de diversidade e ubiquidade formam a base do conceito de *capabilities*. Por fim, os autores mostram que países mais diversificados tendem a exportar produtos menos comuns, corroborando essa perspectiva. Em um processo de mudança estrutural, seria mais fácil para um país reorganizar as *capabilities* existentes para formar novas, em vez de adquirir aquelas que não possui. A transição para produtos similares aos que já são produzidos, devido ao compartilhamento de conhecimento produtivo, seria menos onerosa do que introduzir produtos muito diferentes dos que o país já fabrica (Hausmann, Hidalgo, 2009).

Dessa forma, aproveita-se o conhecimento já presente na economia, apenas rearranjando as *capabilities* existentes. Para avaliar a quantidade de conhecimentos compartilhados entre dois produtos, utiliza-se o conceito de proximidade, que reflete a similaridade das *capabilities* necessárias para produzir um determinado item. A proximidade é calculada pela probabilidade de dois produtos serem coexportados por vários países. Além disso, é possível calcular a conectividade dos produtos, que é a média de sua proximidade com os outros. Dessa forma, produtos que são muito próximos de muitos outros são altamente conectados e têm maior potencial para o compartilhamento de conhecimento técnico (Hausmann, Hidalgo, 2009).

7. Complexidade Econômica e Funções de Produção

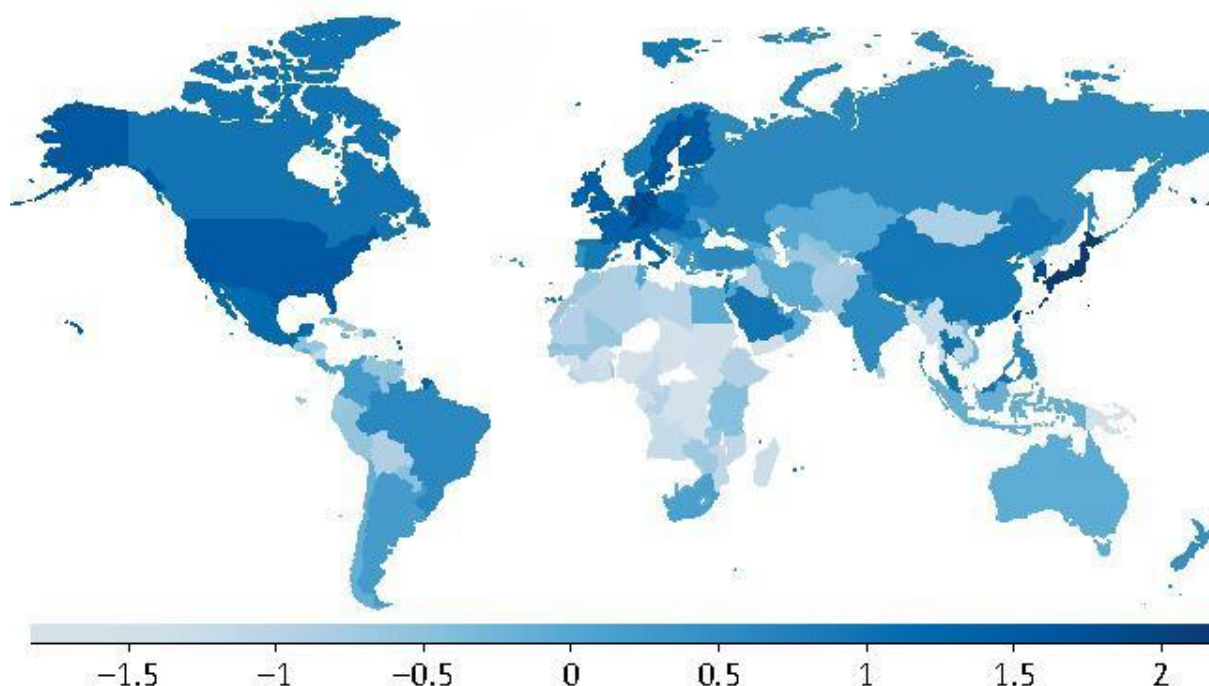
A complexidade econômica está intimamente relacionada à ideia de função de produção em economia, uma função que conecta entradas (fatores) e saídas econômicas (produtos). Essa relação é mediada pela decomposição de valor singular (SVD), uma técnica de fatoração usada para aprender os vetores (fatores) que melhor explicam a estrutura de uma matriz. Quando aplicada a uma matriz de especialização, a SVD pode aprender os fatores que melhor explicam a geografia de múltiplas atividades econômicas. Dessa forma, a SVD de uma matriz de especialização é equivalente a uma função de produção para múltiplas saídas. Assim, a complexidade econômica, quando definida como médias iterativas (ICE), satisfaz algumas propriedades importantes. Observa-se que a complexidade de um local só aumenta quando um local adiciona uma atividade que está acima de sua média atual. Esse recurso evita uma métrica de complexidade que aumenta ao adicionar atividades de baixa sofisticação. Como M_{cc}'' e M_{pp}' são normalizados pela soma de linhas (M_c) e colunas (M_p), elas dão mais peso coincidências inesperadas (coincidências com mais informações, no sentido da teoria da informação). Como essas métricas de complexidade vêm de matrizes de proximidade diagonalizadas, elas fornecem valores semelhantes para locais que têm padrões semelhantes de especialização. O ICE não precisa saber como é feito todo o processo sobre quais atividades são mais sofisticadas tecnologicamente, porque isso é inferido diretamente dos dados.

8. Índice de complexidade econômica (exportações por países)

A figura 4 apresentada abaixo é fundamental para ilustrar visualmente como a diversificação econômica e o potencial de crescimento de um país estão associados aos tipos de produtos que ele exporta e às habilidades produtivas necessárias para produzi-los. O Índice de Complexidade Econômica (ICE), mostrado no mapa, utiliza tons de azul para representar a complexidade das exportações dos países ao redor do mundo. Países com tons mais escuros, como Japão, Suíça, Alemanha, Coreia do Sul e Estados Unidos, possuem exportações altamente complexas e diversificadas, incluindo tecnologias avançadas e produtos de alto valor agregado. Estes países contam com infraestrutura sofisticada e conhecimento técnico elevado, o que permite maior diversificação econômica.

Por outro lado, países representados em tons mais claros, como Angola, Nigéria, Congo e Afeganistão, apresentam baixa complexidade econômica, com economias concentradas na exportação de produtos primários, como petróleo e minerais.

Figura 4: Índice de complexidade econômica de exportação dos países.



Fonte: Hidalgo, C. A. (2021). *Economic complexity theory and applications*.

No mapa acima do Índice de Complexidade Econômica (ICE), representado como figura 4, as cores indicam a complexidade das exportações dos países. As áreas mais escuras representam países com maior complexidade econômica nas

exportações, enquanto as áreas mais claras representam países com menor complexidade, conforme mencionado anteriormente (Hidalgo, 2021).

É importante reiterar que os países com maior complexidade de exportação (tons mais escuros), como Japão, Suíça, Alemanha, Coreia do Sul, Suécia e Estados Unidos, estão entre os países com exportações mais complexas (cor mais escura no azul). Esses países exportam uma ampla variedade de produtos com alto valor agregado, como tecnologias avançadas, produtos químicos e equipamentos eletrônicos, além de possuírem economias altamente diversificadas. A diversificação e sofisticação dos produtos exportados exigem um alto nível de conhecimento e infraestrutura, resultando em maior complexidade (Hidalgo, 2021).

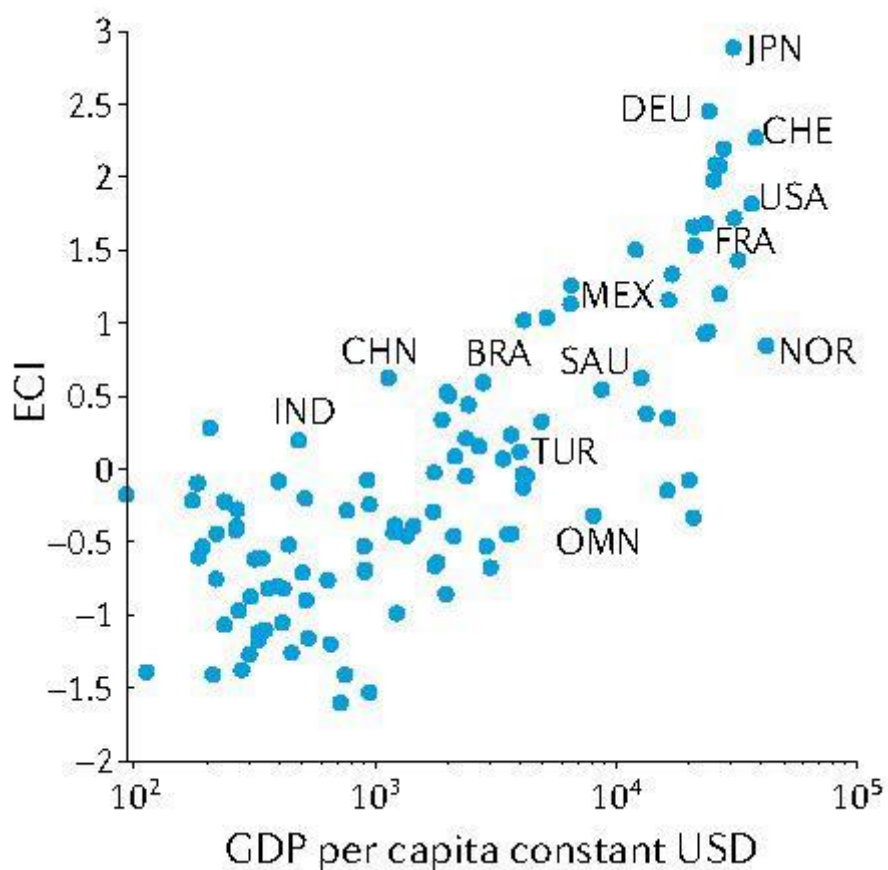
França, Reino Unido, Holanda, Bélgica e Finlândia também aparecem com cores escuras. Esses países possuem indústrias avançadas em setores como automóveis, aeronáutica, produtos farmacêuticos e equipamentos de telecomunicações, o que contribui para uma economia exportadora complexa diversificada (Hidalgo, 2021).

Por outro lado, os países com menor complexidade de exportação (tons mais claros), como Angola, Nigéria, Congo, Chade e Afeganistão, estão entre os países mais claros no mapa, indicando baixa complexidade nas exportações. A economia desses países, como citado anteriormente, é geralmente dependente de poucos produtos primários, como petróleo, minerais ou produtos agrícolas. Eles têm menor diversificação industrial e exportam principalmente matérias-primas ou produtos de baixo valor agregado, resultando em menor complexidade econômica (Hidalgo, 2021).

A América Central e a África Subsaariana também apresentam áreas com cores claras. A maioria desses países possui uma base de exportação focada em commodities como café, bananas e minerais, com menos diversificação e complexidade em setores de alta tecnologia ou manufatura avançada (Hidalgo, 2021).

A complexidade econômica é influenciada pela diversidade e sofisticação dos produtos que um país exporta. Países mais escuros no mapa, como Japão e Alemanha, possuem economias altamente diversificadas e exportam produtos complexos, enquanto países mais claros, como aqueles na África Subsaariana, dependem fortemente de commodities e têm economias menos diversificadas. Essa distribuição reflete as diferenças no desenvolvimento industrial e tecnológico, na infraestrutura e no nível de educação e inovação em cada país (Hidalgo, 2021).

Figura 5: O impacto da complexidade econômica no PIB per capita e no crescimento.



Fonte: Hidalgo, C. A. (2021). *Economic complexity theory and applications*.

Com a figura 5, é possível construir uma visão abrangente sobre como a complexidade econômica das exportações impacta o desenvolvimento econômico e o PIB per capita de diferentes países. O gráfico destaca a relação entre a complexidade econômica das exportações de diferentes países e seu nível de renda per capita constante em dólares. Observa-se que países com PIB per capita mais elevado (eixo horizontal) tendem a ter uma complexidade econômica superior (eixo vertical). Isso sugere que economias com alto valor de complexidade exportadora também mantêm uma estrutura de produção e exportação diversificada e avançada, resultando em maior riqueza per capita.

No gráfico acima, na figura 5, está sendo analisada a relação entre a Complexidade Econômica das Exportações (ICE) e o Produto Interno Bruto (PIB) per capita constante em dólares (GDP per capita constant USD). O termo GDP per capita constant USD (PIB per capita constante em dólares) refere-se ao PIB per capita ajustado pela inflação, o que significa que ele reflete o valor da produção econômica por pessoa em um país, mantendo constantes os preços ao longo do tempo. Isso é

importante para eliminar o efeito da inflação ao comparar a renda de diferentes anos ou entre diferentes países (Hidalgo, 2021).

O eixo horizontal (GDP per capita constante USD) mostra o nível de renda de cada país, enquanto o eixo vertical (ICE) mostra a complexidade de suas exportações.

Vale destacar a posição do Brasil e da China no gráfico. No gráfico, o Brasil (BRA) e a China (CHN) têm níveis de complexidade de exportação semelhantes (em torno de 0), indicando que ambos os países exportam uma combinação de produtos primários e manufaturados, com uma base industrial relativamente diversificada. Embora a China tenha uma capacidade industrial gigantesca e diversificada, sua economia ainda está em transição de uma dependência maior de indústrias de baixa complexidade (como têxteis e eletrônicos de montagem) para produtos de maior valor agregado e inovação tecnológica. O Brasil, por sua vez, tem uma economia diversificada, exportando produtos como soja, carne e minério de ferro, além de alguns produtos industrializados (aviões, automóveis, etc.). No entanto, o Brasil é mais dependente de commodities do que a China, o que explica uma complexidade econômica similar, mas não idêntica (Hidalgo, 2021).

Países na parte superior do gráfico (ICE elevado):

- Exemplos: Japão (JPN), Alemanha (DEU), Suíça (CHE), Estados Unidos (USA)
- Esses países estão no topo porque possuem economias muito diversificadas e complexas, baseadas em indústrias avançadas, como automóveis, aeronáutica, eletrônicos, produtos químicos e serviços financeiros de alta sofisticação. Eles investem muito em pesquisa e desenvolvimento, inovação tecnológica e educação, o que permite a produção e exportação de bens de alto valor agregado. Eles também têm alta renda per capita, refletindo economias ricas e desenvolvidas, com uma população produtiva e infraestrutura avançada (Hidalgo, 2021).

Países na parte inferior do gráfico (ICE baixo):

- Exemplos: Omã (OMN), Índia (IND), Nigéria (não está destacado no gráfico, mas estaria em posição inferior)

- Esses países exportam predominantemente produtos primários (petróleo no caso de Omã e commodities agrícolas e minerais no caso da Índia e outros países em desenvolvimento). Suas economias são menos diversificadas e dependem de um número limitado de setores, com menos indústrias de alta tecnologia ou sofisticação. Muitos desses países possuem baixa renda per capita, além de apresentar um PIB per capita relativamente baixo, o que reflete a concentração de riqueza em poucos setores e uma distribuição desigual dos benefícios econômicos entre a população (Hidalgo, 2021).

Países na parte superior direita (alta complexidade e alto PIB per capita)

- Economias altamente desenvolvidas, com exportações diversificadas e sofisticadas.

Países na parte inferior esquerda (baixa complexidade e baixo PIB per capita)

- Geralmente menos desenvolvidos, com economias dependentes de um número limitado de produtos primários ou de baixo valor agregado (Hidalgo, 2021).
- A complexidade econômica mede a diversidade e sofisticação dos produtos exportados, enquanto o PIB per capita constante ajusta o valor econômico por pessoa ao longo do tempo. Países com alta complexidade e PIB per capita elevado tendem a ser mais ricos e diversificados, enquanto os que estão na parte inferior do gráfico exportam principalmente commodities e têm menores níveis de renda. O Brasil e a China estão no meio dessa escala, refletindo a transição e a diversificação de suas economias (Hidalgo, 2021).

9. DIVERSIDADE E UBIQUIDADE COM UMA ABORDAGEM BIOLÓGICA.

A diversidade e a ubiquidade como medidas de sistemas complexos são amplamente utilizadas na biologia. Tachella (2016) demonstra que as chamadas "radiações evolucionárias" são altamente dependentes da diversidade biológica, aumentando a resiliência do sistema. Por outro lado, a ubiquidade se assemelha ao conceito de "aninhamento", que sugere que apenas alguns indivíduos possuem características que lhes permitem usar certos recursos exclusivos. Esse arcabouço é aplicado em estudos como o de Hidalgo (2009), que examina a mudança na estrutura produtiva de um grupo de países ao longo de 42 anos, através da perspectiva do espaço de produtos. O autor busca capturar como os países acumulam *capabilities* durante seu desenvolvimento. Hidalgo (2009) mostra que é possível observar uma forte rigidez na estrutura produtiva da maioria dos países, mas destaca que alguns conseguiram acumular *capabilities* rapidamente, desviando desse padrão. Exemplos de mudanças estruturais aceleradas incluem Brasil, Indonésia, Turquia, Malásia, Tailândia, Coreia, Singapura e China.

Além disso, outras contribuições baseadas no *Product Space* foram realizadas, como a rede de *hidden capabilities* (conhecimento técnico oculto). Cheng, Dongfeng e Xianqian (2013) desenvolveram essa rede a partir do *Product Space*. Esse desenvolvimento é eficaz na identificação das mudanças tecnológicas ao longo do tempo em uma unidade de análise e, ao se relacionar com a renda de cada país, mostra a conexão entre o conhecimento técnico e o nível de desenvolvimento dos países.

O Método Reflexivo foi utilizado por outros autores para calcular a complexidade de produtos e países e entender melhor a conformação do *Product Space*. Utilizando o método, calcularam a complexidade de 5.107 produtos e 124 países. Assim, eles conseguiram fazer um ranking no qual os produtos mais complexos foram os de máquinas, químicos e metais. Quanto aos países, Japão, Alemanha e Suécia aparecem como os mais complexos. Como previsto, os autores encontraram que os produtos mais complexos eram exportados pelos países de maior renda.

O Índice de Complexidade Econômica ainda possui outras utilidades, além de medir a capacidade técnica dos países. Mealy et al. (2018) mostram que o índice de complexidade econômica também funciona como um algoritmo de formação de

clusters para medir a diversidade e o total de *capabilities* dos países. Nesse sentido, o ICE é útil como ferramenta para agrupar países de acordo com seu nível tecnológico. Como no desenvolvimento dos países a tendência é alta especialização no começo, diversificação durante o estágio intermediário e, por fim, especialização em produtos sofisticados, a complexidade econômica seria uma boa medida do grau de desenvolvimento das nações (Mealy et al., 2018).

Portanto, a complexidade econômica é uma medida valiosa do grau de desenvolvimento das nações. O Índice de Complexidade Econômica (ICE) tem outras aplicações além de medir a capacidade técnica dos países. Mealy et al. (2018) demonstram que o ICE também atua como um algoritmo de formação de clusters, útil para medir a diversidade e o conjunto total de *capabilities* dos países. Nesse contexto, o ICE é uma ferramenta valiosa para agrupar países de acordo com seu nível tecnológico. Durante o desenvolvimento, os países tendem a apresentar alta especialização no início, diversificação no estágio intermediário e, finalmente, especialização em produtos sofisticados. Portanto, a complexidade econômica é uma boa medida do grau de desenvolvimento das nações (Mealy et al., 2018).

10. CONCLUSÃO

O presente trabalho explorou a metodologia Product Space, idealizada por Ricardo Hausmann e César Hidalgo, ressaltando sua relevância como uma ferramenta analítica indispensável para compreender a complexidade econômica e identificar oportunidades de diversificação produtiva. Por meio de conceitos fundamentais como o Índice de Complexidade Econômica (ICE), o Índice de Complexidade do Produto (ICP), a Vantagem Comparativa Revelada (VCR) e o método das reflexões, foi possível apresentar uma análise detalhada da dinâmica produtiva das economias.

A análise evidenciou que economias mais complexas possuem alta diversidade de produtos exportados e baixa ubiquidade desses bens, características que refletem a acumulação de *capabilities*. Essas capacidades, que englobam tanto conhecimentos tácitos quanto explícitos, permitem a produção de bens sofisticados e tecnologicamente avançados. Em contrapartida, economias menos complexas, dependentes de produtos primários e de menor valor agregado, enfrentam desafios significativos para diversificar suas estruturas produtivas.

O ICE se destacou como uma métrica robusta para mensurar o grau de sofisticação de uma economia, combinando as dimensões de diversidade e ubiquidade. Economias com ICE elevado apresentam maior capacidade produtiva e potencial de crescimento, ao passo que o ICP complementa essa análise ao quantificar a complexidade dos produtos, sinalizando maior retorno econômico e competitividade. Juntos, ICE e ICP oferecem uma visão integrada sobre o papel das estruturas produtivas no desenvolvimento econômico.

A Vantagem Comparativa Revelada (VCR) foi apresentada como uma métrica essencial para identificar produtos estratégicos que alicerçam o crescimento econômico. A relação entre VCR e a proximidade no Product Space destacou como a especialização inicial de um país pode facilitar transições produtivas para setores adjacentes de maior complexidade, otimizando o uso das capacidades existentes.

O método das reflexões, por sua vez, foi fundamental para calcular de forma precisa os índices de complexidade. Por meio de iterações que ajustam os valores de diversidade e ubiquidade, ele reflete as propriedades das conexões produtivas, permitindo identificar padrões de especialização e orientar estratégias econômicas. Essa técnica analítica possibilita a obtenção do ICE e do ICP, cujas aplicações abrangem desde a formulação de políticas públicas até o desenvolvimento de

estratégias de diversificação.

Dessa forma, o Product Space se consolidou como uma ferramenta prática para mapear as interconexões entre produtos, identificar lacunas produtivas e orientar as economias em sua transição para setores de maior sofisticação. Ao aplicar essas métricas, é possível estruturar políticas públicas direcionadas ao fortalecimento de capacidades produtivas e ao investimento estratégico, promovendo um crescimento econômico sustentável e inclusivo.

Em síntese, a integração entre o método das reflexões, ICE, ICP e VCR proporciona uma análise abrangente e detalhada das dinâmicas econômicas, destacando caminhos claros para economias que buscam avançar rumo à diversificação e ao desenvolvimento. Essa metodologia, ao alinhar dados e planejamento estratégico, se posiciona como um recurso indispensável para governos, empresas e formuladores de políticas que desejam maximizar o potencial competitivo de suas economias no cenário global, reduzindo desigualdades regionais e promovendo a prosperidade econômica.

No entanto, apesar de o método ser disruptivo e apresentar métricas inovadoras para a economia, é importante destacar que a metodologia possui limitações que devem ser evidenciadas para uma análise criteriosa do seu funcionamento. Primeiramente, a metodologia utiliza apenas relações de coexportação entre produtos para inferir similaridades e capacidades produtivas, o que depende fortemente da qualidade e da abrangência dos dados de comércio exterior. Esses dados podem não capturar integralmente os fatores que determinam a produção, como barreiras comerciais, políticas locais e especificidades regionais.

O uso de métricas como diversidade e ubiquidade para medir a complexidade de economias e produtos simplifica a realidade econômica. O modelo assume que as proximidades entre produtos no gráfico de *Product Space* representam capacidades similares, mas não considera diferenças institucionais, culturais ou tecnológicas que podem ser críticas. Além disso, a metodologia baseia-se em padrões de exportação passados para prever potenciais de diversificação, não levando em conta mudanças disruptivas na tecnologia ou no mercado que podem alterar radicalmente o panorama produtivo (por exemplo, avanços em IA ou mudanças climáticas).

A análise enfatiza capacidades produtivas específicas de produtos, mas capacidades institucionais, sociais e tecnológicas mais amplas podem influenciar significativamente o sucesso da diversificação econômica. Fatores como governança,

estabilidade política e investimentos em educação, essenciais para construir capacidades produtivas, são ignorados.

Nessa perspectiva, países com economias altamente dependentes de produtos simples, como commodities, enfrentam grandes dificuldades em transitar para produtos mais complexos devido à distância no *Product Space*. No entanto, o modelo não oferece soluções claras para superar lacunas substanciais de capacidades produtivas.

Além disso, as classificações de complexidade de produtos e economias (ICE e ICP) são dinâmicas e podem mudar conforme novos países começam a produzir produtos sofisticados. Isso pode dificultar a formulação de políticas públicas de longo prazo baseadas nesses índices. Ademais, o método das reflexões, embora poderoso, pode gerar métricas difíceis de interpretar para não especialistas. A interpretação das iterações e das interações entre diversidade e ubiquidade requer expertise técnica, limitando sua aplicabilidade prática.

REFERÊNCIAS

- Balassa, B. (1965). **Liberalização do comércio e vantagem comparativa revelada.** *Manchester School of Economics and Social Studies*, 33, 99-123.
- Cheng, Z., Dongfeng, T., & Xiangqian, L. (2013). **A rede oculta de capacidades no Product Space.**
- Freitas, E. R. (2018). **Diversificação e sofisticação das exportações: uma aplicação do Product space aos dados do Brasil** (Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília.
- Freitas, E., & Paiva, E. (2015). **Expansão e aprimoramento das exportações: análise do Product Space para o Brasil.** *Economia do Nordeste*, 46(3), 79-98.
- Hausmann, R., Chauvin, J. (2015). **Explorando o possível adjacente: Descobrimos caminhos para diversificação de exportações em Ruanda.** CID, abril. (Discussão, 294).
- Hausmann, R., Hwang, J., & Rodrik, D. (2007). **A relevância do que você exporta.** *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1-25.
- Hausmann, R., Hwang, J., & Rodrik, D. (2007). **What you export matters.** *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1–25.
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jimenez, J., Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2011). **The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity.** Harvard University Press.
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A. (2011). **The network structure of economic output.** *Journal of Economic Growth*, 16(4), 309–342.
- Hausmann, R., Klinger, B. (2006). **Transformação estrutural e padrões de vantagem comparativa no Product Space.** CID, Kennedy School of Government, Harvard University. (Discussão, 128).
- Hausmann, R., Klinger, B. (2007). **A estrutura do Product Space e a evolução da vantagem comparativa.** CID, Centro de Desenvolvimento Internacional,

Harvard University. (Discussão, 146).

Hausmann, R., Rodrik, D. (2003). **O desenvolvimento econômico como autodescoberta**. *Journal of Development Economics*, dezembro.

Hausmann, R., Santos, M.A., & Obach, J. (2017). **Avaliando o potencial econômico do Panamá: Recomendações para crescimento sustentável e inclusivo**. CID, maio. (Discussão, 334).

Hausmann, R., et al. (2019). **Estratégias de crescimento para a Jordânia**. CID, fevereiro. (Discussão, 346).

Hidalgo, C. A. (2021). **Economic complexity theory and applications**. *Nature Reviews Physics*, 3(2), 92–113

Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). **The building blocks of economic complexity**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10570–10575.

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A.-L., & Hausmann, R. (2007). **The product space conditions the development of nations**. *Science*, 317(5837), 482–487.

Hidalgo, C. et al. (2017). **Conectando complexidade econômica, instituições e desigualdade de renda**. *World Development*, 93, 75-93.

Hidalgo, C.A. (2009). **A dinâmica da complexidade econômica e o Product Space ao longo de 42 anos**. CID, Kennedy School of Government, Harvard University. (Discussão, 128).

Lall, S. (1992). **Capacidades tecnológicas e industrialização**. *World Development*.

Mealy, P., Doyne Farmer, J., & Teytelboym, A. (2018). **Uma nova interpretação do Índice de Complexidade Econômica**.

Resende, A. (2006). **Avaliação do impacto de um programa de transferência de renda: Efeitos do Bolsa-Escola nos gastos familiares brasileiros**. Dissertação de Mestrado, CEDEPLAR, UFMG.

Tacchella, A., Cristelli, M., Gabrielli, A., Caldarelli, G., & Pietronero, L. (2012). **Nova métrica para avaliar a complexidade econômica dos países.** *Scientific Reports*

Zaccaria, A., Cristelli, M., Kupers, R., Tacchella, A., & Pietronero, L. (2016). **Um estudo de caso para uma nova métrica de complexidade econômica: Os Países Baixos.** *Journal of Economic Interaction and Coordination*.