

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO - UNIFESP
ESCOLA PAULISTA DE POLÍTICA ECONOMIA E NEGÓCIOS**

LUIZ GUSTAVO BATISTA DOS SANTOS

**EM QUE FASE ESTAMOS? CRESCIMENTO ECONÔMICO
BRASILEIRO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.**

Osasco

2021

LUIZ GUSTAVO BATISTA DOS SANTOS

**EM QUE FASE ESTAMOS? CRESCIMENTO ECONÔMICO
BRASILEIRO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de São Paulo como requisito para a obtenção de grau em Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado

Osasco

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Unifesp Osasco
e Departamento de Tecnologia da Informação Unifesp Osasco,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237q SANTOS, Luiz Gustavo Batista dos
Em que fase estamos? Crescimento econômico brasileiro
com inteligência artificial / Luiz Gustavo Batista dos Santos. -
2021.
52 f. :il.

Trabalho de conclusão de curso (Ciências Econômicas) -
Universidade Federal de São Paulo - Escola Paulista de Política,
Economia e Negócios, Osasco, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado.

1. Desenvolvimento econômico. 2. General Purpose
Technology. 3. Inteligência artificial. 4. Solow's Paradox. I. |
Machado, Prof. Dr. Eduardo Luiz, II. TCC - Unifesp/EPPEN. III.
Título.

CDD: 330

DEDICATÓRIA

Ao Deus Eterno e Real.

AGRADECIMENTOS

Crescer não é algo que se faz sozinho. Existe uma contribuição direta e indireta de todos aqueles que nos cercam, mesmo que seja de forma virtual. Com este espírito, busco lembrar de todos aqueles que fizeram parte minha vida – mas sabendo que não sou perfeito - neste período tão importante na vida de um brasileiro, que é a conclusão de um curso superior. Espero que nos próximos anos, com a evolução do engajamento desta nova geração de jovens e daqueles que já estão caminhando a mais tempo, possamos aproveitar as novas tecnologias, e trabalhar ainda mais os conceitos de crescimento e desenvolvimento econômicos, pois estes podem ser a solução de um mundo onde as distâncias estão cada vez menores.

Agradeço a minha esposa Lucicléia, e aos meus filhos João Pedro e Luiz Henrique, por me permitirem, com muita alegria e leveza, cedendo os seus momentos de convívio e trabalho, para que eu pudesse sonhar mais alto.

Agradeço também, aos meus pais, aos pais de minha esposa, e família, que sempre com maturidade me apoiaram das mais diversas formas.

Não posso deixar de lembrar dos meus eternos professores e todos os funcionários da Universidade Federal de São Paulo, que tanto trabalharam para que eu pudesse ter uma excelente formação e, hoje desfrutar de tão boas lembranças.

Meu agradecimento especial ao meu professor e orientador, Dr. Eduardo Luiz Machado, que de forma simples e inteligente, apresentou-me a novos mundos e, sua empatia e amizade levarei para a vida.

Quero agradecer ao professor Dr. Paulo Costacurta de Sá Porto por fazer parte da banca de defesa de monografia e, cuja minha admiração se faz presente.

Ao ministério cristão Unifesp: Priscila e Rodolfo, ao partilhar um sonho eterno.

Lembro também dos meus amigos do curso de Ciências Econômicas, que me permitiram participar de seus sonhos pessoais, sendo eles: Fernanda, Janaína, Juan, Boro, Gabriel, Beatriz, Larissa, Stefani, Marcelo, Motte, Flávia, Thaís, Megumi, Damasceno, Gustavo, Jânio, Leandro, Luan, Lucas, Lucas Borges, Nicolleti, Mateus, Renan, Wanduilton, Reidson, Thiago, Wallan, Joas, Raphael, Giovani e, aos muitos injustiçados por minha memória.

Também não posso esquecer de agradecer aos muitos amigos de outros cursos da Unifesp, que numa visão própria, me ensinaram muito e, aos meus colegas de trabalho, que com seus questionamentos, me fizeram entender melhor o mundo de quem busca uma solução para as famílias e sociedade.

RESUMO

A presente monografia visa percorrer de forma sucinta o amplo terreno que se constitui o estudo da influência de uma *General Purpose Technology* – Inteligência Artificial – no crescimento econômico brasileiro. É percebido como ponto de partida o *Solow's Paradox*, e sua evolução no meio acadêmico, em que há concordância e oposição as suas afirmações. Passa-se, com isso, a estudar, então o assunto como um sistema de engrenagens mecânico de formação de capital, onde os componentes são: o setor de Tecnologia da informação e comunicação - ICT, o setor de inteligência artificial - IA e o setor do produto - GDP por trabalhador. O Brasil está na fase de desaceleração de crescimento econômico com inteligência artificial (*slowdown*), mas rumo para fase de *steady-state*, onde localiza-se abaixo do estado estacionário do produto por trabalhador e, acima deste no capital por trabalhador. Algumas das possíveis causas são: baixa relação capital-trabalho, falta de coordenação de mercado, *J-curve*, *Global value chains* que perdem força e, outras possíveis que a literatura relata.

Palavras-chave: Crescimento Econômico. *General Purpose Technology*. Inteligência Artificial. *Solow's Paradox*.

ABSTRACT

This monograph aims to cover in a succinct way the broad terrain that constitutes the study of the influence of a General Purpose Technology - Artificial Intelligence - in the Brazilian economic growth. Solow's Paradox is perceived as a starting point, and its evolution in the academic world, in which there is agreement and opposition to its statements. With that, we started to study, then the subject as a mechanical gearing system of capital formation, where the components are: the sector of Information and Communication Technology - ICT, the sector of artificial intelligence - AI and the sector output - GDP per worker. Brazil is in the phase of decelerating economic growth with artificial intelligence (slowdown), but heading towards the steady-state phase, where it is located below the steady state of the product per worker and above this in the capital per worker. Some of the possible causes are: low capital-to-labor ratio, lack of market coordination, J-curve, Global value chains that lose strength, and other possible ones that the literature reports.

Keywords: Artificial Intelligence. Economic growth. General Purpose Technology. Solow's Paradox.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados Macroeconômicos.....	50
Tabela 2 - Trabalhador Data e AI por 10000 novos empregos.....	50
Tabela 3 - Admissões, demissões e saldo de trabalhadores.....	50
Tabela 4 – Dados de Capital por Trabalhador.....	50
Tabela 5 – Dados de Produto por Trabalhador corrigido.....	51
Tabela 6 – Dados de Taxa de Crescimento da População do Brasil.....	51
Tabela 7 – Dados da Taxa de Investimento-Poupança.....	51
Tabela 8 – Derivada Primeira do Modelo de Produto por Trabalhador.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capital por Trabalhador versus Taxa de Crescimento do Produto por
Trabalhador em AI.....52

Figura 2 – Produto por Trabalhador versus Capital por Trabalhador em Data e
AI.....52

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	12
2.OBJETIVO.....	13
2.1.Objetivo geral.....	13
2.2.Objetivo específico.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1. <i>Solow's Paradox</i>	15
3.2. <i>General Purpose Technology – GPT</i>	18
3.3.Inteligência Artificial.....	21
4. METODOLOGIA.....	24
4.1. Modelo Teórico.....	24
4.1.1. Função de produção log-linearizada.....	25
4.1.2. Modelo econométrico teórico do produto.....	26
4.2. Função de produto por trabalhador.....	26
4.2.1. Função de produto por trabalhador log-linearizada.....	27
4.2.2. Modelo econométrico teórico do produto por trabalhador.....	27
4.3. Função de produto por trabalhador em percentual de crescimento.....	27
4.3.1. Função variação percentual de produto por trabalhador log-linearizada.....	28
4.3.2. Modelo econométrico teórico percentual de produto por trabalhador.....	28
4.4. Coleta de dados.....	28
4.4.1. Análise do conjunto de dados.....	29
5. RESULTADOS.....	30
5.1. Modelo de produto com tecnologia.....	30

5.1.1. Variáveis derivadas internas ao modelo corrigido.....	32
5.2. Modelo de produto por trabalhador com tecnologia.....	33
5.2.1. Variáveis derivadas internas ao modelo de produto por trabalhador corrigido.....	35
5.2.2. Derivação do modelo de produto por trabalhador.....	36
5.3. Modelo de porcentual de produto por trabalhador com tecnologia.....	36
5.3.1. Variáveis derivadas internas ao modelo de produto por trabalhador corrigido.....	38
5.3.2. Derivação do modelo de Produto por Trabalhador – taxa de crescimento.....	38
5.4. Acumulação de capital com tecnologia.....	38
5.5. Estado estacionário.....	39
5.5.1. Estatística de Estado Estacionário de produto por trabalhador.....	39
5.5.2. Estatística de Estado Estacionário de capital por trabalhador.....	40
6. CONCLUSÃO.....	40
7. BIBLIOGRAFIA.....	43
ANEXO 1 – Tabelas.....	50
ANEXO 2 – Figuras.....	52

1. INTRODUÇÃO

Quando se pensa na evolução de tecnologias e seus impactos, geralmente associa-se à inovação, o crescimento econômico e, bem-estar de todos aqueles que podem se beneficiar delas.

Com o passar do tempo, algumas tecnologias destacaram-se ao desenvolverem-se desde as mais remotas eras até os dias atuais, e algumas delas, de acordo com rigorosas especificações foram classificadas como *General Purpose Technologies (GPT)*, isto é, aquelas que servem como base de outras tecnologias, e seu desenvolvimento implica transbordamento de efeitos e aumento de produtividade. Dentre elas, estão a roda de água, o motor de combustão interna e a eletricidade.

Neste trabalho será estudado o emprego de uma tecnologia transformacional e fator proeminente da Quarta Revolução Industrial, de acordo com Shehory (2020), que tem a grande chance de ser classificada como *GPT* e, seus efeitos e capacidades de gerar crescimento econômico de um país: a inteligência artificial e, na qual se dará maior ênfase ao Brasil.

Na teoria do crescimento econômico, desenvolveram-se algumas hipóteses para tentar descrever como o crescimento se dá. Neste trabalho, será dada especial atenção a teoria desenvolvida por *Robert M. Solow*, que afirma que não são todas as vezes que uma nova tecnologia gera crescimento econômico, podendo gerar até um decréscimo deste. Este fato ficou conhecido como *Solow's Paradox* e, uma série de estudos que buscam entendê-lo. Argumenta-se que existem fatos que descrevem claramente, que toda a vez que uma *GPT* surge, provoca uma queda no crescimento econômico, isto é, ao invés de ter um aumento positivo e correlacionado com o otimismo de seu aparecimento. Em determinadas fases ela gera queda que só era percebida depois nos resultados de produtividade serem apresentados. Como explicar que uma tecnologia que aumenta a produtividade leva a queda das taxas de crescimento econômico? Com isso, desenvolveram-se uma série de estudos e, aos quais nos dias de hoje, conseguem descrever o que de fato acontece com o crescimento econômico quando está submetida a uma *GPT*. Algumas destas tentativas de explicações e, que estão bastante alinhadas são: medição errada dos *inputs*, medição errada dos *outputs* e má distribuição de renda entre adotantes.

Surgiram outras também muito suscetíveis de serem potenciais explicações, tais como a má medição de fatores intangíveis da produtividade total dos fatores, ou má medição dos fatores tangíveis complementares à *GPT*, isto é, novas tecnologias que devem ser desenvolvidas para dar suporte necessário, além de ativos que devem ser incluídos para que a *GPT* tenha efetividade.

Uma das teorias e ferramentas que será adotada neste estudo é a *J-CURVE*, que busca explicar que toda *GPT* gera um decrescimento inicial do crescimento econômico, depois uma subida e, finalmente uma estabilidade da leitura da produtividade, dependendo da fase em que se encontra a implantação dos fatores intangíveis complementares da *GPT*, e melhor definida posteriormente. Também será utilizada a noção de formação de capital do modelo de *Solow*.

Com base nisto, foram feitos alguns estudos econométricos que buscam concluir que o crescimento econômico pode depender do estado estacionário dos setores de Tecnologia de Informação e Comunicação - ICT, ou setor de Inteligência Artificial. Muitos dos estudos em relação às novas tecnologias atribuem geralmente a queda no crescimento econômico devido a fatores intangíveis, tais como escolaridade, treinamento, demografia e custos de *Selling General & Administrative Expense*. (SG&A).

Assim, o estudo visa apresentar o estado em que se localiza e possíveis soluções, para a dúvida presente: em que fase do crescimento econômico o Brasil está, quando se utiliza inteligência artificial? Desaceleração (*slowdown*) ou estabilidade (*steady-state*)? Diante do exposto, observa-se que o crescimento econômico com IA, encontra-se na fase de *slowdown* e, dando os primeiros passos para a fase de *steady-state*.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho busca analisar como age e, também compreender os efeitos da utilização de Inteligência artificial no crescimento econômico brasileiro.

2.2. Objetivo específico

i) Buscar analisar, através de estudos anteriores, sobre a existência do *Solow's Paradox* atualmente, ii) Compreender de forma mais ampla o papel das *General Purpose Technologies*, iii) Propor análise da formação de capital dos setores de Tecnologia de informação e Comunicação - ICT e, de Inteligência Artificial para determinar se a posição do Brasil está no espectro de fase de desaceleração (*slowdown*) ou estabilidade (*steady-state*).

3. REVISÃO DE LITERATURA

Prossegue-se com o seguinte raciocínio:

If I have seen further it is by standing on the shoulders of giants.
(Isaac Newton).

O mundo em 2020, em período de Pandemia de Covid-19, e especialmente nas últimas décadas, tem passado por mudanças que deixam qualquer economista com um ponto de interrogação nas suas mais sinceras convicções, principalmente quando se coloca sobre este a responsabilidade de desvendar qual será a previsão mais correta do comportamento da economia de determinado país ou conjunto de países, no curto e longo prazo.

A teoria do crescimento econômico, vem então construindo um arcabouço de modelos cada vez mais bem elaborados, que tentam estabelecer um caminho simples, para que os tomadores de decisão possam criar políticas que atendam ao constante desafio de compreender as necessidades de uma população em ascendente crescimento no mundo e, que demanda cada vez mais recursos escassos.

Com isso, não somente são postos em vista modelos de crescimento, mas também estudos que tentam relacionar o comportamento da economia de um país em relação aos outros de diversas formas.

Surgem, neste contexto, então, os conceitos de convergência-sigma, convergência-beta, e clubes de convergência, que estabelecem como meta comum, como uma tendência, de que a taxa de crescimento destas economias se encontrarão num determinado e estável ponto no futuro, valendo esta teoria para países de

características iguais, como membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) ou pobres, emergentes, ou outras características, que podem ser diferentes, segundo Abramovitz (1986) e Durlauf et al. (2008).

O presente trabalho foi elaborado como uma missão de trazer ao Brasil, para próximo dos tomadores de decisão, pesquisadores, profissionais e estudantes uma visão abrangente do que vem sendo discutida no mundo sobre a atuação de uma *General Purpose Technology (GPT)*, chamada de Inteligência Artificial, que vem para alguns como símbolo de entusiasmo e para outros como sinal de grande preocupação. O consenso geral é de entusiasmo, pois esta nova *GPT* é tida como impulsionadora do crescimento econômico, porém para outros, este crescimento está disposto em fases, sendo o comentário de um vencedor do Prêmio Nobel Robert Solow, constantemente, retornando forte aos meios de discussão acadêmicos, e que ficou conhecido como *Solow's Paradox*, que descreve que “*You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics*”, segundo Solow (1987).

Com essa introdução, abre-se caminho, para elaboração da pesquisa sobre os efeitos da utilização de Inteligência Artificial na economia como geradora de crescimento econômico no Brasil. Será que realmente este crescimento é efetivo? Em que fase estamos?

Serão descritos abaixo, para uma melhor delimitação pois o assunto é amplo, as pesquisas realizadas, que melhor explicam este novo entendimento sobre crescimento econômico, influenciado pelo transbordamento dos efeitos de uma tecnologia, e para discutir profundamente o que significam os conceitos de: *Solow's Paradox*, *General Purpose Technologies* e Inteligência Artificial.

3.1. *Solow's Paradox*

Algumas das possíveis definições do termo paradoxo são as seguintes:

Um princípio contrário à opinião recebida; Uma afirmação que é aparentemente contraditória ou oposta ao bom senso, mas talvez seja verdadeira; Uma afirmação contraditória que à primeira vista parece verdadeira; Um argumento que aparentemente deriva conclusões contraditórias por dedução válida de premissas aceitáveis; Um (como uma pessoa, situação ou ação) com qualidades ou fases aparentemente contraditórias. (Merriam-Webster Dictionary, 2020).

Uma declaração etc que parece se contradizer, mas que, no entanto, é verdadeira.
(Cambridge Dictionary,2020)

A teoria do crescimento econômico estabelece uma série de modelos de previsão, que descrevem na literatura, aqueles de tendência exógena, tendo como exemplo o de Solow, segundo Solow (1957), e aqueles de tendência endógena, tendo como exemplo, o modelo de Paul Romer , segundo Romer (1990).

O modelo ao qual se dá ênfase aqui, é o de Solow, como em Jones (2000). Parte-se, então, da premissa da utilização de duas funções, para explicar o crescimento econômico de um país, que são descritas como: Função Cobb-Douglas e função definidora de formação de capital.

A primeira, descreve os fatores de crescimento de longo prazo que influenciam a economia, a saber, o capital, trabalho e fator tecnológico. Passando log e derivando esta equação, se encontra um fator que Abramovitz, chamou de “medida de nossa ignorância”, segundo Abramovitz (1956), ou fator residual, que explica as diferenças das taxas de crescimento de economias que partilhavam de iguais características. Para uma melhor definição, esta medida ficou conhecida na literatura como Produtividade Total dos Fatores – PTF.

A PTF, é então estudada, desde este momento por pesquisadores, que tentam explicá-la, e encontrar uma solução, como o fator determinante da variação das previsões de crescimento da economia, entre países com características parecidas.

A partir da premissa de Solow, em Solow (1987) que afirma, numa tradução livre, de que “Existem computadores espalhados por toda a economia, menos nas estatísticas de produtividade¹”, isto é, computadores na economia estão dispersos por toda parte na cadeia produtiva, e ao contrário do que se espera deles como impulsionadores ou multiplicadores de crescimento, eles estão gerando uma visível desaceleração da produtividade, que na literatura é conhecido como *slowdown*, surgindo muitas teorias que reconhecem tal afirmação, e outras que se opõe a ela, de acordo com Dewan e Kraemer (1998).

¹ “You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics”, segundo Solow (1987).

A disputa por quem tem a razão é vencida por aqueles que acreditam que existe realmente uma desaceleração das economias, causadas por tecnologias chamadas de *GPT's*, na qual a Inteligência Artificial se inclui como candidata, segundo Jones, Jones e Agion (2017), Brynjolfsson, Rock e Syverson (2017), Acemoglu et al.(2014), Brynjolfsson (1992), Triplett e Brookings Institution (1998), Crafts (2002), Isbell (2001), Brynjolfsson (1993), e comprovada por dados empíricos, durante as muitas décadas de surgimento e evolução destas *GPT's*.

A maioria dos estudos buscaram solucionar, quem são causadores dos resultados perversos do fenômeno da desaceleração das economias. Sabe-se que estes promovem prejuízos enormes, afetando o desenvolvimento, quando se utiliza inteligência artificial. Entende-se também que afetam a produtividade e, em especial na PTF, ao qual foram descobertos e, que podem ser gerados por diversos fatores tais como: *Baumol Cost Disease* , segundo Jones, Jones e Agion (2017), medições erradas, dissipação concentrada e dissipação de renda, falsas esperanças, estruturação e atrasos de implementação, segundo Brynjolfsson, Rock e Syverson (2017). Este último, tido como o principal, quando se visualizam as características dos ativos tangíveis.

Existem outros caminhos que buscam solucionar também o paradoxo, que afirmam que uma deficiência no *Valuation* das empresas, calculado com uma *Q-Theory*, retirada da teoria contábil, produzem uma *J-Curve*. Quando plotados os erros de medição de investimentos complementares da ação das *GPT's*, incluindo redesenho de processos, co-invenção de novos produtos e investimentos em capital humano, que estendem seus resultados e incluem a Inteligência Artificial como um dos causadores destes efeitos, isto é, quando visualizamos os efeitos desaceleradores do crescimento econômico causados por ativos intangíveis, segundo Brynjolfsson, Rock e Syverson (2018).

No presente estudo, busca-se observar a localização do crescimento econômico brasileiro, como função do seu estado estacionário, obtido pela função de formação de capital dos ativos tangíveis. Partindo, assim, pela equação de formação de capital

² Nota: existem outros modelos na literatura que assumem diferentes tipos adicionais de fatores de capital, tais como: CAMAGNI, Roberto. **Handbook of Regional Growth and Development Theories**. MPG, Bodmin, 2010, Cap. 7, e também STIMSON, R., Stough, R.R; NIJKAMP, P. **Endogenous Regional Development - Perspectives, Measurement and Empirical Investigation**. Reino Unido: Edward Elgar Publishing Limited, 2011., caps 1 e 7.

gerada pela inteligência artificial, que descreve a partir de modelos econométricos se esta formação de capital de Inteligência artificial tem efeito positivo ou negativo no crescimento econômico. Uma das dificuldades da pesquisa foi a obtenção de dados suficientes e confiáveis que comprovem a tese, sem viesar as estimativas.

3.2. *General Purpose Technology - GPT*

A GPT, is a single generic technology, recognizable as such over its whole lifetime, that initially has much scope for improvement and eventually comes to be widely used, to have multiple uses, and to have many spillover effects. (Lypsey, Carlaw and Becker, 2005:98.)

De acordo com, *Oxford learner's dictionaries*, *technology* significa, numa tradução livre, “conhecimento científico, usado em caminhos práticos na indústria, por exemplo, em projetar novas máquinas”.

Com isso em mente, é possível estender uma nova definição, a das *General Purpose Technologies*, que são tecnologias diferentes das outras, pois possuem características próprias.

Uma nova tecnologia, pode melhorar a produtividade de uma empresa ou de uma atividade corriqueira. Isto implica na redução de custos e aumento da produtividade, porém , para ser classificada como *GPT* é preciso ter características que vão além do escopo de tecnologias comuns, que se utilizam no dia a dia, e que podem descrever-se como: a eficiência aumenta com o passar do tempo, propaga-se vagarosamente pela economia e, seus diferentes usos levam décadas para estabelecer-se. Ocorrem em várias classes de tecnologias, tais como, tecnologias da informação e comunicação, fontes de energia, equipamentos de transporte, formatos organizacionais, e evolui além do tempo em muitas versões. Em contraste, as diferentes classes de tecnologia complementam umas às outras, assim como aconteceu com a eletricidade complementando os computadores e o laser.

Geralmente, as *GPT's*, dividem-se em três setores, nos quais um setor produz pesquisas que descobrem a nova *GPT*, um setor produz pesquisa aplicada e desenvolve aplicações para a nova *GPT*, e um setor produz produtos consumíveis, pelo uso dos resultados de pesquisa aplicada na sua função de produção, onde cada setor tem sua própria função de produção agregada, segundo Carlaw e Lipsey (2007).

Quando se pensa em *GPT's*, é facilmente previsto que por suas características, pode-se esperar em forma de entusiasmo, como comentado anteriormente, que geram de imediato, um aumento de produtividade, e conseqüentemente aumento do *Gross Domestic Product per worker - GDP por trabalhador*, ou Produto Interno Bruto *por trabalhador* (PIB), como é determinado no Brasil, porém este processo passa por fases específicas, como descrito por Helpman e Trajtenberg (1994). Tais fases são: a primeira é semear e a segunda é colher. A primeira, ocorre quando novas tecnologias complementares surgem para permitir que as vantagens da nova *GPT* sejam usadas. Durante este estágio inicial o produto e a produtividade experimentam crescimento negativo, e os salários reais estagnam-se. A hora de colher, vem numa segunda fase, quando após as tecnologias complementares terem sido desenvolvidas. Faz-se, então, valer a pena mudar para a fabricação com a nova *GPT*, que é mais produtiva. Como conseqüência há uma mágica do crescimento, onde o produto, salários reais e lucros aumentam. No surgimento de uma nova *GPT*, estes ciclos repetem-se. A intuição sugere, após simulações, que existe melhor bem-estar para aqueles adotantes iniciais que ao mudar para a nova *GPT* tem baixos limiares de mudança, baixos custos de P&D, e altas parcelas de gastos (o parâmetro demanda) e várias trajetórias de equilíbrio são possíveis, segundo Helpman e Trajtenberg (1996).

Há um período também em que novos componentes são desenvolvidos, mas os fabricantes finais ainda usam a velha tecnologia. Neste intervalo de tempo, fabricantes de novos componentes não tem compradores, portanto, não produzem eles, o que implica lucro zero. Desta forma, prefere-se postergar a produção até que a taxa de interesse seja positiva, segundo Helpman e Trajtenberg (1996).

Um dos problemas surgidos com a criação de novas tecnologias é a falta de coordenação, que não pode ser facilmente resolvido pelo mercado, devido às incertezas e a informação assimétrica, que estão na essência da criação de novo conhecimento, segundo Arrow (1962).

Na evolução de estudos realizados, por muitos autores, surgem o conceito de *J-Curve*, no qual a descrição engloba a medição imprópria da contabilização de investimentos intangíveis no balanço das organizações. Há períodos em que investimentos numa nova *GPT*, tem entradas não medidas corretamente. Podem, portanto, ser períodos longos de acumulação de capital, inovação industrial e estagnação de salários, como aconteceu na Revolução industrial e eletrificação. Solow notou que isto acontecia na era das Tecnologias da informação.

A chamada *J-Curve*, apoia-se na diferença da subestimação da PTF, devido ao período de formação de estoque de capitais intangíveis e a PTF de superestimação dos fluxos de serviços ocultos que tem produtos com resultados medidos posteriormente. Este erro de medição entre PTF passada e futura modelam a *J-curve*, segundo Brynjolfsson, Rock e Syverson (2018).

Podemos entender também a *J-Curve*, como a captura de intangíveis ocultos através de *Valuations* de mercado, numa combinação da *Q-Theory* e contabilidade de crescimento neoclássico, com a magnitude dos investimentos em *GPT's*, e atrasos de implementação, segundo Brynjolfsson, Rock e Syverson (2018).

Alguns Exemplos de estudos sobre *GPT's* podem ser encontrados, segundo Crafts (2003), que descreve a contribuição dos *Steam Engine* para aumento da produtividade de mão-de-obra e seus *Spillovers*. Também existem estudos onde são feitas comparações entre *GPT's*, tais como eletrificação e tecnologias de informação e comunicação – *ICT's*, onde foram caracterizados *slowdowns* da produtividade, mas sendo a da segunda mais intensa, a primeira foi mais rápida e homogênea nos vários setores e provocou também maiores quedas de preços, e ambas foram caracterizadas por “destruição criativa”, onde gerou turbulências de entrada e saídas, *mergers* e *takeovers*, além de mudar *valuations* de ativos, segundo Jouvanovic e Rousseau (2005). Transformações de longo prazo através de *GPT's* também podem ser encontradas, segundo Carlaw e Lipsey (2006). A evolução dos Corliss Engines, na Revolução Industrial Inglesa, segundo Rosenberg e Trajtenberg (2001).

Em função dos trabalhos acima, que descrevem mais de perto a evolução dos principais autores sobre as *General Purpose Technologies*, percebe-se que há um quase consenso de que as *GPT's* passam por fases iniciais de *slowdown*, onde há a formação de capital tangível e intangível. Segue-se, então, para a sobreposição entre a velha *GPT* e a nova *GPT*, em que a Velha *GPT* continua sendo usada. Enquanto isso, a formação de capital da nova *GPT* acontece e, que nesta fase há grandes investimentos e baixos retornos de lucratividade, até que estivesse estabelecida e causando influência no GDP por trabalhador. Depois de alcançar esta fase de influenciar o *GDP por trabalhador*, a velha *GPT* é substituída e, mais facilmente alcançado o *steady-state*. Com isso, foi pensado qual o real impacto no surgimento da possível classificada como *GPT*, a Inteligência Artificial, que passa a ter destaque, desde os anos 1960, e chega ao século XXI, como a missão de construir um melhor caminho para o aumento de produtividade.

No presente trabalho, busca-se entender, como são sentidos os efeitos da *GPT* - Inteligência Artificial, no comportamento do *GDP* por trabalhador (PIB por trabalhador), através do estudo da formação de capital, que chamamos de, *k*, em dois setores, onde *k*₁, é a formação de capital do setor de Tecnologia de Informação e Comunicação, e *k*₂, é formação de capital do setor de Inteligência artificial, onde com intuito de expandir a ideia de estudar cada setor separadamente, com funções de produção separadas, de acordo com Carlaw e Lipsey (2007). Avança-se, assim para o estudo individual da formação de capital, por simplificação.

3.3. Inteligência Artificial

Algumas das possíveis definições do termo estão listadas abaixo:

Artificial Intelligence is the new electricity.

(Andrew Ng, 2017)

Teoria e desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de realizar tarefas que normalmente requerem inteligência humana, como percepção visual, reconhecimento de fala, tomada de decisão e tradução entre idiomas.

(Knowles, 2005).

A partir das definições acima, é possível ter uma melhor visão do caminho a percorrer durante o estudo. Este tomará mais uma direção voltada para seus efeitos econômicos, do que para caracterizar um sistema computacional ou *software*.

Quando se pensa em Inteligência Artificial, geralmente tem-se em mente a ideia de utilização de *software* que desenvolve a habilidade de simular o pensamento humano. Alguns destes *softwares*, podem ser traduzidos através de linguagens de programação, dos quais são construídos. As mais utilizadas no meio acadêmico são o Prolog, o Python e o R. (Um ranking mais completo das linguagens mais utilizadas pode ser alcançado através do site do TIOBE, através do TIOBE *index*).

Porém, quando há interesse em entender melhor a evolução da Inteligência Artificial – IA, historicamente podemos usar o artigo de Buchanan (2006), Smith et al. (2006). Pensando no estudo da IA como fator influenciador de crescimento e desenvolvimento econômico de países, através do aumento da produtividade e bem-estar, é interessante observar que surgem diversas pesquisas sobre o assunto. Neste

trabalho, pensa-se nestas variáveis como um sistema mecânico, onde a IA é uma das engrenagens desse sistema. Esta engrenagem tem características próprias como, velocidade de difusão através dos setores, tamanho, que é determinado pela formação de capital, material de que é feita, especificado pelas muitas tecnologias desenvolvidas por meio dela, e uma característica indesejável, que é o escorregamento, isto é, a deficiência do acoplamento entre os outros componentes do sistema, que causam perdas de eficiência na transmissão de suas propriedades, na qual Shigley descreve de melhor forma este tipo de sistema, segundo Shigley (1977).

Para compreender melhor como o sistema econômico baseado em IA funciona recorre-se a vários entendimentos que já estão solidificados na literatura. O primeiro conceito compartilhado é relativo à velocidade de propagação, no qual existe a ideia desenvolvida, de que o rápido crescimento da produtividade de um setor relativo aos outros pode resultar numa “*cost disease*”, isto é, o setor de menor produtividade torna-se mais importante na economia, segundo Baumol (1967), na qual Jones, Jones e Agion (2017), exploram como uma característica da automação gerada pela IA. Também é importante ressaltar, que no mesmo artigo acima é desenvolvida a ideia de “singularidade”, “superinteligência” e “destruição criativa”, que consiste basicamente, no conceito de que os avanços em IA, ultrapassarão a capacidade de pensamento humana numa determinada época, e quais serão os caminhos que a humanidade poderá seguir, segundo Jones, Jones e Agion (2017). Na busca de tentar entender melhor, e começando do nível micro pode-se pensar como a IA afeta os negócios e mercado. Observa-se, também os passos a serem tomados para aproveitar as oportunidades e vieses, isto pode ser visualizado no estudo de Soni et al.(2019). Também pode-se pensar na evolução do bem-estar das pessoas, por meio da criação política dos meios de melhorar a educação e habilidades em IA. Estes implicam melhor capacidade de aproveitamento de mão-de-obra, evitando o resultado adverso do desemprego, e aproveitando as tendências desta de seguir as características da *GPT*, segundo Trajtenberg (2018). Olhando para a demanda por empregos, através da utilização da IA na economia, pode-se estabelecer que ainda não estão completamente definidos os reais efeitos desta, como aumentadora ou redutora de mão-de-obra. Isto pode ser uma forma de repensarmos como se comportar na criação de caminhos que atendam as demandas de uma população em crescente aumento, segundo Bessen (2018), ou mesmo outros resultados, e o que já

se definem como acontece o fenômeno da redução de salários e mão-de-obra, que repensa os ajustes na economia a serem feitos para evitar perdas de ganhos, segundo Acemoglu e Restrepo (2018). Pensa-se, também na possibilidade de ter este assunto estendido através do relacionamento existente da utilização das *Global Value Chains* - *GVC's*, que são canais de transmissão de tecnologias como a IA e, que pretendem explicar os caminhos daqueles países que por serem *labor intensive*, tem que se adequar (investimentos em educação e habilidades) para obter os benefícios da IA, pois os seus efeitos de transbordamento difundem-se através delas, segundo Rodrik (2018). Estendem-se as pesquisas dos fatores geradores de crescimento econômico quando se pensa nos resultados da difusão da IA, e seus efeitos de transbordamento através da população das características de assimétrica distribuição de renda e desigualdade, segundo Korinek e Stiglitz (2017). E, olhando para possíveis políticas governamentais para IA, pode-se ver o trabalho de Agrawal, Gans e Goldfarb (2018). Pensando no relacionamento da IA com outras tecnologias e seus impactos, é visto que existe a capacidade de utilização da IA, como meio de estabelecer relacionamentos com estas outras tecnologias, de forma a aumentar suas capacidades e conseqüentemente o estado do crescimento econômico, segundo Agrawal, McHale e Oettl (2018). Na conclusão deste sistema de engrenagens, e pensando no escorregamento, ou dificuldades da IA transbordar todos os seus efeitos para gerar o crescimento do *GDP* por trabalhador, pode-se pensar no que é descrito em Jones, segundo Jones(2000), a afirmação de que dificuldades de crescimento de economias são gerados pela existência de um mal ambiente institucional, captados por outros modelos, que promovem desvios, na ação de investimentos, isto é, a corrupção do sistema econômico retarda os efeitos dos investimentos na economia e um estudo sobre instituições e crescimento econômico pode ser encontrado em Acemoglu, Johnson e Robinson (2006).

A opinião otimista, relativa a IA, estende-se por muitas instituições, governos, companhias e universidades, é possível ver isso em Bughin et al.(2018), *European Commission* (2019) e Perrault et al. (2019).

Avançando para o estudo, percebe-se que para gerar crescimento e desenvolvimento econômico com IA, deve-se levar em consideração uma série de detalhes específicos. Encontram-se na literatura acima, demonstrados das mais variadas formas, modelos econométricos com intuito de comprovar que existem mesmo uma fase de *slowdown*, aceleração e depois de *steady-state* das economias

que adotam *GPT's*, e em especial a IA. Assim, podemos com um conjunto de dados específicos, fazer uma avaliação do comportamento da IA como contribuinte do crescimento econômico brasileiro e, se já é possível considerar que avançamos para a fase de *steady-state*, ou ainda permanecemos na fase de *slowdown* do *GDP* por trabalhador, buscando soluções para abreviar este estado, utilizando a noção de formação de capital.

4. METODOLOGIA

4.1. Modelo Teórico

Para o estudo sobre produto e produtividade de longo prazo, surgiram inúmeros modelos capazes de determinar as melhores estimativas, porém para muitas economias adotaram-se para estudos microeconômicos e macroeconômicos o modelo de Cobb e Douglas, segundo Cobb e Douglas (1928).

Neste modelo, são estudadas as proporções ideais de insumos que são capazes de promover o estudo de crescimento econômico. As elasticidades, como são chamadas estas proporções é um recurso que existe para facilitar o trabalho do pesquisador. Quanto a ação na tomada de decisão em relação as políticas a serem adotadas pelas instituições ou nações, implica no seu resultado a descoberta dos retornos de escala efetivo dos insumos, segundo Jones (2000), Kuroda, Kalfas e Eller (2012) e Silva (2004).

A Função de Produção de Cobb e Douglas, segue o formato abaixo:

$$Y = \beta_0 K^{\beta_1} L^{\beta_2} \quad (1)$$

Onde:

β_0 = intercepto;

$\beta_1 = \alpha$;

$\beta_2 = 1 - \alpha$;

Y = produto;

K = capital;

L= trabalho;

Já analisando a Função de Produção de Cobb-Douglas quanto aos retornos de escala dos insumos, que pelo método simples de apenas somá-los, obtem-se as seguintes conclusões:

A somatória das elasticidades na qual o resultado é igual a 1, gera retorno de escala constante, isto é, os insumos variam x unidades e o retorno de escala cresce na mesma proporção.

$$\beta_1 + \beta_2 = 1 \text{ (retorno em escala constante);}$$

A somatória das elasticidades na qual o resultado é maior que 1, gera retorno de escala crescente, isto é, os insumos variam x unidades e o retorno de escala crescem numa proporção maior.

$$\beta_1 + \beta_2 > 1 \text{ (retorno em escala crescente);}$$

A somatória das elasticidades na qual o resultado é menor que 1, gera retorno de escala decrescente, isto é, os insumos variam x unidades e o retorno de escala diminui numa proporção menor.

$$\beta_1 + \beta_2 < 1 \text{ (retorno em escala decrescente);}$$

4.1.1. Função de produção log-linearizada

É comum no estudo de crescimento econômico utilizar métodos matemáticos para facilitar a resolução de problemas onde exigiriam uma enorme quantidade de processos dedutivos, e um destes métodos é calcular logarítmicos e depois derivar, que utiliza-se aqui para descobrir as elasticidades dos insumos de produção na Função de Produção, segundo Jones (2000). O modelo log-linearizado está descrito abaixo:

$$\log Y = \beta_0 + \beta_1 * \log K + \beta_2 * \log L \text{ (2)}$$

Onde:

$\log K$ = logaritmo do insumo capital;

$\log L$ = logaritmo do insumo trabalho;

4.1.2. Modelo econométrico teórico do produto

Uma das formas de determinar as elasticidades utilizando métodos matemáticos e estatísticos validados pela teoria econômica, é a utilização de econometria, que aqui neste estudo foi adotado o método dos Mínimos Quadrados Ordinários, segundo Kuroda, Kalfas e Eller (2012), onde o modelo econométrico da Função de Produção log-linearizada assume o seguinte formato:

$$\log Y = \beta_0 + \beta_1 * \log K + \beta_2 * \log L + \varepsilon \quad (3)$$

Onde:

ε = termo de erro, resíduos ou parte não observada no modelo;

4.2. Função de produto por trabalhador

Uma das formas de estudar a eficiência do processo produtivo, é buscar entender como se dão os resultados do produto relacionados a mão-de-obra (*labor*) empregadas para gerar este produto, e neste formato, também pode-se ser usado para fazer comparações com outras nações, segundo Jones (2000).

No estudo realizado por Robert M.Solow, que o levou a ser agraciado com o Prêmio Nobel em 1987, é discutida a formação de produto por trabalhador no seu formato log-linearizado e, após com derivação posterior para a apresentação de resultados, na qual chegou-se a seguinte função inicial:

$$y = k^\alpha \quad (4)$$

Onde:

$y = Y/L$ (produto por trabalhador);

$k = K/L$ (capital por trabalhador);

$Y =$ Produto;

4.2.1. Função de produto por trabalhador log-linearizada

Com o intuito de estudar o relacionamento entre insumos, conforme descrito anteriormente, faz-se necessária a utilização também do formato log-linearizado do produto por trabalhador, que poderá ajudar a encontrar uma melhor forma de visualizar o resultado. A Função de produto por trabalhador, está descrita abaixo:

$$y = \alpha * \log k \quad (5)$$

Onde:

$\beta_1 = \alpha$;

4.2.2. Modelo econométrico teórico do produto por trabalhador

O modelo teórico econométrico será utilizado para obter as elasticidades da Função de Produto por Trabalhador na forma log-linearizada, e segue descrito abaixo:

$$y = \alpha_0 + \alpha * \log k + \varepsilon \quad (6)$$

4.3. Função de produto por trabalhador em percentual de crescimento

Uma das extensões da forma log-linearizada do produto por trabalhador é entender como se dá a variação percentual da produtividade por trabalhador.

4.3.1. Função variação porcentual de produto por trabalhador log-linearizada.

Podemos conseguir apenas calculando-se o logaritmo do produto por trabalhador (y).

A forma descrita segue abaixo:

$$\log y = \alpha * \log k \quad (7)$$

4.3.2. Modelo econométrico teórico porcentual de produto por trabalhador.

Consegue-se elaborar também juntamente com as técnicas adotadas acima o modelo econométrico de produtividade por trabalhador, que está no formato descrito abaixo:

$$\log y = \alpha_0 + \alpha * \log k + \varepsilon \quad (8)$$

4.4. Coleta de dados

A coleta de dados estatísticos foi baseada naqueles disponibilizados publicamente e, coletados de instituições públicas e privadas, nas quais possuem sua capacidade de validação comprovadas mundialmente e, estão dispostos na tabela abaixo:

BASE DE DADOS		
Tipo de dados	Descrição	Fonte
Admissões	Cadastro Geral de Emprego e Desemprego	CAGED
População, Pnad contínua	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	IBGE
Depreciação	Receita Federal do Brasil	RFB
Investimentos privados	AI index 2019	Stanford University
Gross domestic product	World Bank	WB
Emprego em Data e AI	World Economic Forum	WEF

Fonte: Elaboração pelo autor.

4.4.1. Análise do conjunto de dados

A partir dos dados coletados , no período dos anos de 2014 a 2019, pode-se chegar ao procedimento de seleção destes, na qual baseava-se em definir quais os efeitos do investimento privado em Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence Funding*), no crescimento econômico brasileiro, isto é, entender se estes geravam uma desaceleração (*Slowdown*) ou estabilidade (*Steady-state*).

Baseado nos estudos de Cobb e Douglas (1928), Robert M. Solow, em Solow (1987) e Jones (2000) foram necessárias inúmeras seleções de dados para a tomada de decisão por onde se daria a direção do estudo.

Com a finalidade do estudo ser comparável internacionalmente, foram utilizadas as unidades de financeiras, Dólar (USD\$) e, de trabalhadores em Inteligência Artificial, o número absoluto destes que incluem aqueles que processam dados para Inteligência Artificial e aqueles que são os especialistas diretos nesta (*Data and AI*), porque as atividades destes são um conjunto de tarefas correlacionadas. Já quanto ao número de trabalhadores formais brasileiros, foram escolhidos os dados dos conjuntos de admissões, para termos um número global da abertura de oportunidades, ficando para um estudo futuro, a tarefa de descobrir quais efeitos existiriam a quantidade de trabalhadores, quanto ao número de demissões e o saldo de trabalhadores (que no período de 2014 a 2019, continham números negativos).

Uma observação faz-se necessária, no cálculo foram utilizadas somente o número de admissões formais (CLT), pois fica como desafio para um estudo futuro verificar os efeitos daqueles que trabalham como pessoa jurídica no Brasil, isto é, possuem registro no Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (C.N.P.J) ., que é uma característica própria no Brasil, e que não possuem, como maior parcela o registro em carteira de trabalho.

Numa parte do estudo, foram feitos tratamentos relativos a dados extremos (*outliers*), geralmente excluindo-os, pois causavam efeitos adversos nas previsões.

Algumas das dificuldades na análise do conjunto de dados foram as quantidades, pois dados macroeconômicos, possuem as características de existirem em baixa quantidade e, quando estuda-se apenas a economia de um país, eles ficam ainda mais limitados, o que dificilmente não acontece com dados financeiros.

Desta forma, as análises econométricas feitas a partir dos conjuntos de dados selecionados, conforme descrito acima, satisfizeram e, chegaram à resposta da pergunta de pesquisa: “Inteligência Artificial gera crescimento econômico no Brasil?”.

5. RESULTADOS

No estudo, foram utilizados os métodos dos Mínimos Quadrados Ordinários e, também o método dos Mínimos Quadrados Ponderados. Um dos problemas mais graves dos métodos de Mínimos quadrados e que os tornam não eficientes e viesados, é a presença de Heteroscedasticidade. Este é o problema dos resíduos não estarem dispersos em torno da reta calculada pela regressão linear de forma igual, e anulando-se. Uma das formas de corrigir isto, é alterando a regressão original e seus resíduos ou pelo estimador do teste de White.

5.1. Modelo de produto com tecnologia

Anteriormente, utilizou-se um modelo teórico de produtividade com limitações, porém agora passa-se a utilizar uma variável que influencia diretamente os resultados de crescimento econômico, a variável de tecnologia (A), que passa a ser uma aumentadora da capacidade e eficiência de insumos.

Modelo 1: MQO, usando as observações 1-6

Variável dependente: I_Y

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	29,4846	0,838583	35,16	<0,0001	***
I_K	-0,0469741	0,0202240	-2,323	0,1028	
I_L	-0,0342382	0,0733465	-0,4668	0,6725	
Média var. dependente	28,30449	D.P. var. dependente	0,121427		
Soma resíd. quadrados	0,021926	E.P. da regressão	0,085491		
R-quadrado	0,702581	R-quadrado ajustado	0,504301		
F(2, 3)	3,543384	P-valor(F)	0,162201		
Log verossimilhança	8,321844	Critério de Akaike	-10,64369		
Critério de Schwarz	-11,26841	Critério Hannan-Quinn	-13,14450		

O modelo calculado originalmente por MQO, segue abaixo:

$$\log Y = 29,4846 - 0,0469741 * \log K - 0,0342382 * \log L + \varepsilon \quad (9)$$

A partir do modelo calculado, observa-se para a constante pelo razão-t (35,16), é válida e para o logaritmo de capital, razão-t (-2,323), porém para *labor* a razão-t (-0,4668), este não é validado. No teste de hipótese nula da constante, p-valor (<0,0001), está abaixo de 1%, o logaritmo de capital, através do p-valor (0,1028), está no limite superior de 10%, que é um dos níveis máximos para a rejeição da hipótese nula. Observando também o logaritmo de *labor*, pelo p-valor (0,6725), este não é validado.

Podemos concluir que outros fatores, tais como outliers ou Heteroscedasticidade estão causando problemas de viés e eficiência no modelo, invalidando também as estatísticas de teste.

Modelo 2: Heteroscedasticidade-corrigida, usando as observações 1-6

Variável dependente: I_Y

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	29,7328	0,547865	54,27	<0,0001	***
I_K	-0,0428734	0,0120170	-3,568	0,0376	**
I_L	-0,0594146	0,0401181	-1,481	0,2352	

Estatísticas baseadas nos dados ponderados:

Soma resíd. quadrados	4,920769	E.P. da regressão	1,280725
R-quadrado	0,824359	R-quadrado ajustado	0,707266
F(2, 3)	7,040170	P-valor(F)	0,073610
Log verossimilhança	-7,918747	Critério de Akaike	21,83749
Critério de Schwarz	21,21277	Critério Hannan-Quinn	19,33668

Estatísticas baseadas nos dados originais:

Média var. dependente	28,30449	D.P. var. dependente	0,121427
Soma resíd. quadrados	0,023583	E.P. da regressão	0,088662

O modelo calculado originalmente por MQP, com Heteroscedasticidade corrigida, segue abaixo:

$$\log Y = 29,7328 - 0,0428734 * \log K - 0,0594146 * \log L + \varepsilon \quad (10)$$

A partir do modelo calculado com Heteroscedasticidade corrigida, observa-se para a constante a razão-t (54,27) e para o logaritmo de capital, e, a razão-t (-3,568), validam o modelo, e, que para o *labor* a razão-t (-1,481), não valida. Já no teste de hipótese nula da constante o p-valor (<0,0001), está no limite inferior a 1%, e valida o modelo. No logaritmo de capital, através do p-valor (0,0376), está no limite inferior a 5%, que é um dos níveis para a recusa da hipótese nula, e também para *labor* o p-valor (0,2352), não valida o modelo, o que se conclui que outros fatores, tais como *outliers* ou Heteroscedasticidade estavam realmente causando problemas de viés e eficiência. Com isso, conclui-se que a constante e o capital (K), atingiram o nível de significância adequado, e cumprindo todas as propriedades de MQO.

5.1.1. Variáveis derivadas internas ao modelo corrigido

A evolução do estudo, é seguida pela determinação de outras variáveis que são acessórias de variáveis principais, e que foram calculadas a partir do Modelo econométrico com Heteroscedasticidade corrigida, sendo algumas relações necessárias, tais como as descritas abaixo:

A variável de tecnologia (A) é originada, a partir da relação de mudança tecnológica do modelo log-linearizado, onde pode ser obtida do modelo econométrico de cálculo do produto, e descrita abaixo:

$$\beta_0 = A^{1-\alpha} \quad (11)$$

A partir de alguns algebrismos, conseguiu-se determinar a variável de tecnologia (A), que será insumo, de outras variáveis principais.

$$A = \beta_0^{(1/(1-\alpha))} \quad (12)$$

A variável (A), também pode ser obtida pela relação:

$$A=A_0 \cdot e^{g \cdot t} \quad (13)$$

Onde:

g = taxa de crescimento da economia;

t = período;

Para o estudo, a variável (A) equivale a:

$$A = 25,86246107$$

Existem outras variáveis originadas do modelo corrigido, tais como a taxa de crescimento de (A), que é denominada (g). Para obter-se esta variável, basta se calcular a derivada de (A), descrita abaixo:

$$g = A \frac{dy}{dx} \quad (\text{taxa de progresso tecnológico exógeno}) \quad (14)$$

Para o estudo, a derivada de (A) equivale a:

$$A' = 0,834069903$$

5.2. Modelo de produto por trabalhador com tecnologia

Com os dados já consolidados de produto por trabalhador (\tilde{y}) e capital por trabalhador (\tilde{k}), calcula-se os seguintes modelos econométricos:

Modelo 3: MQO, usando as observações 1-6
Variável dependente: Produto por trabalhador

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	878,971	37,3586	23,53	<0,0001	***
l_Capital por trabalhador	-43,7825	18,6754	-2,344	0,0790	*
Média var. dependente	834,8766	D.P. var. dependente	108,9634		
Soma resíd. quadrados	25005,83	E.P. da regressão	79,06616		
R-quadrado	0,578779	R-quadrado ajustado	0,473474		
F(1, 4)	5,496203	P-valor(F)	0,078997		
Log da verossimilhança	-33,51895	Critério de Akaike	71,03789		
Critério de Schwarz	70,62141	Critério Hannan-Quinn	69,37068		

O modelo calculado originalmente por MQO, segue abaixo:

$$\hat{y} = 878,971 - 43,7825 * \log \tilde{k} + \varepsilon \quad (15)$$

A partir do modelo calculado, observa-se para a constante pelo razão-t (23,53), valida o modelo, e para o logaritmo de capital por trabalhador, a razão-t (-2,344), é aceitável e, no teste de hipótese nula a constante assume p-valor (<0,0001), que está no limite inferior a 1%, valida o modelo, no logaritmo de capital, através do p-valor (0,0790), está acima do limite de 5%, que é um dos níveis para a rejeição da hipótese nula.

Podemos concluir que outros fatores, tais como *outliers* ou Heteroscedasticidade estão causando problemas de viés e eficiência no modelo. Invalidando, assim as estatísticas de teste.

Modelo 4 Heteroscedasticidade-corrigida, usando as observações 1-5
Variável dependente: Produto por trabalhador

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	891,490	14,9176	59,76	<0,0001	***
l_Capital por trabalh	-96,3801	11,0080	-8,755	0,0031	***

Estatísticas baseadas nos dados ponderados:			
Soma resíd. quadrados	4,367001	E.P. da regressão	1,206510
R-quadrado	0,962339	R-quadrado ajustado	0,949786
F(1, 3)	76,65858	P-valor(F)	0,003138
Log da verossimilhança	-6,756289	Critério de Akaike	17,51258
Critério de Schwarz	16,73145	Critério Hannan-Quinn	15,41612
Estatísticas baseadas nos dados originais:			
Média var. dependente	849,8433	D.P. var. dependente	114,7226
Soma resíd. quadrados	6434,599	E.P. da regressão	46,31270

O modelo calculado originalmente por MQP, com Heteroscedasticidade corrigida, segue abaixo:

$$\hat{y} = 891,490 - 96,3801 * \log \tilde{k} + \varepsilon \quad (16)$$

A partir do modelo calculado com Heteroscedasticidade corrigida, sendo removido o outlier referente ao ano de 2015, observa-se para a constante pelo razão-t (59,76), valida o modelo e, para o logaritmo de capital por trabalhador, a razão-t (-8,755), assume a mesma posição e, no teste de hipótese nula o logaritmo de constante, através do p-valor (<0,0001), está abaixo do limite de 1% e, podemos observar também que o teste de hipótese nula para o logaritmo de capital por trabalhador p-valor (0,0031), está abaixo do limite de 1%, que é um dos níveis para a rejeição da hipótese nula. Com isto, ambos as variáveis (constante e capital por trabalhador), atingiram nível de significância adequado, e cumprindo todas as propriedades de MQO.

5.2.1. Variáveis derivadas internas ao modelo de produto por trabalhador corrigido.

A partir de agora passa-se a utilizar em nosso modelo, o uso do til (~), acima das variáveis principais, afetadas pela tecnologia, onde valem as seguintes relações:

$$\hat{y} = Y/AL \text{ (produto por trabalhador)} \quad (17)$$

$$\tilde{k} = K/AL \text{ (capital por trabalhador)} \quad (18)$$

O valor de $\beta_{1.2}$, será utilizado posteriormente para o estudo de estacionaridade:

$$\beta_{1.2} = -96,3801$$

5.2.2 Derivação do modelo de produto por trabalhador

Para a leitura dos resultados do modelo de produto por trabalhador em termos nominais, faz-se necessário o cálculo da primeira derivada do modelo corrigido, cujo resultado apresenta-se abaixo:

$$\tilde{y} = \frac{-96,3801}{\ln(10) * \tilde{k}} \quad (19)$$

5.3. Modelo de porcentual de produto por trabalhador com tecnologia

Com o intuito de estudar o comportamento porcentual do produto por trabalhador, construiu-se um modelo log-linearizado (log-log).

Modelo 5: MQO, usando as observações 1-6
Variável dependente: l_Produtoportrabalhador

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	6,77085	0,0415638	162,9	<0,0001	***
l_Capitalportrabalhador	-0,0497516	0,0207775	-2,394	0,0748	*
Média var. dependente	6,720744	D.P. var. dependente		0,122734	
Soma resíd. quadrados	0,030952	E.P. da regressão		0,087966	
R-quadrado	0,589052	R-quadrado ajustado		0,486315	
F(1, 4)	5,733586	P-valor(F)		0,074802	
Log da verossimilhança	7,287598	Critério de Akaike		-10,57520	
Critério de Schwarz	-10,99168	Critério Hannan-Quinn		-12,24240	

O modelo calculado originalmente por MQO, segue abaixo:

$$\log \tilde{y} = 6,77085 - 0,0497516 * \log \tilde{k} + \varepsilon \quad (20)$$

A partir do modelo calculado, observa-se para a constante pelo razão-t (162,9), valida o modelo e, para o logaritmo de capital por trabalhador, a razão-t (-2,394), e, no teste de hipótese nula, a constante tem um p-valor (<0,0001), no limite de 1% e, quanto ao logaritmo de capital por trabalhador, o p-valor (0,0748), está no limite de 5%, que é um dos níveis máximos de rejeição da hipótese nula.

Pode-se concluir que outros fatores, tais como *outliers* ou Heteroscedasticidade estão causando problemas de viés e eficiência no modelo. Invalidando, assim as estatísticas de teste.

Modelo 6: Heteroscedasticidade-corrigida, usando as observações 1-5
Variável dependente: \ln Produtoportrabalhador

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	6,78595	0,0149477	454,0	<0,0001	***
\ln Capitalportrabalhador	-0,105580	0,0105987	-9,962	0,0022	***

Estatísticas baseadas nos dados ponderados:

Soma resíd. quadrados	4,055842	E.P. da regressão	1,162733
R-quadrado	0,970656	R-quadrado ajustado	0,960874
F(1, 3)	99,23384	P-valor(F)	0,002153
Log da verossimilhança	-6,571494	Crítério de Akaike	17,14299
Crítério de Schwarz	16,36186	Crítério Hannan-Quinn	15,04653

Estatísticas baseadas nos dados originais:

Média var. dependente	6,738218	D.P. var. dependente	0,128607
Soma resíd. quadrados	0,008569	E.P. da regressão	0,053444

O modelo calculado originalmente por MQP, com Heteroscedasticidade corrigida, segue abaixo:

$$\log \tilde{y} = 6,78595 - 0,105580 * \log \tilde{k} + \varepsilon \quad (21)$$

A partir do modelo calculado com Heteroscedasticidade corrigida, sendo removido o outlier referente ao ano de 2015, observa-se para a constante, pelo razão-t (454,0), valida o modelo e, para o logaritmo de capital por trabalhador, a razão-t (-9,962), assume a mesma posição e, no teste de hipótese nula o logaritmo de

constante, através do p-valor $<0,0001$), está abaixo do limite de 1%, podemos observar também que o teste de hipótese nula para o logaritmo de capital por trabalhador p-valor $(0,0022)$, está abaixo do limite de 1%, que é um dos níveis para a rejeição da hipótese nula. Com isto, ambos as variáveis (constante e capital por trabalhador), atingiram nível de significância adequado, e cumprindo todas as propriedades de MQO.

5.3.1. Variáveis derivadas internas ao modelo de produto por trabalhador corrigido.

O valor de $\beta_{1.3}$, relativo ao modelo porcentual poderá ser utilizado em estudos posteriores.

$$\beta_{1.3} = -0,105580$$

5.3.2. Derivação do modelo de Produto por Trabalhador – taxa de crescimento

Para a leitura dos resultados do modelo de produto por trabalhador em termos de taxas nominais, faz-se necessário o cálculo da primeira derivada do modelo corrigido, cujo resultado apresenta-se abaixo:

$$\tilde{y}(taxa) = \frac{-0,105580}{\ln(10) * \tilde{k}} \quad (22)$$

5.4. Acumulação de capital com tecnologia.

O processo de acumulação de capital com tecnologia de uma economia ocorre através do chamado “aprofundamento de capital”, onde há o crescimento do capital por trabalhador, através da diferença positiva entre a taxa de investimento bruto e a depreciação (somada a outros fatores), multiplicada pelo capital por trabalhador, segundo Jones (2000). Quando esta taxa é igual a zero, mesmo capital crescendo (K), ocorre o “Alargamento de capital”. Porém, quando a taxa é negativa (acima do estado estacionário), o investimento está sendo insuficiente para manter constante o equilíbrio entre recursos de capital com o número de trabalhadores. Segue abaixo a equação de acumulação de capital por trabalhador:

$$\dot{\tilde{k}} = s\tilde{y} - (n+d+g)\tilde{k} \quad (23)$$

Onde:

$$\dot{\tilde{k}} = \underbrace{K}_{t+1} - \underbrace{K}_t \quad (\text{variação de capital no tempo})$$

n= taxa de crescimento populacional

g= taxa de progresso tecnológico exógeno

d=taxa de depreciação

5.5. Estado estacionário.

O Estado Estacionário, verifica-se quando há um equilíbrio de acumulação de capital, isto é, quando, ocorre a situação abaixo:

$$\dot{\tilde{k}} = 0$$

Este é o ponto onde o crescimento das economias tendem a se estabilizar, e onde podemos ter uma referência de tomada de decisão quanto as políticas a serem adotadas.

5.5.1. Estatística de Estado Estacionário de produto por trabalhador:

A seguinte relação determina o valor de estado estacionário do produto por trabalhador:

$$\tilde{y}^* = \left(\frac{s}{n+g+d} \right)^{\alpha/(1-\alpha)} \quad (24)$$

Onde:

$$\alpha = \beta 1.2 = -96,3801;$$

$$n = 0,00745231;$$

$$g = 0,834069903;$$

$$d = 0,2;$$

O valor da estatística de estado estacionário calculado segue abaixo:

$$\tilde{y}^* = 36324,9242$$

5.5.2. Estatística de Estado Estacionário de capital por trabalhador.

A seguinte relação determina o valor de estado estacionário do capital por trabalhador:

$$\tilde{k}^* = \left(\frac{s}{n+g+d} \right)^{1/(1-\alpha)} \quad (25)$$

O valor de nossa estatística de estado estacionário calculado segue abaixo:

$$\tilde{k}^* = 0,896778535$$

Onde:

$$\alpha = \beta 1.2 = -96,3801$$

$$n = 0,00745231$$

$$g = 0,834069903;$$

$$d = 0,2;$$

6. CONCLUSÃO

A pergunta de pesquisa inicial diz: “A inteligência Artificial está gerando crescimento econômico no Brasil? E, baseando-se neste questionamento, se observa que investimentos neste setor ao redor do mundo, estão fundamentados principalmente, em investimentos externos advindos de investidores privados. Com isso em mente, são direcionados os estudos para a determinação de quais as influências de tais investimentos no crescimento econômico brasileiro, e também para posicionar a atenção para o estado em que se encontra e, se este efeito é de desaceleração - *slowdown* -, ou de estabilidade – *steady state*, que são duas fases

distintas e transitórias, que geralmente as economias estão sujeitas ao inserir uma *GPT* internamente.

Com a análise do conjunto de dados, conclui-se a partir da equação de produto (Y), que a mão-de-obra (L), perdeu significância pelo excesso, e em função da baixa taxa de investimento bruto dos fundos de investimento na economia nacional. Acredita-se que esta alta oferta de mão-de-obra, poderá ser útil no futuro, com o aumento dos investimentos em Inteligência Artificial e Big Data.

Pode-se, para fazer um adendo às conclusões, que o ano de 2015, foi aquele em que mais investimentos externos foram realizados, tornando-o um *outlier* neste estudo.

Percebe-se também, que se opera acima do estado estacionário no indicador capital por trabalhador e, abaixo do estado estacionário no indicador de produto por trabalhador, o que se pode inferir que o primeiro indicador é negativo, isto é, a quantidade de investimento necessária para manter a relação capital-trabalho é insuficiente, enquanto o segundo indicador, permanece com valores inferiores ao necessário, o que implica que o crescimento econômico do Brasil ainda é lento, o que o diferencia de países avançados, que possuem este valor elevado, segundo Jones (2000).

Não existiram problemas com elasticidades além da unidade, o que se permite estudar os retornos de escala nos modelos de produto, e ao qual pode-se solucionar com métodos de Mínimos Quadrados Restritos, através de uma técnica matemática chamada Programação Quadrática.

E, analisando o produto por trabalhador, percebe-se que sofre um impacto negativo advindo do capital por trabalhador, validando o efeito de desaceleração no GDP por trabalhador – *Slowdown*.

Quanto as estimativas dos efeitos negativos a cada ano, percebe-se que a quantidade de investimento estrangeiro de fundos de investimento, perdido por uma relação capital-trabalho inadequada, deixam de potencializar o crescimento econômico do Brasil, e a solução para isto, já foi discutida, na revisão de literatura. Estes, são os mais prováveis atualmente sob as óticas da academia, empresários e governo. Existe também, a possibilidade de ser a incipiência da adoção de tecnologias

de simulação cognitivas, que é uma característica de adotantes iniciais de *General Purpose Technologies*, que preferem investir nela somente quando for conseguido um número adequado de utilizadores desta tecnologia, ou também pela ação das Global value chains, que são canais de disseminação de tecnologias, e estão perdendo força através do tempo por muitos motivos.

Desta forma, tem-se também como sugestão para trabalhos futuros, entender quais as responsabilidades, no caso brasileiro, da ação das Tecnologias da informação e comunicação como forças complementares da GPT – Inteligência Artificial.

7. BIBLIOGRAFIA

ABRAMOVITZ, Moses. 1956. *Resource and output trends in the United States since 1870*. *American Economic Review* 46 (2): 5–23. Disponível em:

<https://www.nber.org/system/files/chapters/c5650/c5650.pdf>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2021.

ABRAMOVITZ, Moses. 1986. *Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind*. *The Journal of Economic History*, volume 46, no.2, *The Tasks of Economic History*. (june, 1986), pages 385-406. JStor.

ACEMOGLU, Daron, AUTOR, David; DORN, David; HANSON, Gordon H.; PRICE, Brendan. 2014. *Return f the Solow Paradox: IT, Productivity, and Employment in US Manufacturing*. NBER, 2020. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w19837>. Acesso em: 07 de agosto de 2020.

ACEMOGLU, Daron, JOHNSON, Simon e ROBINSON, James A. 2006. *Institutions as Fundamental Cause of Long-Run Growth*. Disponível em: <https://economics.mit.edu/files/4469>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

AGRAVAL, Ajay K., GANS, Joshua S., e GOLDFARB, Avi. 2018. *Economic Policy for Artificial Intelligence*. NBER, 2020. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24690.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

ARROW, Kenneth J., 1962. *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*. NBER, 2020. Disponível em: [chrome-extension://ohfgljdgelakfkefopgkclcohadegdpjf/https://www.nber.org/system/files/chapters/c2144/c2144.pdf](https://www.nber.org/system/files/chapters/c2144/c2144.pdf) . Acesso em: 23 de novembro de 2020.

BAUMOL, William J., “*Macroeconomics of Unbalanced Growth: The Anatomy of Urban Crisis*,”*American Economic Review*, June 1967, 57, 415–426.

BESSEN, James. 2018. *Ai and Jobs: the role of demand*. NBER, 2020. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24235.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

BRESNAHAN, Timothy F., and TRAJTENBERG, Manuel. 1995. *General Purpose Technologies. Engines of Growth?* *Journal of Econometrics* 65(1): 83-108.

BRYNJOLFSSON, Erik. 1993. *The Productivity Paradox of Information Technology: Review and Assessment*. ResearchGate, 2020. Disponível em: www.researchgate.net/the-productivity-paradox-of-information-technology.pdf. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

BRYNJOLFSSON, Erik; ROCK, Daniel, SYVERSON, Chad. 2017. *Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w24001>. Acesso em 07 de agosto de 2020.

BRYNJOLFSSON, Erik; ROCK, Daniel; SYVERSON, Chad. 2018. *The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w25148>. Acesso em: 01 de julho de 2020.

BUCHANAN, Bruce G., 2006. *A (Very) Brief History of Artificial Intelligence*. *AI Magazine*, volume 26, no.4(2006). (AAAI).

BUGHIN, Jacques; SEONG, Jeongmin; MANYIKA, James; CHUI, Michael e JOSHI, Raoul. 2018. *Notes From the AI Frontier: Modeling the Impact of AI on the World Economy*. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy#>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

CARLAW, Kenneth I., LIPSEY, Richard G., 2011. *Sustained Endogenous Growth Driven By Structured and Evolving General Purpose Technologies*. *Journal of Evolutionary Economics* 21, 563–593 (2011). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00191-010-0212-2>. Acesso em: 03 de outubro de 2020.

COBB, Charles W. e DOUGLAS, Paul H. 1928. "A Theory of Production." *The American Economic Review* 18, no. 1 (1928): 139-65. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1811556>. Acessado em: 30 de janeiro de 2021.

COMMISSION, European. 2019. *Chapter 7. European Commission*, 2019. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/srip/2020/rec-19-003_srip_chap-7.pdf. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

CRAFTS, Nicholas. 2002. *The Solow Productivity Paradox in Historical Perspective. Discussion Paper. London: Centre For Economic Policy Research. Discussion Paper (Centre For Economic Policy Research, United Kingdom)(No.314).*Disponível em: <http://wrap.warwick.ac.uk/1673/>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

CRAFTS, Nicholas. 2003. "Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective, *The Economic Journal*, Volume 114, Issue 495, April 2004, pages 338-351.

DEWAN, Sanjeev e KENNETH, L. Kraemer. *International Dimensions of the Productivity Paradox: don't blame IT!. Communications of the ACM.* August 1998/Vol. 41, No. 8. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA126069570&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00010782&p=AONE&sw=w>. Acessado em: 17 de setembro de 2020.

DURLAUF, Steven N. e KOURTELLOS, Andros e TAN, Chih Ming, *Empirics of Growth and Development* (22 de setembro de 2005). *INTERNATIONAL HANDBOOK OF DEVELOPMENT ECONOMICS*, Vol. 1, Amitava Dutt e Jaime Ros, eds., Edward Elgar Publishing, 2008, disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=811569>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

FORUM, World Economic. 2020. *Jobs of Tomorrow: Mapping Opportunity in the New Economy.* WEF, 2020. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Jobs_of_Tomorrow_2020.pdf. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.

FRANKE, R.H, *Technological Revolution and Productivity Decline. Computer Introduction in the Financial Industry. Technological Forecasting and Social Change*, Vol.31, (1987).

GORDON, R.J. and BAILY, M.N., *Measurement Issues and the Productivity Slowdown in Five Major Industrial Countries. International Seminar on Science Technology, and Economic Growth*(1989, Paris).

HELPMAN, Elhanan e TRAJTENBERG, Manuel.1994. *A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based on General Purpose Technologies*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w4854>. Acesso em: 07 de agosto de 2020.

HELPMAN, Elhanan e TRAJTENBERG, Manuel.1996. *Difusion of General Purpose Technologies*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w5773>. Acesso em: 15 de maio de 2020.

Isaac Newton Quotes. *BrainyQuote.com, BrainyMedia Inc*, 2020. Disponível em: https://www.brainyquote.com/quotes/isaac_newton_135885. Acesso em 18 de outubro de 2020.

ISBELL, Steven B..2001 *The “New Economy”, Solow’s Paradox, and Economic History*, EBHSOC, 2020. Disponível em: <https://www.ebhsoc.org/journal/index.php/ebhs/article/download/78/62>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

JONES, Charles I., *Introdução à Teoria do Crescimento Econômico*, 2000. Tradução: Maria José Cyhlar Monteiro. 6a. reimpressão. Rio de Janeiro. Elsevier, 2000.

JONES, Benjamin F., JONES, Charles I., AGHION, Philippe. *Artificial Intelligence and Economic Growth*. 2017. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w23928>. Acesso em 07 de agosto de 2020.

JOVANOVIC, Boyan e ROUSSEAU, Peter L., 2005. “*General Purpose Technologies*”, *Handbook of Economic Growth*, in Philippe Aghion & Steven Durlauf (ed), *Handbook of Economic Growth, Edition 1, Volume 1, Chapter 18, pages 1181-1224*. Elsevier.

KNOWLES, Elizabeth M., (2006). *The Oxford Dictionary of Phrase and Fable*. (Oxford: Oxford University Press)

KORINEK, Anton e STIGLITZ, Joseph E..2017. *Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w24174>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

KURODA, Ernesto Tiaki; KALFAS, Alan Joseph e ELLER, Rogéria de Arantes Gomes. 2012. *Aplicação da Função Cobb-Douglas para Análise da Produtividade no Setor*

Aéreo: o Caso da Gol. Abril de 2012, Journal of Transport Literature 6: 169-179. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262299642_Aplicacao_da_Funcao_Cobb-Douglas_para_Analise_da_Produtividade_no_Setor_Aereo_o_Caso_da_Gol. Acesso em 30 de janeiro de 2021.

LIPSEY, Richard G., CARLAW, Kenneth I. and BEKAR, Clifford T. (2005), *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*, (Oxford: Oxford University Press)

MARCO, Alexandre Asatsuma. 2015. Análise do Comportamento da Função de Produção das Cooperativas Agrícolas Brasileiras. INSPER, 2015. Disponível em: http://dspace.insper.edu.br/xmlui/bitstream/handle/11224/1459/Alexandre%20Asatsuma%20Marco_Trabalho.pdf?sequence=1. Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

MCGUIRE, Brian; SMITH,Chris; HUANG, Ting;YANG, Gary. 2006. *The History of Artificial Intelligence*. Disponível em:<https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590/06au/projects/history-ai.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

NEWTON, Isaac. "Carta de Sir Isaac Newton para Robert Hooke". *Sociedade Histórica da Pensilvânia*. Disponível em: <https://www.hisour.com> Acesso em: 7 de junho de 2018.

PERRAULT, Raymond; SHORAN, Yoav; BRYNJOLFSSON, Erik; CLARK, Jack; ETCHEMENDY, John; GROSZ, Barbara; LYONS, Terah; MANYIKA, James; MISHA, Saurabr and NIEBLES, Juan Carlos, "*The AI Index 2019 Annual Report*". *AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University*, Stanford, CA, December, 2019.

RODRIK, Dani. 2018. *New Technologies, Global Value Chains, and Developing Economies*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w25164>. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

ROMER, Paul M., 1990. *Endogenous Technological Change. The Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, Part 2: *The Problem of Development: A Conference of the Institute for the Study of Free Enterprise Systems*. (Oct., 1990), pp.S71-S102.

Disponível em: <http://links.jstor.org/sici?sici=0022-3808%28199010%2998%3A5%3CS71%3AETC%3E2.0.CO%3B2-8>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

ROSENBERG, Nathan and TRAJTENBERG, Manuel. 2001. *A General Purpose Technology at Work: The Corliss Steam Engine in the late 19th Century US*. NBER, 2020. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w8485>. Acesso em: 07 de agosto de 2020.

SHEHORY, Onn. 2020. *Israel: (AI) Startup Nation? Israel Artificial Intelligence Startups and Their Ecosystem*. AI ECOSYSTEMS, 2020. Disponível em: <https://revistaidees.cat/en/israel-ai-startup-nation/>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

SILVA, Rodrigo Rodrigues. 2004. *Estimação da Função de Produção Cobb-Douglas para o Setor Industrial do Estado de Pernambuco*. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/4239/1/arquivo5866_1.pdf. Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

SOLOW, Robert M. 1956. *A Contribution to the Theory of Economic Growth. The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1 (Feb., 1956), pp. 65-94. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1884513>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

SOLOW, Robert M., 1987. *"We'd Better Watch Out"*. New York Times Book Review, (july,12);

SONI, Neha e SHARMA, Enakshi e SINGH, Narotam e KAPOOR, Amita. (2019). *Impact of Artificial Intelligence on Businesses: from Research, Innovation, Market Deployment to Future Shifts in Business Models*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332898261_Impact_of_Artificial_Intelligence_on_Businesses_from_Research_Innovation_Market_Deployment_to_Future_Shifts_in_Business_Models. Acesso em 07 de outubro de 2020.

TRIPLETT, Jack E., 1998. *The Solow Productivity Paradox: what do computers do to productivity?* Brookings Institution, 2020. Disponível em: <https://www.brookings.edu/articles/the-solow-productivity-paradox-what-do-computers-do-to-productivity/>. Acesso em: 17 de setembro de 2020.

ANEXO 1 - Tabelas

Tabela 1 – Dados Macroeconômicos:

Tabela 1 - Dados Macroeconômicos						
Ano	Y= produto	Log Y	K=capital	Log K	L=labor	Log L
2014	2,456E+12	12,39023	565391	5,752349	97915,82	4,990853
2015	1,8022E+12	12,25581	2,02E+08	8,306212	112707	5,051951
2016	1,7957E+12	12,25423	7618133	6,881849	131858,6	5,120108
2017	2,0628E+12	12,31446	6950496	6,842016	184624,5	5,266289
2018	1,8855E+12	12,27542	10418948	7,017824	273631,6	5,437166
2019	1,8398E+12	12,26476	52620997	7,721159	406204,9	5,608745

Fonte: *AI index*, IBGE, *World Bank*, *World Economic Forum*.

Tabela 2 - Trabalhador Data e AI por 10000 novos empregos

Tabela 2 - Trabalhador Data e AI por 10000 novos empregos						
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
L - Data e AI	45	63,45	89,4645	126,1449	177,8644	250,7888

Fonte: *World Economic Forum* e elaboração pelo autor

Tabela 3 - Admissões, demissões e saldo de trabalhadores

Tabela 3 - Admissões, demissões e saldo de trabalhadores						
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Admissões	21759070	17763119	14738646	14635899	15384283	16197094
Demissões	21368062	19316072	16060640	14656731	14854729	15553015
Saldo	391008	-1552953	-1321994	-20832	529554	644079

Fonte: IBGE, CAGED e elaboração pelo autor

Tabela 4 – Dados de Capital por Trabalhador:

Tabela 4 - Dados de Capital por Trabalhador						
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
K (USD\$)	565391	202400627	7618133	6950496	10418948	52620997
L(pessoas)	97915,815	112706,9901	131858,5595	184624,467	273631,5841	406204,9203
A	25,8624611	25,86246107	25,86246107	25,8624611	25,86246107	25,86246107
\tilde{k}	0,22326785	69,43703242	2,233934182	1,45564909	1,472271129	5,008919391
$\log \tilde{k}$	-0,6511738	1,841591152	0,349070373	0,16305669	0,167987796	0,699744043

Fonte: Elaboração pelo autor.

Tabela 5 – Dados de Produto por Trabalhador Corrigido

Tabela 5 – Dados de Produto por Trabalhador				
Ano	Y	Produto por trabalhador	Capital por trabalhador	Log Capital
2014	2,456E+12	1036,296789	0,22794835	-0,651173802
2015	1,8022E+12	760,043256	70,89268213	0,349070373
2016	1,7957E+12	771,690804	2,28076547	0,163056692
2017	2,0628E+12	883,3591691	1,486164722	0,167987796
2018	1,8855E+12	796,1539941	1,503135222	0,176998052
2019	1,8398E+12	761,7155288	5,113924341	0,708754298

Fonte: World Bank e Elaboração pelo autor.

Tabela 6 – Dados de Taxa de Crescimento da População do Brasil.

Tabela 6 - (6579) - População residente estimada								
Variável - População residente estimada (Pessoas)								
	Ano							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Brasil	2,01E+08	2,03E+08	2,04E+08	2,1E+08	2,08E+08	2,1E+08	2E+08	2,1E+08
Variação	0	0,008635	0,008293	0,00798	0,007664	0,00402	0,0079	0,00765

Fonte: IBGE - Estimativas de População e Elaboração pelo autor

Tabela 7 – Dados da taxa de Investimento-Poupança;

Tabela 5 - Taxa s						
Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
s	2,3021E-07	0,000112	4,24E-06	3,37E-06	5,53E-06	2,86E-05

Fonte: Elaboração pelo autor.

Tabela 8– Derivada Primeira do Modelo de Produto por Trabalhador

Tabela 8 - Produto por trabalhador após cálculos dos modelos			
Ano	Capital por trabalhador	Taxa	USD\$
2014	0,22794835	-0,20115439	-183,6264466
2015*	70,89268213	-0,000646792	-0,590432529
2016	2,28076547	-0,020104133	-18,35232344
2017	1,486164722	-0,030853115	-28,16467446
2018	1,503135222	-0,030504781	-27,84669334
2019	5,113924341	-0,008966267	-8,184975531

Fonte: Elaboração pelo autor. (*outlier)

ANEXO 2 - Figuras

Figura 1 – Capital por Trabalhador Versus Taxa de Crescimento do Produto por Trabalhador em Data e AI.

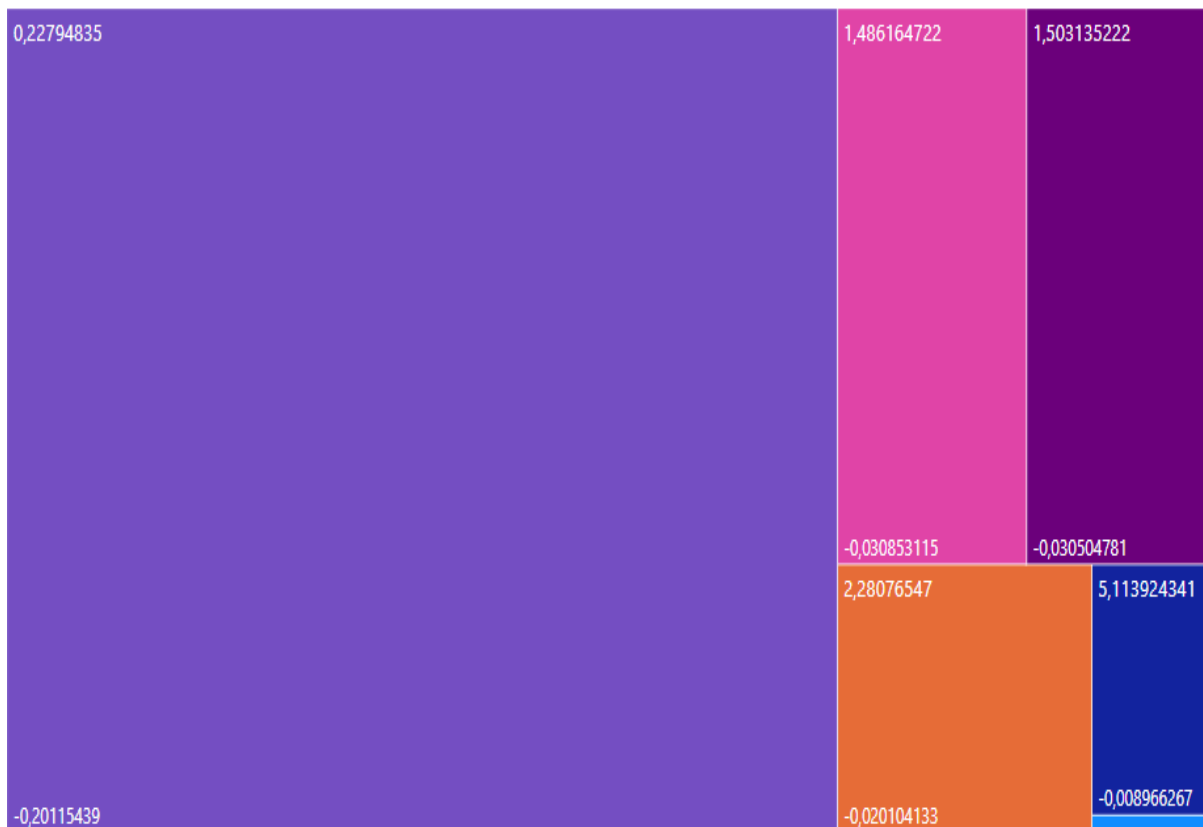


Figura 2 – Produto por Trabalhador Versus Capital por Trabalhador em Data e AI

