



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA
E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE TEORIA ECONÔMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

PEDRO OLÁVIO FEITOSA MENDONÇA

A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DE UMA ECONOMIA CELESTIAL NÃO
GAIÉTICA DE EXPLORAÇÃO

FORTALEZA

2022

PEDRO OLÁVIO FEITOSA MENDONÇA

A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DE UMA ECONOMIA CELESTIAL NÃO GAIÉTICA
DE EXPLORAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Antônio Kappes

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F336f Feitosa Mendonça, Pedro Olávio.
A função de produção de uma economia celestial não gaiética de exploração / Pedro Olávio Feitosa Mendonça. – 2022.
30 f.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Ciências Econômicas, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Sílvio Antônio Kappes.
1. Economia Astroespacial. 2. Corpos gaiéticos. 3. Corpos não gaiéticos. 4. Função de produção. I. Título.
CDD 330
-

PEDRO OLÁVIO FEITOSA MENDONÇA

A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DE UMA ECONOMIA CELESTIAL NÃO GAIÉTICA
DE EXPLORAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Econômicas da Faculdade de
Economia, Administração, Atuária e
Contabilidade da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Antônio Kappes

Aprovada em: 10/02/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sylvio Antônio Kappes (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Guilherme Diniz Irffi

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jair do Amaral Filho

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, a Seus santos e anjos, principalmente a meus inúmeros intercessores dentre eles, e à Santa Igreja, em especial a todos os sacerdotes que alguma vez já me ministraram algum sacramento ou bênção.

Aos meus pais, Márcio e Teresa.

À glória de Roma.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem O qual eu nada seria, nada sou e nada serei, e à Sua Santa Igreja, no seio da qual nasci, no seio da qual vivo e no seio da qual não desejo senão morrer.

Agradeço especialmente a meus inúmeros intercessores, dentre eles a Santíssima Virgem Maria, Mãe de Deus e da Igreja, Santo Tomás de Aquino, Santo Agostinho, São João Bosco, São José, São Josemaria Escrivá, Santo Inácio de Loyola, São Padre Pio, São Luís IX, Rei de França, São Ladislau I, Rei da Hungria, Santo Afonso Maria de Ligório, São Nuno de Santa Maria, São Cura d’Ars, Beato Miguel Pro, São Miguel, São Gabriel, São Rafael, São John Henry Newman, São Thomas More, Beato Carlo Acutis, Beato Carlos Magno, primeiro Sacro Imperador Romano-Germânico, Beato Carlos I, último Imperador da Áustria-Hungria, São Judas Tadeu, Santa Rita de Cássia e meu anjo da guarda.

Agradeço também a todos os sacerdotes que me ministraram bênçãos e sacramentos, em especial ao padre Ermínio José, padre Bezerra, padre Magalhães de Sobral, padre Magalhães de Portugal, padre Antônio, padre Saraiva, padre Wellington e demais sacerdotes que, graças a Deus, são muitos. Agradeço também aos Santos Padres, em especial ao Papa Francisco.

Agradeço, também, a meus familiares, em especial meu pai, minha mãe e meus irmãos.

Agradeço aos professores Dr. Sylvio Kappes, meu orientador, que realizou um excelente trabalho, Dr. Jair do Amaral Filho, cujas aulas e conversas foram o combustível deste trabalho, ao professor Dr. Guilherme Irffi, cujas aulas me fizeram ver a economia de um modo muito mais abrangente do que antes, à professora Dr. Maria Cristina, cujas aulas me fizeram olhar para a tecnologia, essencial à “economia astroespacial”, de um modo muito mais completo e a todos os professores que me ensinaram durante o curso.

Agradeço, também, a meus amigos, em especial a Vitor Pacheco e Pedro Antônio, que me ajudaram a entender as burocracias da universidade, excruciantes para mim, Yuri Nekan, com quem conversei em vários momentos da realização deste trabalho, com ele me fornecendo alguns insights, e a Gabriel Moura, Beatriz do Nascimento e Leonardo Gomes, que muito me ajudaram no início do curso, quando eu não era senão um neófito. Não poderia citar todos, pois o trabalho seria uma grande folha de agradecimentos, mas agradeço a todos os envolvidos.

“An me deleteo non animum advertetis
decem habere legiones populum Romanum
quae non solum vobis obsistere, sed etiam
caelum diruere possent?” (CÉSAR, 2013, p.
25)

RESUMO

Os recentes desenvolvimentos e o progresso esperado para um futuro próximo no campo da exploração econômica espacial tornam ainda mais importantes os estudos econômicos sobre o espaço extraterrestre. Uma teorização da economia “astroespacial” em geral, mais cedo ou mais tarde, será necessária. É apresentada uma função de produção de uma economia de exploração no que se convencionou chamar “corpo celeste não gaiético” – corpos celestes incapazes de acolher uma economia humana autossuficiente, por quaisquer razões –, com base em uma análise das realidades deles. O conceito de “corpos celestes gaiéticos” também é apresentado e explicado. Para isso, foram utilizadas pesquisas de diversas áreas, desde economia, para servir de base para a parte verdadeiramente econômica deste trabalho, até astrofísica, com o intuito de explicar o comportamento de cada fator da função de produção. Descreveu-se uma função de produção teórica e razoável: $Y_{\beta} = f(K_{\beta}, N_{\beta}, L_{\beta}, S_{\beta}, U_{\beta})$. O fator capital (K_{β}) realiza todo o “trabalho pesado”, com o trabalho humano (L_{β}) servindo para diminuir os custos de depreciação do capital. O fator recursos naturais (N_{β}) determina o que pode ser extraído do corpo em questão, o fator progresso tecnológico (S_{β}) determinará a eficiência do processo de produção e o fator instituições (U_{β}) será responsável por regular o mercado, oferecendo maior segurança e alterações na produtividade de cada fator, para mais ou para menos. Estes resultados implicam uma grande importância do fator capital (K_{β}) na produção, ao mesmo tempo em que significam que o trabalho humano (L_{β}), diferentemente da função de produção telúrica, não tem uma importância vital no processo de produção. Outros delineamentos das características gerais desta função de produção são realizados numa seção de comparação com outras funções de produção de marcante presença na literatura.

Palavras-chave: economia astroespacial; corpo celestial gaiético; corpo celestial não gaiético; função de produção.

ABSTRACT

The recent developments and the progress expected for the near future in the field of economic space exploration make the economic studies of extraterrestrial space to be even more important nowadays. A theorization of ‘astrospacial’ economics in general, sooner or later, will be necessary. A production function of an exploitation economy on what has been called a ‘non-gaietic celestial body’ – celestial bodies incapable of hosting a self-sufficient human economy, for any reason whatsoever – is presented, on the basis of an analysis of their realities. The concept of ‘gaietic celestial bodies’ is also presented and explained. For that, researches on various fields were utilized, from economics, to serve as a basis for the truly economical part of this work, to astrophysics, with the intent of explaining the behaviour of each factor of the production function. A reasonable theoretical production function has been described: $Y_{\beta} = f(K_{\beta}, N_{\beta}, L_{\beta}, S_{\beta}, U_{\beta})$. The factor capital (K_{β}) will be doing all the ‘hard work’, while the factor labour (L_{β}) will have the role of reducing the costs of depreciation of the capital. The factor natural resources (N_{β}) determines what can be extracted from the body concerned, the factor technological progress (S_{β}) will determine the efficiency of the process of production and the factor institutions (U_{β}) will be responsible for regulating the market, offering more security and alterations on the productivity of each factor, be it for more, be it for less. These results implicate a great importance of the factor capital (K_{β}) on the production, at the same time they mean that the factor labour (L_{β}), in contrast with the normal telluric production function, does not have a vital importance on the production process. Other sketches of the general characteristics of this production function are made in a section of comparison with other production functions of striking presence in the literature.

Keywords: astrospacial economics; gaietic celestial bodies; non-gaietic celestial bodies; production function.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de gravidade dos principais corpos do sistema solar	25
Tabela 2 – Comparação da produtividade energética de diferentes fontes	39

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
	1.1. Objetivo geral	13
	1.2. Objetivos específicos	13
	1.3. Justificativa	14
	1.4. Metodologia	14
	1.5. Referencial Teórico	15
	1.6. Revisão de Literatura	15
	1.7. Estrutura do Trabalho	16
2.	CONCEITO DE CORPOS CELESTES GAIÉTICOS E NÃO GAIÉTICOS....	17
3.	A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	21
	3.1. Fator trabalho (L_{β})	23
	3.2. Fator capital (K_{β})	30
	3.3. Fator progresso tecnológico (S_{β})	31
	3.4. Fator instituições (U_{β})	33
	3.5. Fator recursos naturais (N_{β})	37
4.	4. PARALELOS COM OUTRAS FUNÇÕES DE PRODUÇÃO	43
	4.1. Adam Smith	43
	<i>4.1.1. Fator trabalho</i>	<i>43</i>
	<i>4.1.2. Fator progresso tecnológico</i>	<i>44</i>
	<i>4.1.3. Fator terra (recursos naturais)</i>	<i>44</i>
	<i>4.1.4. Fator instituições</i>	<i>45</i>
	<i>4.1.5. Comparação dos comportamentos gerais das funções</i>	<i>45</i>
	4.2. David Ricardo	47
	<i>4.2.1. Fator terra (recursos naturais)</i>	<i>47</i>
	<i>4.2.2. Fator progresso tecnológico</i>	<i>48</i>
	<i>4.2.3. Fator capital</i>	<i>48</i>
	<i>4.2.4. Comparação dos comportamentos gerais das funções</i>	<i>49</i>
	4.3. Karl Marx	51
	<i>4.3.1. Fator trabalho</i>	<i>51</i>

4.3.2.	<i>Fator terra (recursos naturais)</i>	51
4.3.3.	<i>Fator capital</i>	52
4.3.4.	<i>Fator progresso tecnológico</i>	52
4.3.5.	<i>Comparação dos comportamentos gerais das funções</i>	53
4.4.	Joseph Alois Schumpeter	53
4.4.1.	<i>Fator capital</i>	54
4.4.2.	<i>Comparação dos comportamentos gerais das funções</i>	54
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A humanidade alcançou a era de exploração espacial há décadas, mas, desde o fim da corrida espacial da Guerra Fria, os esforços de exploração arrefeceram, isto é, até um ressurgimento recente do interesse pela exploração dos astros. As iniciativas capitalistas de exploração por parte de empresas tais como a Blue Origin e a SpaceX, além de medidas assertivas por parte dos governos de nações como a China e os Estados Unidos, ressuscitaram o fervor investigativo da área. Uma vez que a perspectiva do aproveitamento de recursos naturais extraterrestres vem se tornando cada vez mais sólida e palpável, é necessário que a academia passe a desenvolver estudos mais vigorosos quanto a isso. A exploração dos chamados “corpos celestes não gaiéticos” – corpos incapazes de acolher uma economia humana autossuficiente, por quaisquer razões, como será visto adiante – deve receber especial atenção, ao menos em um primeiro momento, porquanto todos os corpos celestes conhecidos pela humanidade até agora, com exceção da própria Terra, se encaixam nesta categoria. Estudos econômicos práticos e teóricos, portanto, são, por enquanto, úteis, mas, em breve, serão absolutamente necessários.

1.1 Objetivo geral

Descrever, em teoria, com base em uma análise razoável das realidades dos corpos celestes não gaiéticos, uma função de produção de uma economia de exploração e extração em um deles instalada.

1.2 Objetivos específicos

Definir o conceito de corpo celeste gaiético – conceito essencialmente econômico; descrever o papel e o comportamento dos fatores da função e explicar as razões por trás de seus papéis e comportamentos; salientar as diferenças mais notáveis entre este tipo de função de produção e a função de produção de corpos celestes gaiéticos – o tipo ao qual pertence a

função de produção da Terra.

1.3 Justificativa

É necessário estudar o tema, pois o ser humano, apesar de ainda não ter estabelecido uma economia como a descrita neste trabalho em canto algum do universo, está razoavelmente próximo de fazê-lo, como mostra o desejo de alguns países de explorar o hélio-3 na Lua, como a China, e os planos de Elon Musk de instalar uma colônia em Marte. Uma vez que a raça humana se aproxima desta etapa de sua existência, é de extrema importância que os conhecimentos econômicos desta área tenham uma base teórica mais sólida.

1.4 Metodologia

Consiste numa pesquisa descritiva. Demonstra-se a função de produção, para que depois seja explicado o comportamento – e as razões deste comportamento – de cada fator. Desenha-se o funcionamento da função, dando-se especial ênfase às diferenças de comportamento de cada fator em relação ao que seria esperado deles no planeta Terra ou, em termos mais gerais, em economias estabelecidas em corpos celestes gaiéticos. Foram utilizadas principalmente fontes de pesquisa primárias, apesar de que também foram utilizadas fontes secundárias. A pesquisa tem caráter qualitativo. É definido o conceito de “corpo celeste gaiético”, após o que são estudadas as peculiaridades mais comuns e evidentes dos corpos celestes não gaiéticos, a fim de definir o comportamento de cada fator num ambiente hipotético não gaiético generalizado. Explicar-se-á o funcionamento básico de cada fator na determinação do nível final de produção da economia. Paralelamente, serão exploradas algumas discussões sobre a realidade dos fatores. Nota-se que a apresentação destas discussões não visa o esgotamento da matéria, mas tão somente o enriquecimento da argumentação por trás do comportamento hipotético assumido por cada fator na função de produção apresentada. Por fim, outras questões não diretamente pertencentes à função de produção em si, como a restrição de produtividade marginal decrescente, serão exploradas na

seção de comparação, na qual a função de produção desenhada é comparada com outras funções de produção já apresentadas na literatura, sendo elas as de Smith, Ricardo, Marx e Schumpeter, como apresentadas por Adelman (1964).

1.5 Referencial teórico

Foram utilizados trabalhos de outros pesquisadores principalmente para o cumprimento de três objetivos: para servirem de base para os desenvolvimentos econômicos teóricos e para que fossem obtidas definições formais de certos conceitos, foram utilizados trabalhos econômicos propriamente ditos, como Acosta (2013), Furtado (2007) e Sandroni (1985); para que fosse realizado o estudo das peculiaridades que um corpo celeste não gaiético costuma ter e o estudo de outras questões menores trabalhadas, foram utilizadas obras de variados campos da ciência, como Fitts, Riley e Widrick (2001), do campo da fisiologia, e Krasnopolsky e Parshev (1981), de astronomia, dentre outros; por fim, a obra-base utilizada na seção de cruzamento da função de produção apresentada com outras funções já conhecidas é a de Adelman (1964).

1.6 Revisão de literatura

Não foi encontrada nenhuma literatura acerca especificamente de uma função de produção aplicada a corpos celestes não gaiéticos. É possível, no entanto, encontrar literatura sobre alguns assuntos razoavelmente bem relacionados com o tema. Jakhu e Buzdugan (2008), por exemplo, fazem um interessante estudo sobre a questão institucional da exploração espacial ao analisar se aquilo identificado como “barreiras regulatórias” agiria como um obstáculo ao desenvolvimento econômico da exploração espacial – e a resposta, argumentam, é não. Neste sentido, no entanto, Bhattacharya (2018) argumenta que o atual regime legislativo não é adequadamente equipado para lidar com certas questões que vêm surgindo, de modo que a “viabilidade legal” estaria em uma situação tênue. Paxson III (1993) também explora a mesma questão ao analisar a problemática do compartilhamento, por parte das nações capazes de explorar o espaço, dos benefícios da exploração espacial com as nações

incapazes de fazê-lo – seu *busílis* está no fato de que há dois acordos diplomáticos importantes que regeriam este compartilhamento.

Knappenberger (2015) mergulha em uma discussão sobre os prováveis altos preços de importação de mão de obra por uma colônia marciana e conclui, de forma semelhante ao que se faz neste trabalho, que uma eventual colonização de Marte envolveria um foco no uso de capital como real força motriz da economia. Uma vez que Marte pode ser classificado, ao menos antes de uma terraformação, como um corpo não gaiético, então esta conclusão de Knappenberger sobre o fator capital ressona com as deste trabalho, ainda que tenha partido de premissas diferentes das utilizadas aqui e não necessariamente existentes numa situação de instalação de uma economia em um corpo celeste não gaiético.

Por fim, Hessel *et al.* (2020) exploram a importante questão de que serão necessários maiores desenvolvimentos tecnológicos do que os atuais para começarmos a minerar asteroides – os corpos não gaiéticos mais comuns, como será visto.

É possível encontrar ampla literatura que trate sobre assuntos econômicos práticos da exploração espacial, mas, em termos de teoria, os trabalhos são mais escassos. A maior parte da literatura que trata de teoria, pelo que as pesquisas de literatura apontaram, não o faz diretamente, mas paralelamente a um outro objetivo, tido como principal, como Bilder (2009), que trata indiretamente do fator institucional ao tratar da legislação relativa à exploração econômica da Lua. A literatura que trata de teoria tende a focar na questão institucional, na verdade, já que esta é a mais desenvolvida das questões econômicas da exploração espacial.

1.7 Estrutura do trabalho

Uma vez que o conceito de corpos gaiéticos é novo e essencial para o entendimento integral deste trabalho, ele virá primeiro. Após sua definição, virá uma visão geral da função de produção, seguida de uma análise em detalhe de cada fator, segundo as diretrizes já mencionadas. Por fim, virá a comparação desta função de produção com outras já consagradas na literatura, a fim de que sejam destacadas semelhanças, diferenças e nuances interessantes, seguida das considerações finais e das referências do trabalho.

2 CONCEITO DE CORPOS CELESTES GAIÉTICOS E NÃO GAIÉTICOS

O planeta Terra é o berço da humanidade. Sendo assim, ele é o planeta mais habitável que conhecemos e, muito provavelmente, o mais habitável que conheceremos ao longo de toda a história de nossa espécie, considerando o cenário hipotético em que as ações humanas não terminam por tornar o planeta inabitável ou extremamente hostil à vida. Aos olhos da humanidade, a Terra é o planeta habitável por excelência. É perfeitamente possível que seres humanos se unam uns com os outros no ambiente telúrico, formando uma sociedade e, a partir daí, desenvolvendo uma civilização. Ou seja, a partir da Terra, estes seres humanos tiram tudo o que é necessário para sua sobrevivência, para sua reprodução e, no processo de construção de uma civilização, para a criação de uma economia. A habitabilidade da Terra é tal que a economia em questão pode chegar ao ponto de produzir excedentes, que serão utilizados como material de troca, dando início a mercados, que aumentarão o nível de prosperidade da civilização e desenvolverão ainda mais sua economia, além de permitir que uma parte da mão de obra desta civilização seja utilizada em outras atividades distantes da produção agropecuária. O fato de a terra ser confortavelmente habitável para os seres humanos é o que permite a existência dessa dinâmica de crescimento.

É razoavelmente provável, no entanto, que existam outros planetas habitáveis para os seres humanos em algum lugar do universo (DOLE, 1964). Imagine-se um planeta hipotético X, habitável, mas não tão ideal ou gentil à raça humana quanto a Terra. Neste planeta, o ser humano conseguirá viver, mas sua vida não será tão fácil quanto é na Terra. Humanos tenderão a viver menos neste planeta do que na Terra, e com condições de vida mais precárias, de forma que será mais difícil para um indivíduo crescer e reproduzir-se. Haverá, por isso, uma dificuldade maior de desenvolver uma economia e obter excedentes de produção, o que leva a uma dificuldade maior de estabelecer mercados. No fim das contas, haverá uma dificuldade maior generalizada de desenvolver uma civilização. Ainda será possível, mas será, também, mais difícil.

Existem, por outro lado, corpos celestes inabitáveis, a partir dos quais é absolutamente impossível desenvolver uma civilização, pois neles – desconsiderando-se intervenções externas – o ser humano não consegue sobreviver, de modo que não pode habitar nestes corpos, não pode crescer, não pode se reproduzir e, portanto, não pode estabelecer uma

economia autossuficiente, nem excedentes de produção, nem mercados. Exemplos desta classificação de corpos celestes são a Lua, asteroides em geral, Saturno, Júpiter, Mercúrio, Vênus, Marte, este último, ao menos, antes de uma hipotética terraformação, estrelas e até mesmo buracos negros. Nestes corpos, não existem as condições mínimas necessárias para que eles abriguem vida humana por si sós, apesar de que alguns podem abrigá-la, desde que haja uma intervenção ativa da civilização humana a partir de um outro planeta que seja habitável. Por exemplo, a Lua não pode abrigar vida humana por conta própria, mas é possível criar instalações artificiais em seu solo, mantidas lá com ajuda constante da Terra, capazes de abrigar seres humanos indefinidamente (BEGGS, 1985). Estes corpos celestes não podem abrigar vida humana por uma série de motivos: pode ser que não tenham atmosfera, ou tenham atmosfera venenosa; gravidade muito alta ou muito baixa; solo infértil para agricultura; temperaturas extremas etc.

É desconsiderado, nesta conceituação, em razão de ser de natureza hipotética, para fins de simplificação, o conceito de planeta super-habitável de Heller e Armstrong (2014).

A partir destas apresentações de corpos celestes habitáveis e corpos celestes inabitáveis, definir-se-ão os corpos da seguinte forma: “corpos gaiéticos” serão os corpos ao modelo do Planeta X, habitáveis e a partir dos quais é perfeitamente possível o desenvolvimento de uma economia humana sem necessidade de intervenção externa, ou seja, sem o apoio da produção vinda de outro planeta; “corpos não gaiéticos” serão os corpos a partir dos quais não é possível o estabelecimento de uma economia humana sem intervenção externa. É necessária, em ambos os casos, a intervenção externa inicial do envio de seres humanos para estes corpos, de modo que é claro que, por “intervenção externa”, quer-se dizer quaisquer outras intervenções além desta intervenção inicial.

A definição de corpo gaiético é centrada na capacidade do corpo de permitir o desenvolvimento independente de uma economia própria, sem auxílio de economias estabelecidas em outros corpos, sendo um conceito, mais do que biológico, econômico e, justamente por isso, mais adequado para definir se um corpo celeste é mais interessante do que outros para que nele seja estabelecida uma economia ou não. A gaieticidade não determina a habitabilidade do corpo, mas é um conceito que, a partir da questão da habitabilidade, determina em quais locais do universo uma economia humana pode se desenvolver orgânica e independentemente, de forma necessariamente autossustentável.

O corpo gaiético é semelhante à Terra no sentido de que ele, por si só, é capaz de abrigar vida humana, capaz de permitir que essa vida cresça e se reproduza e, portanto, capaz de permitir que os humanos nele estabeleçam sociedades e economias. Uma consequência desta definição é que um planeta gaiético deve ser minimamente capaz de acolher certas flora e fauna, não necessariamente telúricas, as quais o homem poderá aproveitar para a manutenção de sua própria vida. Um corpo gaiético pode ter diferentes graus de “gaieticidade”. Um planeta onde é muito difícil de estabelecer uma civilização humana, mas que ainda oferece a possibilidade, é um planeta pouco gaiético. Um planeta onde é muito fácil e confortável estabelecer uma civilização humana, é um planeta muito gaiético. Em um corpo gaiético, ainda que a economia possa vir a ser instalada artificialmente, com intervenção externa (como colonizadores vindos de uma nave espacial), é perfeitamente possível que ela se desenvolva, a partir desse “kickstart”, sozinha, considerando as possibilidades oferecidas por todo o território do corpo celeste gaiético em questão. Como já dito, a Terra é o planeta habitável por excelência e, portanto, em virtude da proximidade dos dois conceitos, a Terra é o planeta gaiético por excelência.

Neste sentido, é necessário realizar uma observação: todo corpo gaiético é habitável, mas nem todo corpo habitável é gaiético. Imagine-se, para fins de exemplificação, um planeta com atmosfera, gravidade, temperatura e demais “variáveis planetárias” idênticas às da Terra. Na verdade, a única diferença deste planeta para a Terra é o fato de que ele é uma grande esfera d’água no espaço – um planeta puramente oceânico. A princípio, um ser humano, neste planeta, sentir-se-ia em casa. Poderia respirar, movimentar-se, viver. No entanto, ele não teria onde pôr os pés e, eventualmente, morreria afogado após fadigar-se ao extremo para nadar neste oceano. O planeta é habitável, a princípio. No entanto, só é possível um grupo de seres humanos estabelecer uma presença de longo prazo neste planeta e, portanto, uma civilização, acompanhada de uma economia, se forem estabelecidas plataformas artificiais firmes nas quais este grupo pode viver. Em outras palavras, o planeta até é habitável, mas o estabelecimento de uma civilização e de uma economia nele só é possível com uma pesada carga de intervenção externa: a criação de ilhas artificiais, neste caso. Assim, ainda que seja habitável, o planeta não tem condições de ser caracterizado como gaiético.

Para simplificar, se for possível que uma única colônia humana em um planeta sobreviva e se desenvolva sozinha, sem nenhuma ajuda externa, ou se for possível que várias colônias nesse planeta sobrevivam ajudando-se mutuamente – não conseguindo sobreviver

completamente sozinhas – sem absolutamente nenhuma ajuda extraplanetária, então o planeta em questão será considerado um corpo gaiético. Em sendo um corpo gaiético, quanto mais aproximada for a facilidade destas colônias de sobreviver e crescer neste planeta da facilidade de crescer e sobreviver na Terra, mais gaiético o planeta será. Nos planetas não gaiéticos, caso economias fossem instaladas e mantidas, elas teriam algumas peculiaridades – posteriormente discutidas – e necessitariam de intervenção externa ao menos frequente, senão constante, direta ou indiretamente, de uma economia de um corpo gaiético ou de um conjunto de economias gaiéticas. Economias não gaiéticas, portanto, só existirão se o setor externo, em relação a elas, existir e suportá-las.

As economias gaiéticas são, assim, autossustentáveis, ou seja, capazes de sobreviver e crescer sozinhas, seja dependendo de apenas uma região do corpo celeste, seja dependendo do todo do corpo celeste, ao menos em um primeiro momento após sua instalação. À medida que economias em outros corpos celestes forem se desenvolvendo, o comércio entre elas será inevitável, de modo que, após um certo tempo, elas ficarão dependentes umas das outras, incapazes de sustentar sozinhas sua estrutura, a partir de então. Inicialmente, no entanto, são autossustentáveis.

Uma vez apresentados estes conceitos, apresentar-se-á, agora, a função de produção de economias hipotéticas instaladas em corpos celestes não gaiéticos. É necessário estudar o tema, pois o ser humano, apesar de ainda não ter estabelecido uma economia assim, está razoavelmente próximo de fazê-lo, como mostra o desejo de alguns países, como a China, de explorar o hélio-3 na Lua (SIMKO; GRAY, 2014), sendo este corpo celeste o principal corpo não gaiético conhecido pela humanidade, já que é o único corpo celestial, além da própria Terra, no qual um ser humano andou. Em contrapartida, a função de produção de corpos gaiéticos em geral não deve ser nenhum grande desafio para o homem, uma vez que tende a ser muito semelhante à função de produção da Terra, estudada há séculos.

Uma observação ainda é necessária. Ao longo deste trabalho, serão utilizados os termos “telúrico” e “gaiético”. O primeiro se refere àquilo que é da Terra – do planeta, não do solo –, enquanto o segundo se refere a qualquer corpo celestial que se enquadre na categoria de corpo gaiético, categoria à qual pertence a própria Terra, mas que não é composta apenas dela. Assim, não significam a mesma coisa e apenas de forma muito limitada podem ser utilizados como sinônimos.

3 A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

Antes da função em si, é necessário apresentar alguns pontos básicos. Primeiramente, como é possível depreender a partir da natureza de um corpo celeste não gaiético, as economias neles instaladas tendem a ser de exploração. Com economia de exploração, quer-se dizer, a princípio: “[...] activities which remove large quantities of natural resources that are not processed (or processed only to a limited degree), especially for export.”¹ (ACOSTA, 2013, p. 62).

Entretanto, é forçoso levar esta definição além: as economias de exploração de corpos celestes não gaiéticos não trazem consigo o prospecto implícito de instalação de uma economia colonial paralela de subsistência.

Essa abordagem de uma economia pura e absolutamente voltada para a exploração é nova para a espécie humana. Na época das colonizações, mesmo as economias ditas “de exploração” necessitavam da instalação de uma dinâmica mínima de subsistência dos colonos. Pode-se usar como exemplo o início da atividade açucareira no Nordeste brasileiro: o propósito da colônia era usar as terras da região para produzir cana-de-açúcar, mas, visto que, por exemplo, o trabalho humano era um componente importante da função de produção, era necessário que a colônia investisse, ainda que minimamente, na subsistência desta força de trabalho, o que levou a um desenvolvimento de uma atividade de sustentação endógena como a pecuária, que servia para fornecer insumos básicos de sobrevivência e mão de obra animal para a economia em questão (FURTADO, 2007). Ou seja, ainda que o propósito da colônia não fosse povoar a região, era necessário instalar uma “infraestrutura econômica” mínima, capaz de permitir a sobrevivência das pessoas que ali fossem viver.

É necessário, neste sentido, definir formalmente a economia de subsistência: “Produção agrícola de bens de consumo imediato e para o mercado local.” (SANDRONI, 1985, p. 128). Esta formação subsistente serviria apenas para abastecer a população de uma determinada região sustentando os esforços de produção e colonização.

A humanidade, portanto, nunca se deparou com uma perspectiva de instalação de

¹ “[...] atividades que removem grandes quantidades de recursos naturais que não são processados (ou o são apenas até um grau limitado), especialmente para fins de exportação.”, em tradução livre.

uma economia de exploração em que um esforço mínimo de garantia de subsistência a partir da própria região explorada não fosse necessário, pois ele foi necessário em todas as experiências de colonização tidas pela espécie humana até agora, desde os primeiros esforços de colonização na antiguidade até os esforços recentes de colonização do Novíssimo Mundo. Entretanto, pela própria natureza hostil à vida dos corpos celestes não gaiéticos, a instalação neles desta “infraestrutura de subsistência” é impossível, se realizada a partir do próprio corpo, e extremamente inconveniente e cara, se realizada artificialmente, de modo que o prospecto de instalar em um destes corpos uma economia extrativista não traz, consigo, uma razoável perspectiva de instalar, junto, uma economia de subsistência. Esta realidade torna ainda mais problemático o uso de mão de obra humana na economia extrativista em questão, já dificultado pela própria natureza hostil à vida dos corpos celestes não gaiéticos, cujos problemas dela advindos serão discutidos mais a fundo, quando do tratamento da questão do trabalho humano nestas economias. Sendo assim, a função de produção destas economias delegará ao trabalho humano uma função menor e menos importante do que a que é delegada ao trabalho pela economia gaiética.

Outro ponto importante é a questão da energia para alimentar o capital, composto majoritariamente por máquinas. Uma vez que o trabalho humano, devido às condições adversas dos corpos não gaiéticos, não pode ser plenamente utilizado, sua carga recai em cima do fator capital. Este fator capital necessitará de energia – principalmente eletricidade – para funcionar. No entanto, a eletricidade não poderá ser considerada um fator de produção, porquanto ela simplesmente alimenta as máquinas, enquanto, por si só, nada produz – senão, poder-se-ia dizer, calor, devido ao efeito Joule (JOULE, 1841), que poderia ser aproveitado para algum processo produtivo (desconsiderar-se-á esta interpretação na construção da função, para fins de simplificação). Sob este aspecto, ela será considerada parte integrante do fator capital. É necessário comentar, no entanto, sua realidade com relação ao funcionamento das máquinas e em relação ao contexto celeste da função de produção em questão. Primeiramente, se as máquinas receberem energia de menos, não funcionarão tão eficientemente e, se receberem energia demais, poderão ser danificadas ou, para evitar danos, o sistema pode travar seu próprio funcionamento, de modo que um excesso de energia ocasiona pelo menos perdas de eficiência, devido à interrupção preventiva do funcionamento do capital, podendo até ocasionar danos graves a ele – traduzidos em uma depreciação extraordinariamente alta. Por este motivo, a eletricidade será considerada em seu nível ideal – nem mais do que as

máquinas precisam, nem menos – como uma hipótese de simplificação. Em segundo lugar, transportar energia elétrica de uma economia instalada em um corpo gaiético para um corpo não gaiético, ainda que próximos um do outro, pode ser um grande desafio, principalmente em razão da distância. As limitações de logística, infraestrutura e a perda de eficiência de transmissão ocasionada pelo efeito Joule são grandes obstáculos. Assim, a economia de exploração muito se beneficiaria de ter sua própria estação de geração de energia, com essa sendo capaz de alimentar todo o sistema, a fim de que ele obtenha grandes ganhos de eficiência ao cortar a necessidade de intervenção externa para sua alimentação. Talvez, nesse sentido, fosse possível falar da instalação de uma “economia de subsistência voltada ao capital”. Essa estação de geração de energia será considerada parte integrante do fator capital na função de produção.

A partir destas apresentações iniciais, é definida a função de produção destas economias como:

$$Y_{\beta} = f(K_{\beta}, N_{\beta}, L_{\beta}, S_{\beta}, U_{\beta})$$

Em que:

- Y_{β} = Produção da economia não gaiética
- K_{β} = Capital
- N_{β} = Recursos naturais do corpo celeste não gaiético em questão
- L_{β} = Trabalho
- S_{β} = Progresso Tecnológico
- U_{β} = Instituições

Nas próximas seções, cada fator será explorado separadamente. Serão estudados o modo como cada fator é afetado pelas peculiaridades dos corpos celestes não gaiéticos e os comportamentos decorrentes disto.

3.1 Fator trabalho (L_{β})

O trabalho é alocado a um papel subalterno – à função de suporte técnico, em termos precisos – não constituindo um fator de produção propriamente dito, porquanto não

está diretamente incluso na cadeia de produção da economia, em razão de uma série de dificuldades relacionadas à fisiologia humana. Em termos práticos, a razão de ser de L_β é tão somente minimizar os custos de depreciação de K_β . Assim, é, em tese, perfeitamente possível que a economia funcione no caso $L_\beta = 0$. Neste caso, haveria uma grande depreciação do fator capital, mas não uma diminuição direta da produtividade.

Muitos são os desafios que o ser humano enfrenta para sobreviver fora da Terra, multiplicados pelo fato de que cada corpo celeste é diferente e muitos guardam peculiaridades outrora inimagináveis para o conhecimento humano. Dentro do conjunto dos corpos celestes não gaiéticos, há uma imensa variedade de peculiaridades dos corpos, grande parte tendo em comum o fato de que tornam impossível a vida humana: em Vênus, a atmosfera tem uma presença considerável de ácido sulfúrico (KRASNOPOLSKY; PARSHEV, 1981); na Lua, a poeira lunar é onipresente, o que representa um grande perigo, visto que há indícios de sérios males causados por poeira lunar em organismos de mamíferos (CASTON *et al.*, 2018); em Marte, a ausência de um campo magnético como o da Terra torna o planeta – e potenciais colonizadores – completamente vulneráveis a danos ocasionados pela radiação cósmica e por ventos solares (NASA, 2022). Estes são alguns exemplos de dificuldades que estes corpos apresentam para a vida humana que, dentre outras coisas, tornam muito difícil a prática de qualquer trabalho seriamente produtivo. Considerando o imenso número de estrelas no universo e o conseqüente enorme potencial número de planetas e corpos celestes em geral, é de se esperar que inúmeras outras dificuldades simplesmente inesperadas ou tidas como imensamente improváveis surjam. Além disso, mesmo conseguindo sobreviver fora da Terra, o ser humano ainda enfrenta uma série de problemas relacionados a um ambiente não tão favorável à sobrevivência da espécie ou à vida humana comum. Entrar-se-á em detalhes sobre os problemas mais evidentes.

O primeiro problema a chamar atenção é o da diferença gravitacional. A gravidade superficial de um determinado corpo celeste depende de tantos fatores que é muito difícil encontrar um corpo com uma gravidade – a nível superficial – exatamente igual ao da gravidade telúrica, ao mesmo tempo em que esse corpo se mostra “facilmente explorável” a partir da Terra, cujo módulo é $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Para fins de ilustração apresenta-se uma tabela com os valores da gravidade superficial aproximada de cada um dos principais corpos do sistema solar – os corpos que seriam primeiro explorados presencialmente por seres humanos, todos os quais, com exceção da própria Terra, não gaiéticos:

Tabela 1 – Valores de gravidade dos principais corpos do sistema solar^[1]

CORPO CELESTE	GRAVIDADE SUPERFICIAL	VALOR DA GRAVIDADE SUPERFICIAL EM TERMOS DE GRAVIDADE TELÚRICA
Mercúrio	<i>3,7 m/s²</i>	<i>0,37g</i>
Vênus	<i>8,87 m/s²</i>	<i>0,9g</i>
Terra	<i>9,81 m/s²</i>	<i>g</i>
Marte	<i>3,71 m/s²</i>	<i>0,37g</i>
Júpiter	<i>24,79 m/s²</i>	<i>2,52g</i>
Saturno	<i>10,4 m/s²</i>	<i>1,06g</i>
Urano	<i>8,87 m/s²</i>	<i>0,9g</i>
Netuno	<i>11,15 m/s²</i>	<i>1,13g</i>
Sol	<i>274 m/s²</i>	<i>27,93g</i>
Plutão	<i>0,66 m/s²</i>	<i>0,06g</i>
A Lua	<i>1,62 m/s²</i>	<i>0,16g</i>

Fonte: Elaboração Própria (2021)

[1] (NASA, 2022)

O problema da diferença gravitacional se apresenta de duas formas: quando o ser humano em questão fica por longos períodos de tempo sob completa ausência de ação de alguma resultante gravitacional significativa ou sob ação de uma resultante gravitacional muito fraca; e quando ele fica por longos períodos de tempo sob ação de uma resultante gravitacional significativamente maior do que a telúrica. O corpo humano é naturalmente desenvolvido para suportar o ambiente telúrico, e isso significa dizer que ele nasceu para suportar uma aceleração gravitacional de *9,81 m/s²*, aproximadamente, empurrando-o para baixo.

Quando esta aceleração é menor e o corpo a experimenta por longos períodos de

tempo, as articulações não são trabalhadas como o esperado pela própria fisiologia do corpo, de modo que, com o passar do tempo, elas enfraquecem e os músculos atrofiam (FITTS; RILEY; WIDRICK, 2001). Este problema de enfraquecimento generalizado do sistema motor do corpo humano pode vir a significar uma velhice com mais dores e impedimentos do que o comum para quaisquer pessoas que passem, por qualquer motivo que seja, longos períodos no espaço. De modo contrário, quando exposto a uma força gravitacional maior do que a telúrica por longos períodos de tempo, é de se esperar que o corpo tenha dificuldade de suportar o novo ambiente. No entanto, é esperado que o corpo humano consiga se adaptar sem maiores problemas a pequenas diferenças para mais (BOSCO, 1985).

Estes problemas podem significar, também, que apenas seres humanos tidos como “idealmente aptos” para suportar estas condições portariam alguma capacidade útil de trabalho. Em outras palavras, pessoas que sofrem com algum problema limitante ou debilitante em seu sistema motor poderiam ser consideradas inaptas para realização de qualquer tipo de trabalho nestes ambientes: seres humanos que sofrem com artrite, artrose, escoliose, lordose, cifose e quaisquer outras condições que possam vir a ocasionar dores e dificuldades motoras seriam eliminados de um eventual processo de seleção de força de trabalho, semelhante ao que acontece na seleção de candidatos aprovados em concursos de forças armadas atualmente. Isso, a fim de contas, tornaria mais difícil a oferta de mão de obra.

Um outro problema importante a ser considerado é a questão da temperatura dos corpos celestes não gaiéticos. Eles compõem a imensa maior parte do universo conhecido – o único corpo gaiético conhecido até agora é a própria Terra – e são, em sua maioria, asteroides, que compõem a imensa maior parte do universo conhecido, havendo mais de um milhão apenas no sistema solar (MINOR PLANET CENTER, 2022). Com uma quantidade tão grande e uma variedade tão vasta, é de se esperar que as inúmeras variáveis de um corpo celeste tenham uma grande variância dentro do conjunto dos corpos celestes não gaiéticos. Como visto, mesmo entre os planetas do sistema solar a variação do valor da gravidade superficial, por exemplo, é enorme. O mesmo ocorre com a temperatura.

A temperatura média superficial de um corpo celeste é dada em função de vários fatores – distância entre o corpo e a estrela-mãe; a quantidade de energia liberada pela estrela-mãe em questão em um certo momento; o diâmetro do corpo celeste em questão; a “área de contato” da energia térmica estelar no corpo em um certo momento; a composição do corpo; o fato de o corpo ter uma atmosfera em que ocorre efeito estufa; se esse efeito estufa é

forte ou fraco, etc.

Como todos esses fatores muito variam, então a temperatura dos corpos celestes em geral – não apenas dos não gaiéticos – também variará muito de um corpo para outro. Daí surge um problema pernicioso: como manter vivo e saudável um grupo de seres humanos – cujas temperaturas corporais adequadas variam em torno de 37°C (HUTCHISON *et al.*, 2008), estando esse grupo localizado em um corpo celeste cujas temperaturas são mais baixas do que as dos desertos gelados telúricos ou mais altas do que as temperaturas de sol a pino do Saara? É possível resolver isso com a instalação de bases climatizadas, mas a simples instalação delas sem trabalho humano já é um grande desafio, além de que a manutenção de seu funcionamento sem dúvidas seria muito cara. Em outras palavras, temperaturas extraordinárias constituem mais um motivo segundo o qual a manutenção e o uso de trabalho humano em uma economia de exploração de um corpo celeste não gaiético são muito caros e inconvenientes, de modo que eventuais empresários provavelmente focariam em utilizar trabalho humano o mínimo possível.

Há, ainda, uma outra questão digna de destaque. O ritmo circadiano de um ser humano – manifestações corporais internas que permitem adaptações do corpo a mudanças ambientais previstas segundo o passar do tempo (WALKER 2ND, 2020) – é, supondo um bom estado de saúde, acostumado à passagem dos dias do planeta Terra. Em uma situação hipotética na qual um grupo de seres humanos sai do planeta Terra para um corpo celeste não gaiético que completa uma volta em torno de si mesmo (um dia, segundo os padrões deste corpo celeste) em apenas $18h_T$ (horas telúricas), os membros deste grupo precisariam ajustar seus ritmos circadianos de $24h_T$ para ritmos de apenas $18h_T$, se precisarem, para a realização de seu trabalho, aproveitar determinados momentos do dia do corpo para fins específicos a cada momento – aproveitando a manhã para trabalhar e o fim de tarde e a noite para dormir, por exemplo.

A fim de contas, este problema teria a capacidade de tornar o trabalho humano ineficiente durante o período de adaptação, senão mesmo impossível, em casos extremos de perturbação do ritmo circadiano.

É verdade, porém, que a questão só deve ser um verdadeiro desafio em uma situação de colonização de um planeta gaiético – caso que não será trabalhado, porquanto seres humanos em um corpo celeste não gaiético tenderiam a passar todo o seu tempo confinados em sua base de operações, vivendo, trabalhando e dormindo segundo o ritmo

circadiano telúrico, sem se importarem com a passagem dos dias no corpo em questão, já que o resto do território do corpo ou não é de interesse para os trabalhadores ou não oferece prospectos de sobrevivência.

Outras problemáticas devem ser consideradas ao se enviar seres humanos ao espaço por longos períodos de tempo. Uma delas tem a ver com potenciais danos biológicos ocasionados por radiação cósmica não filtrada. A maioria destes corpos, por razões que serão discutidas, não têm campos magnéticos. Sendo assim, não refletem boa parte da radiação cósmica que recebem, como faz a Terra. Apesar de que uma armadura adequada seria, em tese, capaz de proteger, razoavelmente, seres humanos de grandes efeitos da radiação cósmica (WILSON *et al.*, 1997, 1999 *apud* SINGH *et al.*, 2011), o aumento de sua dosagem nestas situações ainda pode vir a ter consequências biológicas negativas, (SPURNY; DACHEV, 2009 *apud* SINGH *et al.*, 2011).

O fator psicológico de ficar isolado em um lugar literalmente inóspito e longe da civilização, com apenas algumas outras poucas pessoas, não deve ser desconsiderado enquanto potencial raiz de problemas de saúde mental. A natureza geralmente inóspita de um corpo celeste não gaiético, ao demandar a instalação de um ecossistema artificial para o suporte da vida humana, também torna muito caro o emprego de mão de obra humana para a extração de recursos naturais. É importante lembrar que a maioria deles, sendo composta por asteroides, não tem uma atmosfera rica em oxigênio, ou qualquer atmosfera que seja.

As dificuldades de movimentação nos corpos não gaiéticos, por causa de diferenças gravitacionais, existência de uma atmosfera densa etc., e dificuldades diárias daí advindas tenderão a dificultar o trabalho humano, tornando-o muito menos produtivo do que é na Terra. Dê-se um exemplo prático. É comum que um minerador, na Terra, ao utilizar uma ferramenta manual, utilize a energia potencial gravitacional oferecida pela gravidade telúrica para gastar menos energia com o uso de seu corpo enquanto obtém o mesmo resultado final com o uso da ferramenta. Em termos simples, o minerador, ao usar uma picareta de cima para baixo, por exemplo, poderia deixar a força da gravidade fazer parte de seu trabalho, de modo que ele se cansa menos, podendo trabalhar por mais tempo. Em um outro corpo celeste, este mesmo minerador, caso a gravidade fosse mais baixa, não poderia aproveitar tanta energia potencial gravitacional quanto faria se estivesse na Terra, de modo que não pode economizar tanta energia em seu trabalho, cansando-se mais rapidamente. Em um corpo com maior gravidade, entretanto, o excesso de energia potencial gravitacional poderia causar um

descontrole ocasional no uso de força pelo trabalhador, talvez danificando ou o produto ou a ferramenta, ou mesmo machucando o minerador. No fim das contas, há motivos para crer que, na maioria dos corpos celestes não gaiéticos, esta questão poderia significar um trabalho humano menos eficiente, ao passo que uma máquina, adequadamente calibrada, não sofreria com tantos obstáculos.

Esta mesma questão significa uma grande dificuldade para os trabalhadores de se manter bons níveis de saúde física por meio de exercícios. Diferenças gravitacionais, ambientais, de temperatura etc. poderiam dificultar, de várias formas diferentes, a prática adequada de exercícios. O problema geral das diferenças de gravidade está intimamente relacionado com este. Exercícios aeróbicos ou realizados com peso seriam drasticamente diferentes em ambientes igualmente diferentes. A solução desta questão foge ao escopo deste trabalho, mas, a fim de contas, pessoas incapazes de praticar exercícios físicos tenderiam a sofrer com problemas de saúde com mais facilidade e frequência, em virtude do sedentarismo resultante. Trabalhadores doentes significam, de um ponto de vista econômico, um alto custo, principalmente se a empresa tiver de arcar com questões trabalhistas por causa disso.

As inúmeras dificuldades e riscos de saúde associados ao trabalho naturalmente farão, *cæteris paribus*, a oferta de mão de obra para este tipo de economia diminuir, o que tende a fazer a remuneração deste fator, nestas mesmas condições, aumentar, a fim de estimular a oferta. Os salários, portanto, tenderiam a ser altos, tanto em função da especialização quanto em função da baixa oferta. Além disso, as já citadas dificuldades fisiológicas certamente levariam os trabalhadores a uma vida profissional curta, graças aos riscos e altas demandas da profissão em termos de saúde, semelhante ao que acontece com trabalhadores de usinas nucleares ou operadores de máquinas de raios-x. Isso poderia levar, inclusive, a um futuro problema previdenciário, o que é mais um incentivo para que os empresários não se baseiem em trabalho humano para estes empreendimentos, mas sim em capital.

Todas as discussões apresentadas endossam fortemente a tese de que o uso de trabalho humano como fonte da força produtiva da economia seria caro e ineficiente, o que significa que, nas condições observadas, o capital é quem assumirá este papel. O trabalho, assim, será movido a um papel no qual ocupa uma menor parcela de custos, complementar às atividades do capital: assistência técnica e manutenção.

3.2 Fator capital (K_β)

Uma vez que o trabalho humano não poderá ser utilizado como fonte verdadeira da força produtiva da economia por razões já vistas, sobra ao capital esta função. Essencialmente automático, o capital destas economias trabalhará por si próprio, não servindo de ferramenta para facilitar o trabalho de uma pessoa, mas, efetivamente, para realizar, ele mesmo, o trabalho.

Uma característica importante deste capital é que ele será caro. A tecnologia por trás do funcionamento do capital sempre terá um alto grau de complexidade, pois ele terá de funcionar completamente sozinho e ser resistente a ocorrências externas problemáticas, discutidas posteriormente. Muito difícil é, também, enviar todo o maquinário através do espaço e montá-lo no corpo não gaiético selecionado, por razões como peso – que dificulta o lançamento espacial; fragilidade – que dificulta a aterrissagem e o manejo da nave durante a viagem; alta complexidade de partes – que envolve técnicos especializados para realizar a montagem, o que implica inúmeras dificuldades com manutenção de mão de obra e sustentação de vida humana em ambientes inóspitos etc. A fim de contas, estes desafios e dificuldades serão traduzidos em custos econômicos maiores e entraves tecnológicos – resolvidos, em grande parte, com injeção de capital para pesquisa, o que aumenta ainda mais os custos.

Além disso, cada instalação de capital deverá ser construída especificamente para a exploração de um determinado recurso em uma determinada parte de um determinado corpo gaiético, transformando o capital aqui descrito em algo extraordinariamente específico, o que leva a um grande aumento nos riscos de inversão. A maravilhosa variedade de corpos celestes no espaço, dos quais a maioria pertence à categoria dos não gaiéticos, faz com que cada operação em cada corpo celeste para extração de cada recurso diferente tenha de ser calculada e montada de modo único. O capital, por consequência, é feito sob medida para o investimento em questão. Isso significa dizer que, se o investimento der errado, o capital muito provavelmente não poderá ser liquidado para cobrir custos.

O capital necessitará de mão de obra humana para manutenção de rotina e para a solução de problemas ocasionados em decorrência de constante recepção de radiação cósmica,

mais presente em corpos sem campo magnético, que pode causar panes no sistema, ou em decorrência de outros problemas externos, como o estrago causado pela colisão com um outro corpo celeste. Ocorre que a maioria dos corpos não gaiéticos ou são asteroides ou não tem, de forma geral, a composição física necessária para possibilitar, pelo menos em hipótese, a formação de um campo magnético, geralmente por serem muito pequenos, a ponto de padecerem de uma incapacidade absoluta, em virtude da ausência de um núcleo com dinâmicas de movimentação de fluidos metálicos apropriadas, como as descritas pela United States Geological Survey (USGS, 2022). Campos magnéticos têm a capacidade de amenizar o impacto de radiação cósmica na superfície de um corpo, como mencionado na seção sobre o fator trabalho. Sem um campo magnético para proteger o corpo da radiação cósmica, o capital instalado neste corpo estará sujeito aos efeitos nefastos dela. Höeffgen *et al.* (2020) mencionam muito claramente que o ambiente rico em radiação do espaço tem efeitos adversos em sistemas eletrônicos. Radiação cósmica é uma causadora de anomalias nos sistemas de comunicação de satélites (BINDER *et al.*, 1975). É dito, também, que raios cósmicos podiam causar erros nos sistemas de memória da década de 1980 a um nível considerável de significância (ZIEGLER *et al.*, 1979), o que, infelizmente, não é uma informação obsoleta, visto que o mesmo ocorre com sistemas eletrônicos recentes, como já mencionado. Uma vez que os bens de capital de alto valor agregado atualmente contam, quase que de forma absoluta, com sistemas eletrônicos em sua composição, isso logo se transforma num grande problema quando o cenário considerado é o de uma economia não gaiética. Logo se percebe que a radiação cósmica é um fator que pode aumentar o valor da depreciação do capital, o que torna mais necessária a presença de mão de obra técnica qualificada para a realização de manutenções neste.

A ocorrência de desastres naturais nestes corpos também é um fator que torna o capital vulnerável a problemas que só podem ser solucionados por mãos humanas qualificadas. O impacto de um meteoro que afete parcialmente as instalações de uma indústria, ou a explosão de um vulcão, talvez até mesmo uma tempestade de poeira, são exemplos de ocorrências naturais potencialmente catastróficas, capazes de danificar o capital instalado, que deverá ser reparado, na medida do possível, pelo fator trabalho.

3.3 Fator progresso tecnológico (S_{β})

Traduzir-se-á em maior eficiência na operação de cada fator de produção, sob duas dimensões: maximização de produtividade e minimização de custos. Com maior tecnologia, o capital funcionará melhor, será mais resistente e de mais fácil e barata produção e instalação, se bem que, talvez, mais complexo e demandante de mão de obra técnica qualificada; as pessoas terão acesso a melhores conhecimentos e ferramentas, que tornarão seu trabalho mais eficiente e fácil; os recursos naturais (N_β) darão mais frutos; as instituições (U_β) poderão ser melhor compreendidas, controladas e, se for o caso, melhor formuladas.

O progresso tecnológico tende a diminuir os custos e dificuldades de viagem e de vida nos corpos celestes não gaiéticos, melhorando as condições de vida dos trabalhadores humanos, elevando sua produtividade e empregabilidade, aumentando a oferta de mão de obra e diminuindo os custos relacionados à aquisição e ao preparo desta mão de obra, tanto no curto prazo, com os avanços da tecnologia de ensino e recrutamento, quanto no longo prazo, com a adaptação do mercado a esses avanços e a exploração de oportunidades por parte dos investidores.

Poderá ocorrer dentro da própria economia do corpo celeste não gaiético, ainda que sob a forma de pequenos avanços pontuais ocasionais. Provavelmente a instalação de exploração de recursos naturais da economia não terá um centro dedicado de pesquisa, a não ser que isso se prove muito útil e o negócio muito lucrativo – o que não é uma impossibilidade –, mas poderá ser capaz de gerar pequenos avanços incrementais, segundo a definição de Tigre (2014), que tenderão a ocorrer com o passar do tempo, de modo que algumas pequenas melhorias de eficiência poderão ser vistas na economia após um período de funcionamento.

Tende a ser difícil, no entanto, implantar grandes avanços tecnológicos em economias não gaiéticas já estabelecidas, porquanto será um grande desafio o conjunto da viagem de ida, com carregamentos de novo maquinário, a troca das instalações por mão de obra qualificada com experiência no trabalho com o maquinário de ponta e a viagem de volta deste mesmo pessoal. Muito mais fácil será implantar os avanços tecnológicos em economias não gaiéticas que ainda não terão sido realizadas. Justamente por isso – pela dificuldade de promover atualização da economia em virtude dos desafios “geográficos” – é que se diz que as economias não gaiéticas tenderão a sofrer atrasos tecnológicos severos com o passar do tempo.

Por fim, um certo nível de progresso tecnológico realizado já será necessário para dar início aos trabalhos de instalação da economia. Tome-se o exemplo da exploração de ${}^3\text{He}$ na Lua: antes de a humanidade lançar projetos de exploração econômica disso, ela primeiro precisará melhorar bastante suas tecnologias de viagem e transporte espacial Terra-Lua, refinar e solidificar suas tecnologias de mineração lunar e preparar um tipo de mão de obra completamente novo para a experiência existencial humana. Quanto mais longínquo de uma economia gaiética e quanto mais inóspito o corpo celeste for, tanto maior terá de ser esse progresso tecnológico inicial necessário.

3.4 Fator instituições (U_β)

O conceito de instituição é mais abstrato do que os dos demais fatores, de modo que a literatura tem uma dificuldade maior de definir com precisão. North (1991, p.97), diz: “institutions are the humanly devised constraints that structure political, economic and social interaction. They consist of both informal constraints [...] and formal rules [...]”².

Commons (1936, p.246) traz uma outra definição, mais simplificada, mais abrangente e menos robusta: “collective action in control of individual action”³. Hodgson (2015, p.501) tem uma definição muito semelhante a esta: “integrated systems of rules that structure social interactions”⁴. Faz-se a ressalva, no entanto, de que as “interações sociais” mencionadas na definição de Hodgson e a “ação coletiva”, como dita na definição de Commons, têm um sentido muito mais amplo do que interações relativas ao funcionamento de um mercado, que é o que importa para a análise do comportamento da função de produção de corpos celestes não gaiéticos. Portanto, para o estudo que se realiza, será feita a simplificação do sentido de instituições para algo de escopo puramente econômico. Ignorar-se-á, em consequência, suas dimensões social e política: sistemas integrados de regras e normas-guia desenvolvidos pela raça humana que, agindo como uma força coletiva em domínio da ação dos indivíduos de uma economia, estruturam as interações econômicas, formal ou informalmente, especialmente interações mercadológicas, de todos os indivíduos, empresariais

² “Instituições são as restrições, desenvolvidas pelo homem, que estruturam as interações políticas, econômicas e sociais. Consistem em restrições informais [...] e em regras formais [...]”

³ “ação coletiva em controle da ação individual”.

⁴ “sistemas integrados de regras que estruturam interações sociais”.

ou familiares, desta economia. Com base nesta definição de instituições é que a análise prossegue.

O fator instituições (U_β) é tido como o responsável por fornecer à economia segurança de mercado, além de potenciais alterações na produtividade dos fatores, em virtude de seu poder regulador de mercado. Em outras palavras, sua função é regular o mercado de tal forma que os riscos da inversão de capital e da operação da cadeia de produção diminuam o máximo possível, além de regular as ofertas e demandas dos bens, direta ou indiretamente. É claro que uma economia de exploração num corpo celeste não gaiético não estabelece, neste corpo, um mercado. É, no entanto, essencial a existência de um mercado estabelecido em um corpo gaiético para produzir aquilo que será utilizado para instalar a economia no corpo não gaiético. Além disso, os produtos desta economia não teriam uso prático se não fossem enviados para algum mercado fora dela. É em cima deste mercado externo, que monta a economia e recebe dela seus produtos, que as instituições irão agir. Esta regulação do mercado e da operação da economia se daria de várias formas diferentes.

É mister notar que as instituições já afetarão a função de produção desde o momento inicial, já que definirão questões anteriores à própria instalação. Como é um poder externo que montará esta economia – e o fará com propósitos muito bem estabelecidos –, ela já nascerá com um nível grande de organização própria. Poderá, ainda, desenvolver ela mesma uma organização própria, a partir da organização inicial, à medida em que o tempo for passando e ela for se consolidando em seu próprio espaço.

Instituições saudáveis e bem aplicadas teriam o poder de reduzir consideravelmente os riscos da inversão de capital na economia e da operação de sua cadeia de produção. Assim, *cæteris paribus*, é de se esperar que os investimentos na economia de exploração de um corpo não gaiético em questão aumentem com a instalação de instituições boas e adequadas. No curto prazo, este aumento significa aumento da oferta de capital (K_β) e trabalho (L_β) – pois mais fundos dariam aos organizadores da economia maior poder de projetar e construir maquinário especializado para a empreitada e de atrair e especializar mão de obra – e aumento da magnitude do progresso tecnológico (S_β), já que esses fundos serão, em parte, investidos em pesquisa. No longo prazo, este aumento se traduz em aumento de eficiência das operações dos fatores capital e trabalho – em virtude do aumento da magnitude do progresso tecnológico – e em um aumento adicional da magnitude do progresso tecnológico, ainda maior do que o de curto prazo, em virtude tanto do investimento no longo

prazo quanto do progresso tecnológico de curto prazo.

As instituições ainda teriam o poder de, pontualmente, aumentar ou diminuir a oferta ou a demanda de um bem, influenciando, assim, a produtividade das economias não gaiéticas a ele relacionadas. Afirma-se que, ao regular o mercado e a operação, as instituições necessariamente influenciam a produtividade da economia. Taxação imposta por uma autoridade soberana em cima de determinado bem produzido por meio de insumos obtidos de fontes extraterrestres influenciariam o mercado deste bem e o estímulo à produção dele, alterando a operação dos fatores da função de produção da economia relacionada à extração e ao beneficiamento destes insumos extraterrestres de tal modo que sua produtividade após a instituição do imposto provavelmente diminuirá, por exemplo. Por outro lado, hipoteticamente, o desenvolvimento, por parte de um povo, de uma cultura de apreciação de determinada especiaria, consumida junto com café, por exemplo, obtida apenas em Plutão, é uma instituição capaz de estimular bastante – em virtude do aumento que produz na demanda por esta especiaria – o aumento da produtividade dos fatores das economias de exploração desta especiaria. É inofensivo comentar que instituição, num sentido econômico, e ainda mais num sentido geral, não necessariamente é igual a legislação.

Se as instituições forem inconvenientes e/ou mal calculadas, elas terão efeitos potencializadores de risco e enfraquecedores de produtividade. Se elas forem convenientes e/ou bem calculadas, terão efeitos contrários, aumentando a eficiência do processo de produção no curto prazo, ao tornar o ambiente mais estável para a prática do negócio, e, no longo prazo, ao diminuir o risco total para investidores.

Há um vazio institucional razoavelmente grande no mercado de exploração econômica do espaço, especialmente de instituições não relacionadas a legislações, principalmente pelo motivo de este mercado ainda não haver sequer nascido. Pode-se dizer que o mercado de exploração econômica espacial ainda está em sua fase embrionária, nutrindo-se dos avanços de outros mercados próximos, como os de turismo espacial e engenharia aeroespacial. Uma vez que ainda é muito frágil, há pouquíssimos participantes – em comparação com outros mercados semelhantes –, além de que os governos da Terra ainda não passaram a se mover com vigor com relação a estes mercados. Se há poucos participantes no mercado e os legisladores não conferem ao mercado grande importância, então dificilmente instituições serão estabelecidas no mercado em questão. Isto tudo só contribui para torná-lo ainda mais arriscado aos olhos de potenciais investidores.

No entanto, este vazio não é completo, porquanto alguns esforços legislativos já foram realizados. O Tratado do Espaço Sideral de 1967, por exemplo, que inclui entre seus signatários Rússia, China, Índia, Estados Unidos e Brasil, estabelece, no primeiro parágrafo de seu primeiro artigo, a posse comum do espaço:

The exploration and use of outer space, including the Moon and other celestial bodies, shall be carried out for the benefit and in the interests of all countries, irrespective of their degree of economic or scientific development, and shall be the province of all mankind.

(OUTER SPACE TREATY, 1967, Art. I, § 1º)⁵

O tratado também bane instalações e fortificações militares, manobras e testes de armas nos corpos celestiais, especialmente na Lua.

Outro documento importante é o Tratado da Lua, de 1971, que busca regulamentar, dentre outras coisas, o uso dos recursos lunares da parte dos países do mundo. Ele falhou, visto que nenhum dos assinantes faz parte do seleto grupo de nações com real perspectiva de explorar economicamente o espaço. Uma ordem executiva – *Encouraging International Support for the Recovery and Use of Space Resources*⁶ – do então Presidente dos Estados Unidos da América, Donald Trump, na verdade, contraria ambos os acordos, declarando que os EUA não veem o espaço como bem comum e que o Tratado da Lua não é um instrumento eficiente para guiar as nações na promoção de participação comercial na exploração de longo prazo da Lua e de outros corpos celestes:

Americans should have the right to engage in commercial exploration, recovery, and use of resources in outer space, consistent with applicable law. Outer space is a legally and physically unique domain of human activity, and the United States does not view it as a global commons. [...] The United States is not a party to the Moon Agreement. Further, the United States does not consider the Moon Agreement to be an effective or necessary instrument to guide nation states regarding the promotion of commercial participation in the long-term exploration, scientific discovery, and use of the Moon,

⁵ “A exploração e uso do espaço sideral, incluindo a Lua e outros corpos celestiais, será realizada para o benefício e no interesse de todas as nações, não importando seu grau de desenvolvimento científico ou econômico, e será província de toda a humanidade.”

⁶ “Encorajando Suporte Internacional para a Recuperação e o Uso de Recursos Espaciais”

Mars, or other celestial bodies.

(EUA, 2020) ⁷

Uma observação importante sobre o cenário institucional atual da exploração econômica espacial é que, apesar de alguns países terem deixado *mementos*, ou mesmo símbolos nacionais, como uma bandeira, na Lua, nenhuma entidade nacional reclama posse sobre qualquer parte que seja do território lunar.

Ademais, desde a Guerra Fria, a humanidade vem dando os primeiros passos na criação e desenvolvimento do direito espacial (GABRYNOWICZ, 2004). No entanto, ainda há muito o que desenvolver e esclarecer. Há, por exemplo, uma necessidade de definir o que seria o espaço – seus limites, sua natureza, suas fronteiras, pois uma determinação universalmente aceita ainda não foi alcançada (GABRYNOWICZ, 2004). O direito espacial sobre questões de exploração econômica ainda engatinha, mas é de se esperar que, uma vez que a humanidade se lance de uma vez por todas na Era Espacial, ele termine por dar grandes saltos de desenvolvimento em curtos períodos de tempo.

O cenário geopolítico é o de uma silenciosa competição por poder e domínio sobre o espaço próximo. A já mencionada ordem executiva de Donald Trump e a criação da *United States Space Force* demonstram um interesse revivido dos estadunidenses pelo espaço. Por outro lado, a China vem desenvolvendo seu programa espacial vigorosamente, tendo estabelecido como um de seus objetivos principais a mineração de ³He na Lua (BILDER, 2009).

3.5 Fator recursos naturais (N_{β})

O fator recursos naturais determinará a quantidade disponível, a qualidade e a natureza dos recursos a serem extraídos do corpo celestial não gaiético em questão. É, portanto, absolutamente fundamental para determinar a produção final da economia, dado um

⁷ “Os americanos devem ter o direito de se engajar na exploração comercial, na recuperação e no uso dos recursos do espaço sideral, consistentemente com lei aplicável. O espaço sideral é domínio legal e fisicamente único da atividade humana e os Estados Unidos não o vê como um bem comum global. [...] Os Estados Unidos não é um membro do Tratado da Lua. Além disso, os Estados Unidos não considera o Tratado da Lua como um instrumento eficiente ou necessário para guiar estados-nação nos campos da promoção da participação comercial na exploração de longo prazo, das descobertas científicas e do uso da Lua, Marte ou outros corpos celestiais.”

certo período de tempo. Como, no curto prazo, o tamanho dos corpos celestiais não gaiéticos tende a se manter constante e os corpos são formados e deformados ao longo de milhões, ou mesmo bilhões de anos telúricos, o fator recursos naturais será considerado anterior à economia – pois terá sido “definido” antes da instalação da economia – e constante. Cabem algumas discussões sobre os recursos naturais e as razões por trás do fato de que poderia ser justamente este fator o mais estimulante para a ocorrência de esforços de exploração econômica espacial.

O já citado fato de os corpos celestes não gaiéticos, em geral, estarem mais vulneráveis à influência de radiação cósmica e de ventos solares faz com que alguns deles sejam extraordinariamente ricos em recursos extremamente valiosos e raros na Terra, porquanto estes recursos são formados justamente em virtude da forte e duradoura incidência de ventos solares e radiação cósmica, o que não ocorre no planeta.

Um exemplo pode ser dado com a Lua e ${}^3\text{He}$. O hélio-3, posto de forma simples, é um isótopo de hélio (He) com propriedades extremamente interessantes. É utilizado em pesquisas médicas, físicas e em pesquisas que necessitam de um ambiente controlado de baixas temperaturas. De fato, Mayo e Hayden (2002) dizem que o hélio-3 hiperpolarizado serviria de agente de contraste para um exame de tomografia computadorizada. Também, Franarin e Fairbairn (2016) consideram um detector polarizado de matéria escura baseado em hélio-3 como sendo capaz de, a princípio, eliminar 98% da interferência de neutrinos solares no processo de detecção, obedecidas certas condições específicas. Além disso, Cho (2009) menciona um certo “refrigerador de diluição” que utiliza hélio líquido gelado como um fluido refrigeratório e que é capaz de resfriar pequenos dispositivos eletrônicos até a temperatura de 1 milikelvin (0K é o chamado “zero absoluto”). Mas é uma outra propriedade que torna o ${}^3\text{He}$ um provável candidato a “combustível” de uma nova revolução industrial. Ryzhkov (2021) apresenta a reação deutério-hélio-3 ($D-{}^3\text{He}$) como uma alternativa muito mais limpa para a produção de energia em um reator termonuclear do que a costumeira reação deutério-trítio ($D-T$), ou seja, a reação $D-{}^3\text{He}$ poderia ser a base de um reator termonuclear caracterizado pela baixa radiação emitida na realização de suas funções de produção de energia. De fato, é possível gerar energia nuclear sem, no processo, produzir lixo ou material radioativo em geral que possa causar um acidente nuclear catastrófico. Simko e Gray (2014, p. 158) são

extremamente claros: “Nuclear fusion of helium-3 (${}^3\text{He}$) can be used to generate electrical power with little or no radioactive waste and no carbon emissions.”⁸.

A perspectiva de produção de energia nuclear limpa não é a única que recebe atenção, mas a produção de energia da reação $D-{}^3\text{He}$ também é digna de nota. Segundo Ryzhkov (2021), a reação tem a seguinte fórmula:



Onde:

- D = Deutério
- ${}^3\text{He}$ = Hélio-3
- p = Próton
- ${}^4\text{He}$ = Hélio-4
- MeV = Mega elétron-volt

Totaliza-se, portanto, uma geração de $18,35 \text{ MeV}$ ($14,68 \text{ MeV} + 3,67 \text{ MeV}$), na utilização de apenas um átomo de ${}^3\text{He}$. Considerando a realização desta reação com um mol de ${}^3\text{He}$, ou seja, $\sim 3\text{g}$ de ${}^3\text{He}$, gera-se $110,467 \times 10^{23} \text{ MeV}$, ou $1,769 \times 10^{12} \text{ J}$. Assuma-se uma eficiência n de 33% na conversão da energia total liberada pela reação em energia elétrica – uma eficiência pessimista, visto que 60% é um nível considerado possível (SCHMITT, 2006 *apud* SIMKO; GRAY, 2014), pelo que se terá um total de $162,36 \text{ MWh}/3\text{g de } {}^3\text{He}$, ou $54,12 \text{ MWh/g de } {}^3\text{He}$. Mostre-se um cenário prático: em 2019, o Brasil consumiu um total de $545,6 \text{ TWh}$ de energia elétrica (IEA, 2019). Considerando esta mesma produção de $54,12 \text{ MWh/g de } {}^3\text{He}$, seriam necessárias $10,081 \text{ t}$ de ${}^3\text{He}$ para satisfazer as necessidades de energia elétrica do Brasil em 2019 – atualmente, em um cenário não muito diferente de 2019, o sexto país mais populoso do mundo, com cerca de 213 milhões de habitantes (IBGE, 2021) e a 13º maior economia do mundo (IMF, 2021). Para fins de comparação:

⁸ “A fusão nuclear de hélio-3 (${}^3\text{He}$) pode ser usada para gerar energia elétrica com uma liberação muito pequena de resíduos radioativos, ou mesmo nula, e sem emissões de carbono”

Tabela 2 – Comparação da produtividade energética de diferentes fontes

Material	Estimação de energia elétrica gerada por grama ($n = 33\%$) (quanto maior, mais eficiente)^{[1][2]}	Massa necessária para alimentar o Brasil em 2019 ($n = 33\%$) (quanto menor, mais eficiente)
Carvão ^[3]	$2,22 \times 10^{-6} \text{ MWh/g}^{[4]}$	$245,76 \times 10^6 \text{ t}$
Urânio-235 (^{235}U)	$24 \text{ MWh/g}^{[5]}$	$22,733 \text{ t}$
Diesel	$4 \times 10^{-6} \text{ MWh/g}^{[6]}$	$136,4 \times 10^6 \text{ t}$
GLP ^[7]	$4,4 \times 10^{-6} \text{ MWh/g}^{[8]}$	$124 \times 10^6 \text{ t}$
Lenha (seca)	$1,4 \times 10^{-6} \text{ MWh/g}$	$389,71 \times 10^6 \text{ t}$
Hélio-3 (^3He)	$54,12 \text{ MWh/g}$	$10,081 \text{ t}$

Fonte: Elaboração Própria (2021)

[1] - Dados adquiridos da World Nuclear Association (WNA, 2021)

[2] - Valores obtidos a partir de conversões realizadas com os valores da fonte

[3] - Segundo a definição de *hard black coal* utilizada pela World Nuclear Association (WNA, 2021)

[4] - Valor obtido a partir da aproximação realizada (24 MJ/ kg) do valor mencionado: > 23,9 MJ/kg

[5] - Dado obtido da European Nuclear Society (ENS, 2021)

[6] - Valor obtido a partir da média dos valores mencionados: 42-46 MJ/ kg

[7] - GLP = Gás Liquefeito de Petróleo

[8] - Valor obtido a partir da média dos valores mencionados: 46-51 MJ/ kg

Percebe-se que o grama de ^3He é mais de duas vezes mais eficiente em sua geração de energia elétrica nas condições adotadas do que o ^{235}U , que, por sua vez, é muito mais poderoso do que todos os outros materiais citados. Esta diferença fica ainda mais vistosa quando se nota que o ^{235}U compõe apenas uma pequena porcentagem real do composto enriquecido de urânio que é utilizado para a produção de energia, ou seja, a eficiência de produção de energia real do urânio é muito menor do que a apresentada, pois, na prática, nenhum reator utiliza um composto com 100% de ^{235}U , mas sim compostos com porcentagens que variam em torno dos 3%. A superioridade do ^3He frente a todos os outros “combustíveis” apresentados, em termos de produção de energia elétrica por grama, é indubitável. Considerando, então, um “composto padrão de urânio” utilizado em usinas nucleares de fissão atualmente, um grama deste composto teria apenas cerca 3% de ^{235}U , gerando em torno de 3% de 24 MWh por grama, ou seja, 0,72 MWh/g. Ainda é uma produção razoavelmente elevada

para os padrões atuais, mas é aproximadamente 75 vezes menor do que a produção estimada do grama de hélio-3, consideradas as condições previamente apresentadas.

Tendo em vista essa maravilhosa performance do ^3He , é natural questionar as razões por trás de seu diminuto uso. A resposta é simples: ^3He é extremamente escasso na Terra. Em geral, reservas de hélio-3 são formadas por meio do recebimento, ao longo de muitas eras, das partículas advindas do Sol por meio de ventos solares por parte do corpo celestial em questão (FA; JIN, 2010). Ocorre que o campo magnético da Terra foi responsável por protegê-la dos ventos solares dos últimos milhões de anos telúricos, o que resultou em um ambiente propício à vida – e em baixas reservas naturais de recursos como ^3He . A maneira mais prática de se obter ^3He atualmente é, na verdade, por decaimento radioativo de trítio, um método excruciantemente ineficiente e demorado, uma vez que a meia-vida do trítio é estimada em 12 anos (LUCAS; UNTERWEGGER, 2000). A quantidade é tão baixa que o uso para a produção de energia elétrica é nulo e o estímulo para construções de geradores à base de ^3He é minúsculo. O único uso prático que a humanidade tem, atualmente, para os pequenos estoques de ^3He envolve pesquisas nos campos já mencionados.

Esta mesma escassez, no entanto, não ocorre na Lua. Diferentemente da Terra, a Lua não foi protegida dos ventos solares por um campo magnético – já que ela não possui um – e, de forma contrária, banhou-se neles por milhões de anos telúricos. Como resultado, amplas reservas de ^3He foram estabelecidas na Lua. A Lua, é inofensivo lembrar, é o corpo celeste não gaiético mais conhecido da humanidade. A instalação de uma economia descrita pela função de produção estudada neste trabalho na Lua seria uma maneira de extrair este ^3He . O ^3He e a Lua, portanto, constituem exemplo de um corpo celeste não gaiético portador de um recurso natural extremamente importante, visado e raro na Terra. Assim, há condições não experimentadas recentemente pela Terra que são capazes de tornar certos objetos celestes riquíssimos em recursos extraordinariamente auspiciosos e, portanto, valiosos. Esta questão, a fim de contas, mostra que corpos celestes não gaiéticos podem representar – por seus recursos naturais – incríveis oportunidades econômicas para a humanidade, portando riquezas capazes de ofuscar a lenda colonial de “El Dorado”.

Também não é impossível que haja, nestes corpos celestiais, recursos inexistentes na Terra, ou então, ao menos, desconhecidos. Ainda é possível que os recursos sejam conhecidos, mas de difícil obtenção na Terra, como é o caso do ^3He . Pode-se citar um exemplo de algo desta natureza: no Egito Antigo, era comum que membros da realeza recebessem

presentes na forma de artefatos de ferro, justamente pelo ferro ser algo de difícil obtenção. A forma mais fácil de obter ferro era, na realidade, com meteoritos, que, em tese, antes de caírem na Terra, eram corpos celestiais não gaiéticos, ou ao menos partes de um corpo maior. Assim, artefatos de ferro tinham alto valor simbólico. Um exemplo deste tipo de regalo é a faca de Tutancâmon (DESCH, 1936, p. 310; COGHLAN, 1941, p. 74 *apud* BJORKMAN, 1973). Por que seria inadmissível a repetição desta mesma dinâmica em uma escala maior, com a humanidade não dependendo de meteoritos para isso, mas de asteroides e planetas propriamente ditos?

Também não se pode ignorar o potencial que os corpos celestes têm de dar acesso à humanidade a quantidades inconcebíveis de materiais que já conhecemos, servindo de fontes enormes de recursos para o funcionamento da economia e a manutenção da civilização humana. Em outras palavras, com amplo acesso aos recursos de inúmeros corpos celestiais, o fantasma da superpopulação seria mantido a uma grande distância até uma eventual grande catástrofe.

4 PARALELOS COM OUTRAS FUNÇÕES DE PRODUÇÃO

A fim de melhor esclarecer as características únicas desta função frente a modelos de função de economias gaiéticas e para definir as semelhanças entre elas com mais precisão, serão comparadas algumas funções de produção gaiéticas consagradas pela literatura com a função de produção não gaiética apresentada neste trabalho. A intenção é, portanto, distinguir a natureza de uma economia não gaiética da natureza de uma economia gaiética e explorar nuances especiais da função não gaiética.

Adelman (1964), ao mesmo tempo em que faz um estudo do fenômeno do desenvolvimento econômico, realiza uma análise de algumas funções de produção como descritas, explícita ou implicitamente, por certos economistas renomados. Utilizar-se-á sua análise como base para a apresentação das funções de produção com as quais a função apresentada neste trabalho será comparada. São elas as funções de Adam Smith, David Ricardo, Karl Marx e Joseph Alois Schumpeter. Para exemplos práticos do funcionamento da economia de um corpo celeste não gaiético, será utilizado o cenário de extração de hélio-3 da Lua para envio à Terra, simplesmente para tornar a explicação menos abstrata.

4.1 Adam Smith

A função de produção de Smith é apresentada por Adelman como sendo composta de apenas 3 fatores: capital, trabalho e terra, este último sendo equivalente ao fator “recursos naturais” apresentado neste trabalho. Assim:

$$Y = f(K, L, N)$$

4.1.1 Fator trabalho

Primeiramente, apesar de Smith reconhecer três fatores de produção (terra, capital e trabalho), ele considera apenas o trabalho como a medida do valor, de modo que o fator

trabalho, para ele, é a verdadeira força motriz da economia. Isto contrasta com a função não gaiética, pois, nela, o fator que ocupa este papel é o fator capital, devido à imensa dificuldade de aproveitar trabalho humano em corpos celestes não gaiéticos.

Outra característica importante do fator trabalho smithiano é que o grau de divisão do trabalho da economia variará sua produtividade. Isto, na função não gaiética, não é verdade, primeiro porque o trabalho é apenas de assistência técnica, não sendo a força motriz da economia e, assim, não importando para a produção em si; segundo, neste mesmo sentido, ainda que ocorresse uma vigorosa divisão do trabalho na economia não gaiética em questão, o máximo que ocorreria em consequência seria uma diminuição grande da depreciação do capital e não um aumento direto da produtividade. Nesta economia, o que realmente variará a produtividade será o tamanho do capital, sua qualidade e sua eficiência na realização de suas funções, além dos demais fatores, com exceção do fator trabalho.

4.1.2 Fator progresso tecnológico

Smith considerou que existiria uma “corrente automática de inovações” que permitiria um ajuste constante da divisão do trabalho ao capital (ADELMAN, 1964, p. 39). Na função de produção não gaiética, esta corrente não é constante, com a tecnologia sendo produzida por meio de um esforço concentrado de inovação ou por meio de incrementos cotidianos ocasionais, se bem que passíveis de ocorrer dentro da economia. Além disso, o fator tecnológico, dentro de uma economia não gaiética, não tem a propriedade tão vigorosa de determinar o grau da divisão do trabalho dada uma certa magnitude de capital, já que o progresso tecnológico muito mais tem a ver com a determinação da eficiência da atuação de cada fator de produção, sendo o próprio capital e as características dos recursos naturais mais diretamente atuantes neste sentido, determinando quantos técnicos são necessários e quais especializações eles devem ter.

4.1.3 Fator terra (recursos naturais)

Smith, apesar de não afirmar explicitamente que o fator terra – equivalente a

“recursos naturais” – tinha oferta constante, trabalhou em cima dele como se o tivesse (ADELMAN, 1964, p. 41). Na economia não gaiética, por razões explicadas na seção que trata especificamente do fator recursos naturais, eles também são tidos como constantes, de modo que as duas funções coincidem neste aspecto.

4.1.4 Fator instituições

Por fim, Smith (2007, p. 78) demonstra claramente seu pensamento acerca do comportamento do fator institucional:

China seems to have been long stationary, and had probably long ago acquired that full complement of riches which is consistent with the nature of its laws and institutions. But this complement may be much inferior to what, with other laws and institutions, the nature of its soil, climate, and situation might admit of.⁹

As instituições, se calculadas de modo inadequado ou se fossem inconvenientes, seriam capazes de restringir a riqueza de um país. Boas instituições, no entanto, seriam capazes de guiar o país para momentos mais prósperos de sua história. Esta colocação se assemelha com a da função de produção apresentada neste trabalho – que confere ao fator institucional a responsabilidade de fornecer à economia segurança de mercado e o poder de regular este mercado, alterando a produtividade dos fatores –, porquanto suas propriedades institucionais também permitiriam uma dinâmica semelhante à apresentada pelas instituições smithianas.

4.1.5 Comparação dos comportamentos gerais das funções

A função smithiana não está sujeita às restrições relacionadas à produtividade marginal decrescente, pois Smith simplesmente não apresentou isso em seu estudo. Em

⁹ “A China parece estar em estado estacionário há muito e provavelmente adquiriu toda a riqueza que podia, dada a natureza de suas leis e instituições, há um longo tempo. No entanto, essa quantidade de riqueza pode ser muito inferior à quantidade que, com outras leis e instituições, a natureza de seu solo, clima e situação poderia permitir.”

sentido contrário, a função de produção das economias não gaiéticas apresentada está sob restrição da questão da produtividade marginal decrescente, como será visto em amplos detalhes à frente, na comparação com a função de produção de David Ricardo.

Ainda na visão de Smith, o grau de divisão do trabalho dependeria do tamanho do mercado – um mercado pequeno não estimula empresários a dividir as funções do trabalho de suas empresas a fim de aumentar a produtividade simplesmente porque não vale a pena, ao passo de que um mercado grande é capaz de absorver a produção adicional que esse processo causaria (ADELMAN, 1964, p. 38). Na função de produção não gaiética, o grau de divisão do trabalho dependeria principalmente dos recursos naturais da economia em questão e da complexidade e do tamanho do maquinário, de forma que, sendo este determinado pelo desejo do empresário de produzir, ele será determinado pelo tamanho do mercado – que determinará, por sua vez, o quanto o empresário pode ofertar sem risco de perder produção –, de modo que, nesta função, é também o mercado – externo, obviamente – que determina o grau de divisão do trabalho, ainda que indiretamente.

Neste mesmo sentido, para Smith, o tamanho do mercado seria determinado pela quantidade de capital existente na economia e pelas restrições institucionais estabelecidas sobre o comércio (ADELMAN, 1964, p. 38). A função não gaiética explicará isto de forma ligeiramente diferente: como sua economia é necessariamente voltada para o setor externo, também o mercado será determinado pela quantidade de capital e, portanto, pelo tamanho da produção existente na economia, mas não somente por isso, porquanto a demanda pela produção por parte das economias externas também determinará o tamanho do mercado. Além disso, o ambiente institucional estabelecido em cima do comércio poderá restringir o tamanho do mercado, se, por exemplo, impostos de importação incidirem sobre o hélio-3, diminuindo o poder de mercado deste produto frente a bens substitutos. Ele poderá, no entanto, também expandir o mercado com, por exemplo, restrição ao uso de termelétricas para a produção de energia nos países da Terra, aumentando a demanda por fontes limpas de energia, como o hélio-3. Em outras palavras, para a economia não gaiética, não necessariamente uma influência institucional é restritiva. Esta visão de Smith provavelmente ocorre em virtude de uma consideração da economia como uma entidade só, de modo que a restrição institucional de um só bem já seria uma restrição do tamanho do mercado. No caso de uma função de corpos celestes não gaiéticos isso não ocorre por um simples motivo: a função representa uma economia à parte, de natureza diferente, inclusive, da economia gaiética. Assim, uma restrição

de mercado da economia telúrica – ou de qualquer outra economia gaiética para a qual a economia não gaiética exporte – pode significar uma expansão do mercado de uma economia não gaiética. Aliás, não é necessário que a economia seja extraterrestre para que essa dinâmica seja observada, basta considerar duas entidades com duas economias e dois mercados diferentes e isso já se torna, teoricamente, possível.

Continuando, já que, ainda neste sentido, segundo Smith, a quantidade de capital da economia é responsável por determinar o grau da divisão de trabalho, então um aumento da divisão do trabalho requer uma acumulação prévia de capital (ADELMAN, 1964, p. 38). A função não gaiética vai no mesmo sentido, já que, se o trabalho é apenas uma assistência técnica para o capital, então, em uma economia não gaiética, divisão de trabalho só será necessária e compensatória se o capital a ser mantido for expandido em um momento anterior ao momento da divisão do trabalho.

4.2 David Ricardo

Assim como a de Adam Smith, a função de produção de David Ricardo considera os fatores terra, capital e trabalho. No entanto, Ricardo ainda confere ao progresso tecnológico uma importância muito maior do que Smith, de modo que ele entra ativamente na função de produção. Assim:

$$Y = f(K, L, N, S)$$

4.2.1 Fator terra (*recursos naturais*)

A definição ricardiana do fator terra é muito presa à definição de solo. Isso é perfeitamente compreensível, porquanto Ricardo considerou a produção relacionada ao fator terra como a produção relacionada à agricultura e, com menos foco, mineração etc. A definição da função não gaiética de recursos naturais teve a intenção de ser mais abrangente, porquanto gases, especialmente gases exóticos, como o hélio-3, além de outros “produtos menos convencionais”, a exemplo da radiação cósmica, e produtos em geral não relacionados

à ideia de solo são produtos hipotéticos especialmente interessantes destas economias. A produção do “fator terra” da função não gaiética está frequentemente desconectada da definição de solo – justamente por isso o fator foi chamado, de forma mais genérica, de “recursos naturais”.

Além disso, o fator terra é considerado como fixo em termos de oferta e variável em termos de qualidade (ADELMAN, 1964, p. 56). Isso, se aplicado na função não gaiética, também faz sentido, já que os recursos naturais de um corpo não gaiético, ainda que constantes ao longo de muito tempo, não necessariamente são homogeneamente distribuídos pelo corpo todo sob formas de igual composição. Assim, o fator recursos naturais de um corpo não gaiético tem oferta fixa ao mesmo tempo em que mantém qualidade variável.

4.2.2 Fator progresso tecnológico

Ricardo tinha um olhar pessimista para o progresso tecnológico agrícola em si – relacionado a atividades de extração ou exploração bruta de recursos naturais –, subestimando-o. Sob a ótica da função não gaiética, esta subestimação simplesmente não faz sentido. O setor de produção tecnológica para as necessidades do capital a ser empregado em uma economia não gaiética é um dos mais avançados de todos e, à medida que a humanidade for descobrindo a rentabilidade que a instalação destas economias pode trazer, só tende a crescer com vigor. Não é à toa que a inversão de capital necessária para a fabricação de um só foguete é tão colossal: são algumas das invenções mais sofisticadas da história da raça humana. Se há setores de progresso tecnológico capazes de revolucionar a economia humana, os setores relacionados ao funcionamento das economias não gaiéticas certamente estão entre eles.

4.2.3 Fator capital

A definição ricardiana de capital, em sentido contrário à definição do fator terra, é muito geral e abrangente, abarcando desde os alimentos que sustentarão a vida e o esforço do trabalhador até o maquinário (ADELMAN, 1964, p. 66). A função não gaiética define o

capital, por sua vez, de um modo bem mais restrito: é basicamente o maquinário que servirá de força motriz para a economia. As roupas, os alimentos e as vestimentas dos trabalhadores, por exemplo, não constituem capital, pois os trabalhadores não realizam, nesta função, a produção em si. Ademais, matéria prima também não constitui capital, pois, apesar de fazer parte da produção, não realiza o processo de produção em si, sofrendo, na verdade, este processo.

4.2.4 Comparação dos comportamentos gerais das funções

A dinâmica ricardiana do fator terra – fixo em oferta e variável em qualidade – dá origem à restrição da produtividade marginal decrescente dos fatores (ADELMAN, 1964, p. 56). A função não gaiética, como mencionado na seção de comparação com a função de Smith, está sob a mesma restrição, de forma que coincide com a função ricardiana neste ponto. As “terras mais férteis” e as regiões mais produtivas de um determinado corpo não gaiético seriam exploradas primeiro, de modo que, à medida em que a economia fosse se expandindo, iria ocupando regiões de exploração cada vez mais pobres, havendo, assim, uma restrição de produtividade marginal decrescente na economia, de modo muito semelhante à explicada por Ricardo. Esta dinâmica, no entanto, como será visto ao final desta seção, não vale para a exploração dos corpos não gaiéticos num sentido macro. Ela vale para entender a exploração de um corpo não gaiético apenas, mas não a exploração geral dos corpos não gaiéticos.

A rapidez da diminuição dos rendimentos na dinâmica dos rendimentos marginais decrescentes seria determinada, segundo Ricardo, pela taxa de introdução de inovações na economia – quanto maior essa taxa, mais lenta seria a realização da dinâmica, porquanto as inovações tecnológicas tendem a realizar economias de escala (ADELMAN, 1964, p. 57), sobrecompensando esta restrição. Na função não gaiética, é plausível esperar o mesmo. Sendo seu fator progresso tecnológico considerado como causador direto de maior eficiência na operação de cada fator de produção, então um crescimento deste fator tenderia a contrariar a tendência dos rendimentos marginais decrescentes.

Em sentido contrário, Ricardo tinha um olhar pessimista para os efeitos da inovação na agricultura. Supôs que a taxa de introdução de inovações no setor agrícola era

insuficiente para contrariar a restrição da produtividade marginal decrescente. Assim, no longo prazo, a consecução do alcance dos limites da restrição no setor agrícola seria inevitável (ADELMAN, 1964, p. 57). Pode-se olhar para a indústria de exploração de uma economia não gaiética como seguindo, a grosso modo, esta mesma direção: como dito na seção que trata do fator progresso tecnológico, tende a ser difícil a implantação de grandes inovações em economias não gaiéticas já estabelecidas. Assim, o esforço para contrariar a tendência à produtividade marginal decrescente tenderia a ser infrutífero, resultando, no longo prazo, na consecução do alcance dos limites de sua restrição. É bom salientar que, ainda que a economia não gaiética siga a mesma direção, não o faz pelas mesmas razões que a economia ricardiana. Ricardo subestima o poder das inovações da agricultura, enquanto a economia não gaiética, apesar de considerar as inovações de seus setores como poderosíssimas, considera, também, que a implantação constante, ou mesmo discreta, das inovações é muito difícil.

Por fim, Ricardo estabeleceu uma dinâmica no uso das terras que definia que as terras mais produtivas seriam utilizadas primeiro, com as menos produtivas sendo utilizadas posteriormente e, assim, a economia padeceria de produtividade marginal decrescente, já que a produtividade das novas terras utilizadas, nesta movimentação, seria cada vez menor. Não é condenável esperar que o mesmo ocorra na exploração de novos corpos celestiais não gaiéticos, com os mais produtivos e promissores sendo buscados primeiro, seguidos pelos menos produtivos. É, no entanto, necessário lembrar que as restrições tecnológicas são amplas neste campo, de modo que, enquanto na Terra praticamente todos os “lotes de terra” estão acessíveis à humanidade, no espaço isto não é verdade. Há, entre as estrelas, mais matéria do que a mente humana consegue imaginar como possível. Enquanto isso, a tecnologia que a humanidade tem hoje faz com que seja difícil até mesmo viagens à Lua, o corpo celeste mais próximo de seu lar. Em outras palavras, o ser humano não consegue alcançar todos os corpos celestes, gaiéticos ou não gaiéticos, que conhece, ao menos não com facilidade, caso consiga alcançar algum. Assim, ainda que a dinâmica ricardiana de uso de terra possa fazer sentido em uma análise teórica da exploração econômica dos corpos celestes, na prática será seguida uma dinâmica distinta: serão explorados, primeiro, os corpos mais facilmente alcançáveis, não sendo eles necessariamente os mais produtivos, com a exploração dos mais difíceis sendo deixada para momentos posteriores. Esta dinâmica diferenciada será uma resposta à problemática da restrição tecnológica de exploração apresentada.

4.3 Karl Marx

Como Smith, Marx considera os fatores terra, capital e trabalho como fundamentais à função de produção. Como Ricardo, ele também enfatiza a importância e a natureza do progresso tecnológico, incluindo-o junto aos demais. Diferentemente dos dois, no entanto, ele confere ao fator institucional uma importância não conferida anteriormente. Assim, a função de produção de Marx é:

$$Y = f(K, L, N, S, U)$$

A apresentação – mas não a natureza, nem o comportamento fatorial, nem o comportamento da função em si – dos fatores é praticamente a mesma da função não gaiética, sendo responsável pela diferença apenas o fato de que a função não gaiética considera cada fator segundo a realidade de um corpo celestial não gaiético, enquanto Marx formulou sua função de acordo com a realidade econômica telúrica – uma realidade gaiética.

4.3.1 Fator trabalho

A definição de trabalho de Marx é menos técnica e mais abstrata do que a definição dada pela função não gaiética. Para Marx, o trabalho é o processo que o homem realiza em cima da natureza a fim de transformá-la, controlá-la e regulá-la (ADELMAN, 1964, p. 76). É uma definição verdadeiramente ampla e profundamente filosófica. Em contrapartida, a definição de trabalho da função não gaiética é, de forma simples, o esforço humano realizado para minimizar a depreciação do capital – uma definição bem mais restrita, em virtude da natureza igualmente restrita de uma economia não gaiética.

4.3.2 Fator terra (recursos naturais)

Para Marx, o fator terra constitui o recurso sobre o qual o trabalho humano é

empregado, vindo este recurso diretamente da natureza ou do resultado de um trabalho anterior. É uma função mais abrangente do que a do fator recursos naturais da economia não gaiética. Isso se dá em virtude do fato de que foi considerada, neste trabalho, uma função de produção de pura exploração e extração de recursos naturais em corpos celestes não gaiéticos, de modo que a função não gaiética não contempla uma possível etapa de trabalho posterior a esta.

4.3.3 Fator capital

O fator capital recebe uma atenção especial nas obras de Marx, mas a sua definição é razoavelmente simples: o “meio de trabalho” ou “meio de produção” é “aquele objeto o conjunto de objetos que el obrero interpone entre él y el objeto que trabaja y que le sirve para encauzar su actividad sobre este objeto”¹⁰ (MARX *apud* ADELMAN, 1964, p. 76). O capital é tratado de modo diferente pela função não gaiética e a mesma observação feita com Smith é feita com Marx: na função não gaiética, o capital não é um conjunto de ferramentas utilizadas pelo trabalho humano a fim de produzir algo, mas sim a própria força produtiva da economia. O capital não gaiético realiza as funções que, na economia marxiana, seriam realizadas pelo trabalho.

4.3.4 Fator progresso tecnológico

Para Marx, o fator progresso tecnológico seria não apenas composto de uma dimensão pura de método de produção e técnica de combinação de fatores, mas também por uma dimensão social – o funcionamento da sociedade em questão deve ter implicações na determinação de *S* (ADELMAN, 1964, p. 77). É em cima desta plataforma que Marx estudará o que chamou de “relações de produção”, aliás. A função não gaiética considera apenas a

¹⁰ “Aquele objeto, ou conjunto de objetos, que o trabalhador põe entre si e o objeto trabalhado e que lhe serve para direcionar sua atividade sobre o objeto.”

primeira dimensão, a do método e da técnica de combinação dos fatores de produção, como referente ao funcionamento do fator progresso tecnológico. Uma vez que uma economia não gaiética teria como sociedade apenas um grupo extremamente controlado, pequeno e temporário de indivíduos – os técnicos que cuidam do capital –, então a função não gaiética não leva em conta quaisquer possíveis dimensões sociais deste fator.

4.3.5 Comparação dos comportamentos gerais das funções

Uma vez que, para Marx, o funcionamento da economia está intimamente ligado ao funcionamento da dinâmica das relações de produção e a função não gaiética sequer abre espaço para a ocorrência desta dinâmica, então é claro que o funcionamento hipotético das duas economias será drasticamente diferente. Esta é mais uma forma de determinar que, de fato, a natureza extremamente diferente dos corpos celestes não gaiéticos leva a uma função de produção e a uma economia com naturezas diferentes das que a humanidade está acostumada a ver. Há, no entanto, uma irônica semelhança entre essa visão marxista e função não gaiética. Nos dizeres de Engels: “La concepción materialista de la historia parte de la tesis de que la producción, y con ella el intercambio de lo producido, es la base de todo orden social”¹¹ (ENGELS *apud* ADELMAN, 1964, p. 78). Assim, a base de toda a ordem social da economia marxista se firma, em parte, na produção desta economia. Isto harmoniza com a economia não gaiética, porquanto o pequeno grupo de pessoas que constitui sua sociedade só está na economia em virtude da produção desta economia, que necessita de técnicos e, assim, lhes dá emprego. Aliás, uma vez que não estão lá por nenhuma outra razão, esta afirmação é ainda mais verdadeira em uma economia não gaiética do que em uma economia marxista. Na economia não gaiética, a produção da economia é, de fato, a base de toda a sua ordem social. Os outros fatores podem até influenciar a ordem desta sociedade, mas, sem a produção da economia, não há emprego e, portanto, esta sociedade sequer existirá.

4.4 Joseph Alois Schumpeter

¹¹ “A concepção materialista da história parte da tese de que a produção, e, com ela, o intercâmbio do que foi produzido, é a base de toda a ordem social.”

Schumpeter, assim como Marx, considera que cinco fatores, no fim das contas, determinariam a produção da economia: terra, trabalho, “meios de produção produzidos”, “feitos técnicos” e “feitos de organização social”. Sua função pode ser demonstrada como:

$$Y = f(K, L, N, S, U)$$

4.4.1 Fator capital

Curiosamente, Schumpeter não considerou os bens de produção (fator capital) como fatores independentes da produção, apesar de não negar que a atividade destes bens faz parte da atividade de produção, ainda que da produção manufatureira. A função não gaiética apresenta esta mesma dinâmica, mas trocando o fator capital pelo fator trabalho. Na economia não gaiética, o fator trabalho não é considerado como fazendo parte do processo de produção em si, mas a função de produção não gaiética reconhece que a atividade deste fator faz parte da atividade de produção.

É bom ressaltar, apenas por motivos de segurança, que o uso da palavra “capital”, nesta seção, quer dizer o capital em seu sentido usual, ou seja, o sentido utilizado em todo o resto do texto desta obra. Schumpeter, em seus trabalhos, deu um sentido inusitado à palavra “capital”: a capacidade que o empresário schumpeteriano teria de dedicar os fatores de produção existentes a novos usos e de ditar novos direcionamentos ao foco produtivo da economia (ADELMAN, 1964, p. 121).

4.4.2 Comparação dos comportamentos gerais das funções

Schumpeter estabelece que os fatores originais da produção seriam o trabalho e a terra e todos os bens viriam desses fatores, no fim das contas. A economia não gaiética discorda deste estabelecimento, porquanto ele parte do princípio implícito de que o trabalho é a força motriz da economia. Acontece que, para a função não gaiética, a força motriz da

economia é o capital, não o trabalho. Assim, enquanto Schumpeter considera que todos os bens viriam, a fim de contas, do trabalho e da terra, a função não gaiética considera que eles viriam do capital e da terra, ou, em termos mais precisos, do capital e dos recursos naturais. Isso não quer dizer que Schumpeter ou quaisquer outros economistas que considerem o trabalho como a força motriz da economia estejam errados. Quer dizer apenas que pensaram no fator trabalho como entendido dentro de uma economia gaiética. O que se deseja enfatizar aqui é simplesmente o fato de que a natureza de um corpo celestial não gaiético faz com que o papel de força motriz da economia seja transferido do fator trabalho para o fator capital.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível descrever, assim, uma função de produção de uma economia de exploração celestial instalada em corpos incapazes de acolher uma economia humana autossuficiente. Para a realização de tal feito, foi necessário o estabelecimento do conceito essencialmente econômico de corpos celestiais gaiéticos e, conseqüentemente, de corpos celestiais não gaiéticos. Uma questão importante relacionada a este conceito é o fato de que ele é distinto do conceito de habitabilidade, ainda que intimamente relacionado a este. Todo corpo gaiético é necessariamente habitável, porquanto, se não o fosse, não existiriam prospectos de manutenção de vida humana, de modo que uma civilização e uma economia autossuficientes não poderiam ser desenvolvidas. Por outro lado, nem todo corpo habitável é gaiético e isto o exemplo do hipotético planeta oceânico, apresentado na seção que trata especificamente do conceito de corpo celestial gaiético, deixou bem claro.

Para a descrição da função, foram adotados dois métodos distintos: os fatores foram descritos segundo uma análise da realidade dos corpos não gaiéticos e delineamentos mais gerais foram desenhados segundo uma estratégia de comparação com funções já estabelecidas na literatura. Com isso, os objetivos gerais e os objetivos específicos foram completamente cumpridos.

É inofensivo lembrar que este trabalho é teórico, porquanto o ser humano ainda não teve uma experiência prática de colonização de um corpo não gaiético, ainda que sólidas bases de teorização não tenham sido dispensadas. Buscou-se, neste sentido, compensar a natureza teórica do trabalho com sólidas bases factuais e práticas.

Algumas características da função de produção apresentada chamam atenção, em virtude de suas dinâmicas extremamente diferentes das que a humanidade está acostumada a ver com a função de produção gaiética telúrica. Primeiramente, o trabalho passa a ter um papel subalterno ao capital, necessariamente, com este sendo a real força motriz por trás da economia, já que o trabalho humano é tido como extremamente caro e ineficiente. Em segundo lugar, chama a atenção a dificuldade do progresso tecnológico de ser integrado na economia, uma vez instalada, em virtude da dificuldade de mudança da estrutura econômica. Em terceiro lugar, os recursos naturais, se bem que tidos como constantes, são tão numerosos e

variados pelo espaço sideral que podem, sem perigos interpretativos, ser considerados infinitos, o que abre inúmeras possibilidades para o futuro da humanidade.

Este trabalho pode servir de base para a compreensão dos prospectos de funcionamento da economia nestes corpos, de modo que pode vir a ser útil para pesquisas futuras, tratem elas de assuntos práticos, tratem elas de assuntos teóricos. Além do mais, ele aborda questões gerais da função de produção com uma certa profundidade, mas não com toda a profundidade possível, de modo que também pode servir como uma agenda de pesquisa para quaisquer pesquisadores interessados em aprofundar quaisquer temas aqui apresentados.

Declara-se, por fim, que este trabalho não tem senão a intenção de ser uma contribuição, por menor que seja, ao grande e constante esforço da raça humana para conquistar aquilo do universo que ainda não lhe pertence. Se, no grande castelo da exploração e da conquista das estrelas pelo homem, este trabalho for um simples tijolo, sua razão de ser já terá sido satisfatoriamente cumprida.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, Alberto. Extractivism and neoextractivism: two sides of the same curse. In.: LANG, Miriam; MOKRANI, Dunia (ed.). **Beyond Development: Alternative visions from Latin America**. Tradução: Sara Shields, Rosemary Underhay. Quito: Fundación Rosa Luxemburgo, 2013. 195 p. ISBN 978-90-70563-24-0

ADELMAN, Irma. **Teorías del desarrollo económico**. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1964. 171 p.

BEGGS, James M. Remarks on the Lunar Base. In: MENDELL, W. W. (ed.). **Lunar Bases and Space Activities on the 21st Century**. Houston: Lunar and Planetary Institute, 1985. 865 p. ISBN 0-942862-02-3

BHATTACHARYA, Kriti Gautam. The Viability of Space Mining in the Current Legal Regime. **Astropolitics**, v. 16, n. 3, p. 216-229, 30 out. 2018.

BILDER, Richard B.. A Legal Regime for the Mining of Helium-3 on the Moon: U.S. policy options. **Fordham International Law Journal**, v. 33, n. 2, p. 243-299, 2009.

BINDER, D.; SMITH, E. C.; HOLMAN, A. B.. Satellite Anomalies from Galactic Cosmic Rays. **IEEE Transactions On Nuclear Science**, v. 22, n. 6, p. 2675-2680, dez. 1975.

BJORKMAN, Judith Kingston. Meteors and meteorites in the ancient near east. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 8, n. 2, p. 91-130, jun. 1973.

BOSCO, C.. Adaptive response of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 124, n. 4, p. 507-513, ago. 1985.

CASTON, Rachel *et al.* Assessing Toxicity and Nuclear and Mitochondrial DNA Damage Caused by Exposure of Mammalian Cells to Lunar Regolith Simulants. **Geohealth**, v. 2, n. 4, p. 139-148, 26 abr. 2018.

CÉSAR, Caio Júlio. *De Bello Hispaniensi*. Hastings: Delphi Classics, 2013. 25 p.

CHO, A.. Helium-3 Shortage Could Put Freeze On Low-Temperature Research. **Science**, v. 326, p.

778-779, 6 nov. 2009.

COMMONS, John R.. Institutional Economics. **The American Economic Review**, v. 26, n. 1, p. 237-249, mar. 1936.

DOLE, Stephen H. **Habitable Planets for Man**. 1. ed.: Blaisdell Publishing Company, 1964. 174 p. ISBN 978-0-8330-4227-9

ESTADOS UNIDOS DAAMÉRICA. Donald Trump. President Of The United States. **Executive Order on Encouraging International Support for the Recovery and Use of Space Resources**. 2020. Disponível em:
<https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/executive-order-encouraging-international-support-recovery-use-space-resources/>. Acesso em: 16 jan. 2022.

ESTADOS UNIDOS DAAMÉRICA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Magnetospheres**. Disponível em:
<https://science.nasa.gov/heliophysics/focus-areas/magnetosphere-ionosphere/> . Acesso em: 11 jan. 2022.

ESTADOS UNIDOS DAAMÉRICA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Solar System Exploration**. Disponível em:
<https://solarsystem.nasa.gov/>. Acesso em: 11 jan. 2022.

ESTADOS UNIDOS DAAMÉRICA. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. . **How does the Earth's core generate a magnetic field?** Disponível em:
<https://www.usgs.gov/faqs/how-does-earths-core-generate-magnetic-field>. Acesso em: 11 jan. 2022.

EUROPEAN NUCLEAR SOCIETY. Fuel Comparison. Disponível em:
<https://www.euronuclear.org/glossary/fuel-comparison>. Acesso em 30 out. 2021.

FA, WenZhe; JIN, YaQiu. Global inventory of Helium-3 in lunar regoliths estimated by a multi-channel microwave radiometer on the Chang-E 1 lunar satellite. **Chinese Science Bulletin**, v. 55, n. 35, p. 4005-4009, dez. 2010.

FITTS, Robert H.; RILEY, Danny R.; WIDRICK, Jeffrey J.. Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. **Journal Of Experimental Biology**, v. 204, n. 18, p. 3201-3208, 15 set. 2001.

FRANARIN, Tarso; FAIRBAIRN, Malcolm. Reducing the solar neutrino background in dark matter searches using polarized helium-3. **Phys. Rev. D**, v. 94, n. 5, p. 1-6, 2016.

FURTADO, Celso. **Formação Econômica do Brasil**. 1. ed.: Companhia das Letras, 2007. 352 p. ISBN 978-8535909524

GABRYNOWICZ, Joanne Irene. Space Law: its cold war origins and challenges in the era of globalization. **Suffolk University Law Review**, v. 37, p. 1041-1065, 2004.

HELLER, René; ARMSTRONG, John. Superhabitable Worlds. **Astrobiology**, v. 14, n. 1, p. 50-66, 2014.

HESSEL, Volker *et al.* Continuous-Flow Extraction of Adjacent Metals – A Disruptive Economic Window for *In Situ* Resource Utilization of Asteroids? **Angewandte Chemie International Edition**, v. 60, n. 7, p. 3368-3388, 16 jan. 2020.

HODGSON, Geoffrey M.. On defining institutions: rules versus equilibria. **Journal Of Institutional Economics**, v. 11, n. 3, p. 497-505, set. 2015.

HÖEFFGEN, Stefan K.; METZGER, Stefan; STEFFENS, Michael. Investigating the Effects of Cosmic Rays on Space Electronics. **Frontiers In Physics**, v. 8, p. 1-9, set. 2020.

HUTCHISON, James S. *et al.* Hypothermia therapy after traumatic brain injury in children. **The New England Journal of Medicine**, v. 358, n. 23, p. 2447-2456, 05 jun. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br> Acesso em 09 nov. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Brazil: Key Energy Statistics, 2019. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 29 out. 2021.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. World Economic Outlook, April 2021. Disponível em: <https://www.imf.org/en/publications/weo>. Acesso em 11 nov. 2021.

JAKHU, Ram; BUZDUGAN, Maria. Development of the Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies: economic and legal aspects. **Astropolitics**, v. 6, n. 3, p. 201-250, 4 nov. 2008.

JOULE, J. P. On the Heat evolved by Metallic Conductors of Electricity, and in the Cells of a Battery during Electrolysis. **Philosophical Magazine**, v. 19, n. 124, p. 260-277, 1841

KNAPPENBERGER, Clayton. **An Economic Analysis of Mars Exploration and Colonization**. DePauw University, Student research, Paper 28, 2015.

KRASNOPOLSKY, V. A.; PARSHEV, V. A.. Chemical composition of the atmosphere of Venus. **Nature**, v. 292, p. 610-613, 13 ago. 1981.

LUCAS, L. L.; UNTERWEGER, M. P.. Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium. **Journal Of Research of The National Institute of Standards And Technology**, v. 105, n. 4, p. 541-549, 1 ago. 2000.

MAYO, John R.; HAYDEN, Michael E.. Hyperpolarized Helium 3 Diffusion Imaging of the Lung. **Radiology**, v. 222, n. 1, p. 8-11, 2002.

MINOR PLANET CENTER. The International Astronomical Union. **Latest Published Data:** objects. Disponível em: <https://minorplanetcenter.net/mpc/summary>. Acesso em: 11 jan. 2022.

NORTH, Douglas C.. Institutions. **The Journal Of Economic Perspectives**, v. 5, n. 1, p. 97-112, 1991.

OUTER SPACE TREATY. 27 jan. 1967. Disponível em: <https://outerspacetreaty.org/>. Acesso em: 11 jan. 2022.

PAXSON III, Edwin W.. Sharing the Benefits of Outer Space Exploration: space law and economic development. **Michigan Journal of International Law**, v. 14, n. 3, p. 487-517, 1993.

RYZHKOV, Sergei V. Helium-3 as a fusion source: Low-radioactive fuel and big opportunities. **AIP Conference Proceedings**, v. 2318, n. 1, 22 fev. 2021. DOI

<https://doi.org/10.1063/5.0035861>. Disponível em:
<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0035861>. Acesso em: 30 out. 2021.

SANDRONI, Paulo (coord.). **Dicionário de Economia**. São Paulo: Nova Cultural, 1985. 459 p.

SIMKO, Thomas; GRAY, Matthew. Lunar Helium-3 Fuel for Nuclear Fusion: Technology, Economics and Resources. **World Future Review**, v. 6, n. 2, p. 158-171, 2014. DOI <https://doi.org/10.1177%2F1946756714536142>. Disponível em:
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1946756714536142>. Acesso em: 30 out. 2021.

SINGH, A.K.; SIINGH, Devendraa; SINGH, R.P.. Impact of galactic cosmic rays on Earth's atmosphere and human health. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 3806-3818, 2011.

SMITH, Adam. **An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations**: books I, II, III, IV and V. São Paulo: Metalibri, 2007. 754 p.

TIGRE, Paulo Bastos. **Gestão da Inovação**: a economia da tecnologia no brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 275 p.

WALKER 2ND, William H.; WALTON, James C.; DEVRIES, A. Courtney; NELSON, Randy J.. Circadian rhythm disruption and mental health. **Translational Psychiatry**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 23 jan. 2020.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. Heat Values of Various Fuels. Disponível em:
<https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>. Acesso em 30 out. 2021.

ZIEGLER, J. F.; LANFORD, W. A.. Effect of cosmic rays on computer memories. **Science**, v. 206, n. 4420, p. 776-788, 16 nov. 1979.