

Universidade de Évora - Escola de Ciências Sociais

Mestrado em Economia

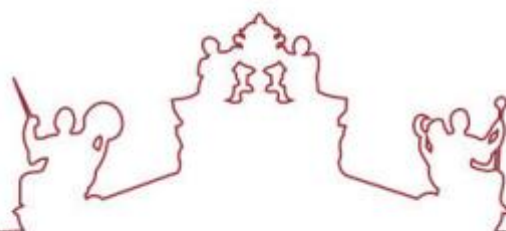
Dissertação

**Alterações Climáticas e Economia: uma Abordagem por via
da Preocupação Intergeracional e da Teoria dos Jogos**

António Pedro Morais de Pinho Pica

Orientador(es) | Miguel Sousa

Évora 2023



Universidade de Évora - Escola de Ciências Sociais

Mestrado em Economia

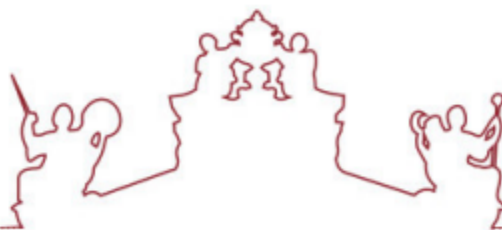
Dissertação

**Alterações Climáticas e Economia: uma Abordagem por via
da Preocupação Intergeracional e da Teoria dos Jogos**

António Pedro Morais de Pinho Pica

Orientador(es) | Miguel Sousa

Évora 2023



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências Sociais:

Presidente | José Manuel Caetano (Universidade de Évora)

Vogais | António Bento Caleiro (Universidade de Évora) (Arguente)
Miguel Sousa (Universidade de Évora) (Orientador)

Dedico esta investigação às gerações vindouras.

Agradecimentos

Primeiramente, quero agradecer ao meu Orientador, Professor Doutor Miguel Rocha de Sousa. Transmitiu-me tudo o que era necessário para ultrapassar esta importantíssima etapa da minha vida. Acompanhou-me sempre com sabedoria, pensamento inovador e, sobretudo, dedicação. São valores que levo para a vida.

A toda a minha família. Em especial aos meus pais e ao meu irmão, um enorme obrigado por acreditarem sempre em mim e por todos os incentivos. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e ensinamentos que, constantemente, me oferecem.

Aos docentes que acompanharam o meu percurso académico desde a Licenciatura em Economia. Todo o conhecimento que me transmitiram foi essencial para desenvolver e terminar o Mestrado.

Aos meus amigos de Vila Verde de Ficalho pelo ânimo e pelos momentos de grande alegria que sempre me deram. Aos colegas e amigos para a vida que Évora me ofereceu.

À Universidade de Évora e à Mui Nobre e Sempre Leal Cidade de Évora.

À Ana, um agradecimento especial por estar SEMPRE ao meu lado, pelo carinho e pela transmissão de confiança e de força.

Obrigado.

“Climate change is the greatest market failure
the world has ever seen”

(Stern, 2007)

Resumo e Palavras-chave

As alterações climáticas, atualmente, constituem um problema ambiental e uma realidade emergente humanitária. À escala global, representam um facto incontestável. A antevisão destes cenários apela, cada vez mais, à cooperação entre a sociedade, para garantir sustentabilidade ambiental e económica. Estendeu-se o modelo de gerações sobrepostas - *OLG (overlapping generations) model* – de Udalov (2018), com a introdução de uma variável (preocupação intergeracional). Deste modo, resultou numa nova função de utilidade, que relata diferentes preferências individuais. Posteriormente, simulou-se a evolução do consumo, por qualidade ambiental, para jovens e idosos, bem como equilíbrios de Nash de preocupação intergeracional, recorrendo à interação estratégica entre ambas as gerações, com base na Teoria dos Jogos. Esta investigação pretende analisar de que modo a preocupação intergeracional, variável de interesse, pode reverter o cenário catastrófico das alterações climáticas e preservar o nosso planeta para as gerações futuras.

Alterações climáticas; Cooperação; Modelo OLG; Preocupação Intergeracional; Teoria dos Jogos.

Código JEL

C70; D64; D70; O13; O19.

Title

Climate Change and Economics: an Approach through Intergenerational Concern and Game Theory

Abstract and Keywords

Climate change is currently an environmental problem and an emerging humanitarian reality. Overall, it represents an indisputable fact. The foresight of these scenarios increasingly calls for cooperation within society to ensure environmental and economic sustainability. The OLG (overlapping generations) model of Udalov (2018) was extended, with the introduction of one variable (intergenerational concern). Thus, it resulted in a new utility function, which reports different individual preferences. Subsequently, the evolution of consumption, by environmental quality, were simulated for the younger and older population, as well as Nash equilibria of intergenerational concern, using strategic interaction between both generations, based on Game Theory. This research aims to analyze the way intergenerational concern, the variable of interest, can reverse the catastrophic scenario of climate change and preserve our planet for future generations.

Climate Change; Cooperation; Game theory; Intergenerational concern; OLG model.

JEL Code

C70; D64; D70; O13; O19.

Índice Geral

Agradecimentos.....	V
Resumo e Palavras-chave.....	VII
Abstract and Keywords.....	VIII
Índice Geral	IX
Índice de Figuras	XII
Índice de Tabelas.....	XIV
Glossário.....	XV
Lista de Abreviaturas e Acrónimos	XIX
Símbolos	XX
Secção I - Introdução.....	1
1. Tema e Motivação.....	1
2. Objeto e Objetivo	2
3. Estrutura e Metodologia.....	3
Secção II – Contextualização Teórica.....	7
4. Alterações Climáticas.....	7
4.1 Alterações do Equilíbrio Natural da Terra	8
4.2 Responsabilidade Global	11
5. Economia e Ambiente	15
5.1 Teoria e Política Ambiental: Externalidades, Imposto Pigouviano, Clubes Climáticos Teorema de Coase e Reciprocidade.....	15
5.2 Modelos de Avaliação Integrada.....	18
6. Teoria dos Jogos	21

6.1	Dilema do Prisioneiro.....	22
6.2	Equilíbrio de Nash e Cournot-Nash.	23
6.3	Jogos Sequenciais.....	25
6.4	Teoria dos Jogos Aplicada às Alterações Climáticas	27
6.5	Teoria dos Jogos Evolucionista	29
7.	Economia Comportamental	32
8.	Modelo de Gerações Sobrepostas (OLG)	33
	Secção III – Investigação Ativa	37
9.	Udalov Aumentado – Preocupação Intergeracional.....	37
9.1	Indivíduos	37
9.2	Empresas	38
9.3	Qualidade ambiental.....	39
9.4	Jovens.....	41
9.5	Idosos.....	50
9.5.1	Idosos - Sem Preocupação Intergeracional (η)	50
9.5.2	Idosos – Com Preocupação Intergeracional (η)	51
10.	Interação Estratégica – Equilíbrios de Nash.....	54
11.	Discussão dos Resultados	63
	Secção IV – Conclusões.....	67
12.	Conclusão	67
13.	Limitações da Análise e Perspetivas Futuras.....	70
	Secção V – Elementos Pós-textuais.....	71
14.	Referências Bibliográficas	71

15. Apêndices	77
15.1 A.1 - Nova função de utilidade (U) com preocupação intergeracional (η)	77
15.2 A.2 - Jovens com η	77
15.3 A.3 - Idosos sem η	85
15.4 A.4 - Idosos com η	86
15.5 A.5 - Equilíbrios de Nash	87

Índice de Figuras

Figura 1: Emissões de CO ₂ e força radiante de efeito de estufa dos anos 1000-2000	7
Figura 2: Tendência na concentração atmosférica de CO ₂	8
Figura 3: Países e as regiões mais afetados pelas alterações climáticas	10
Figura 4: Mudanças observadas (1900–2020) e projetadas (2021–2100) na temperatura da superfície global (em relação a 1850–1900)	13
Figura 5: Emissões globais industriais de gases de efeito de estufa (GEE)	19
Figura 6 Concentração atmosférica de CO ₂ (ppm)	20
Figura 7: Aumento de temperatura média sob diferentes cenários (desde 1900, °C)	21
Figura 8: Curvas de reação no duopólio de Cournot	25
Figura 9: Forma extensiva com informação imperfeita de um jogo sequencial	26
Figura 10: Forma extensiva com informação perfeita de um jogo sequencial	26
Figura 11: Primeira situação inicial	29
Figura 12: Situação catastrófica	30
Figura 13: Nova situação inicial	30
Figura 14: Situação intermédia	31
Figura 15: Situação final	31
Figura 16: Evolução da qualidade ambiental perante 3 cenários	40
Figura 17: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 0,1$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 1$)	45
Figura 18: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 0,1$ e $\mu_1 = 1$)	46
Figura 19: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 1$)	47
Figura 20: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 20$ e $\mu_1 = 1$)	48
Figura 21: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 20$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 1$)	49

Figura 22: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($0,1 \leq \omega \leq 20$)	53
Figura 23: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 0,5$ e $\mu^* = -10$)	55
Figura 24: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 1$ e $\mu^* = -10$)	55
Figura 25: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 5$ e $\mu^* = -10$)	56
Figura 26: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 20$ e $\mu^* = -10$)	56
Figura 27: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 0,5$ e $\mu^* = 0$)	57
Figura 28: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 1$ e $\mu^* = 0$)	58
Figura 29: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 5$ e $\mu^* = 0$)	58
Figura 30: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 20$ e $\mu^* = 0$)	59
Figura 31: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 0,5$ e $\mu^* = 10$)	60
Figura 32: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 1$ e $\mu^* = 10$)	60
Figura 33: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 5$ e $\mu^* = 10$)	61
Figura 34: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 20$ e $\mu^* = 10$)	62
Figura 35: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 2$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 1$)	80
Figura 36: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 2$ e $\mu_1 = 1$)	80
Figura 37: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 0,1$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 10$)	81
Figura 38: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 0,1$ e $\mu_1 = 10$)	82
Figura 39: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 10$)	82
Figura 40: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 2$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 10$)	83
Figura 41: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 2$ e $\mu_1 = 10$)	83
Figura 42: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 20$ e $\mu_1 = 10$)	84
Figura 43: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 20$, $\omega = 1$ e $\mu_1 = 10$)	84

Índice de Tabelas

Tabela 1: Dilema do Prisioneiro	22
Tabela 2: Identificação do equilíbrio de Nash	24
Tabela 3: Forma normal (matricial) com informação perfeita	27
Tabela 4: Matriz de payoffs entre dois agentes	27
Tabela 5: Resumo dos efeitos e nível preferencial de apoio às energias renováveis sem preocupação intergeracional	63
Tabela 6: Resumo dos efeitos da preocupação intergeracional em steady state	65
Tabela 7: Resumo dos efeitos e nível preferencial de apoio às energias renováveis com preocupação intergeracional	66

Glossário

Altruísmo: ter em consideração o próximo com ausência do interesse próprio. Agir em prol de outra pessoa.

Backward induction (indução retrospectiva): baseia-se no sentido em que o jogador que decide em primeiro lugar, antecipa a resposta do segundo, com o objetivo de maximizar o seu retorno, num contexto de interação estratégica.

Curva de reação: função de melhor resposta de um agente face às ações tomadas por outro.

COP27: *Conference of the Parties* das Nações Unidas. Reunião das partes sobre as Alterações Climáticas. A última foi a COP27 em Sharm-el-sheik, Egito, 6-11 novembro de 2022.

COP15-Bio: *Conference of the Parties* das Nações Unidas. Reunião das partes sobre a Biodiversidade. A última foi a COP15-Bio em Monreal, Canadá, em dezembro 2022.

ECO-92: primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, Brasil, em 1992.

Efeito de estufa: fenómeno natural motivado pela concentração de gases na atmosfera, os quais formam uma camada que permite a passagem dos raios solares e a absorção de calor. Este processo é responsável por manter a Terra numa temperatura adequada, garantido o calor necessário.

Equilíbrio de Nash: resulta da interseção das funções reação dos agentes em causa. Intuitivamente é um equilíbrio que uma vez alcançado, não há incentivo a desviar. Trata-se da primeira solução de equilíbrio de jogos de soma não-nula em estratégias puras.

Estratégia dominada: um perfil de jogadas / estratégias que nunca é exercitado ou jogado pelo jogador, uma vez que é sempre inferior a outra estratégia, independentemente das estratégias dos outros jogadores.

Estratégia dominante: um perfil de jogadas / estratégias que é sempre exercitado ou jogado pelo jogador, uma vez que é sempre superior a outra estratégia, independentemente das estratégias dos outros jogadores.

Estratégia mista: combinação probabilística de estratégias puras (p. ex. jogo com 50% para cima e 50% para baixo). Um jogo pode ter equilíbrio de Nash em estratégias mistas e, não ter em estratégias puras.

Estratégia pura: jogar uma jogada com 100% e a remanescente com 0% de probabilidade.

Externalidade: um efeito que pode ser positivo ou negativo e que não é contabilizado no mercado. Ou seja, o custo / benefício social é diferente do custo / benefício privado. Diz-se que os incentivos privados estão desalinhados com os sociais. Podem ser externalidades positivas (p. ex. polinização das abelhas num pomar) ou negativas (poluição de uma fábrica ou emissão de gases de efeito de estufa sem contrapartida ou internalização do seu respetivo custo social).

Forma extensiva de um jogo: trata-se da representação de um jogo, i.e., de comportamento estratégico entre pelo menos dois agentes, em árvore. Logo, da qual se depreende um jogo sequencial, a menos que exista uma nuvem de pontos que une os nós de decisão do jogador posterior, tornando equivalente a forma extensiva à normal. Ou seja, a forma sequencial, pode representar-se, assim, também em matriz e é equivalente à normal.

Forma normal de um jogo ou matricial: trata-se da representação de um jogo, i.e. de comportamento estratégico entre pelo menos dois agentes, em matriz. Logo, da qual se depreende um jogo simultâneo.

Free-riding: fenómeno que se caracteriza quando alguém beneficia de recursos, bens ou serviços sem recorrer a quaisquer custos (“andar à boleia”).

G7: grupo dos sete países mais industrializados do mundo.

G20: grupo formado pelos ministros das finanças e chefes dos bancos centrais das 19 maiores economias do mundo mais a União Europeia. Foi criado em 1999, após as sucessivas crises financeiras da década de 1990.

Impacte: efeito provocado por algo ou alguém, que acarreta consequências.

Imposto de Pigou: imposto correspondente à taxa unitária do diferencial entre o custo social e o custo privado, e que uma vez cobrado em equilíbrio internaliza a externalidade negativa (p. ex. imposto de Pigou na poluição). Foi criado em 1920, em Cambridge, por Arthur Cecil Pigou.

Jogo de soma nula: um jogo entre dois ou mais jogadores, no ramo de Teoria dos Jogos, em que as perdas de uns correspondem, exatamente, aos ganhos dos outros e vice-versa.

Jogo de soma positiva (*negativa*): um jogo entre dois ou mais jogadores, no ramo da matemática de Teoria dos Jogos, em que as perdas correspondentes de uns são menores (*maiores*) do que os ganhos dos outros e vice-versa. Os jogos de soma positiva e / ou negativa podem ser chamados jogos de soma não-nula.

Modelo DICE: modelo dinâmico integrado do Clima e da Economia, como modelo DSGE, modelo dinâmico estocástico de equilíbrio geral do clima e economia, ver DSGE e IAMs.

Modelo DSGE: modelo dinâmico estocástico de equilíbrio geral. Primeiro modelo DGE, não estocástico, por Walras (1899) e generalizado por Stokey, Lucas e Prescott (1989) e Sargent e Ljungqvist (2000).

Modelo RICE: modelo dinâmico integrado do Clima e da Economia regional, como modelo DSGE, i.e., modelo dinâmico estocástico de equilíbrio geral de uma região, ver DSGE, ver IAMs.

Modelos IAMs: modelos de equilíbrio geral económico, integrados com a parte geofísico-atmosférica. Criados inicialmente por Nordhaus (1970), estendidos em 1990 como modelo RICE, e, atualmente, chamados modelos DICE4- Nordhaus (2018).

Payoff: compensação / retorno.

Princípio do poluidor-pagador: a versão moderna do imposto de Pigou de modo a internalizar o custo social da poluição.

Reciprocidade: ato de responder a uma ação da mesma forma de como a recebemos.

Teorema de Coase: teorema de Ronald Coase (1960), que diz que a atribuição do ar limpo ou o ar sujo, desde que os direitos de propriedade estejam bem definidos, à priori, levam ao mesmo resultado no nível de externalidade (poluição). No caso inicial proposto, a distribuição do rendimento final seria também igual, uma vez que a função de utilidade usada era quasi-linear e o efeito rendimento era nulo.

Teoria dos Jogos: ramo da matemática, criado em 1944, que analisa o comportamento estratégico entre pelo menos dois agentes (*players* / jogadores) que têm ações / decisões e das quais definem perfis de estratégias (sequência de jogadas).

TMS: mede a taxa à qual um indivíduo está disposto a abdicar um bem pelo outro, mantendo o seu nível de satisfação.

Trade-off: decisão que consiste na escolha de uma opção em detrimento de outra.

Utilidade: função individual que mede o bem-estar do agente. Normalmente é monótona crescente e pode sofrer transformações afins, i.e multiplicativas ou aditivas. Termo introduzido por Vilfredo Pareto (1905), economista e sociólogo italiano, que a intitulou inicialmente como “ofemilidade”.

Warm-glow: altruísmo verdadeiramente altruísta. Quando um indivíduo se preocupa com o outro, não por nós próprios, sim porque o outro, de facto, está melhor (“brilho nos olhos”).

Lista de Abreviaturas e Acrónimos

CO₂: dióxido de carbono

COP: *Conference of the Parties* das Nações Unidas

DGE: *Dynamic General Equilibrium model*

DICE: *Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*

DSGE: *Dynamic Stochastic General Equilibrium model*

EN: equilíbrio de Nash

G7: Grupo dos 7

G20: Grupo dos 20

GEE: gases de efeito de estufa

IAM: *Integrated Assessment Management model*

IPCC: *International Panel for Climate Change*

NOAA: Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos

NU: Nações Unidas

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMM: Organização Meteorológica Mundial

ppm: partes por milhão

PNUMA: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RICE: *Regional Integrated model of Climate and the Economy*

TMS: taxa marginal de substituição

Símbolos

Alfabeto latino

c - consumo corrente

c^1 - consumo dos jovens

c^2 - consumo dos idosos

E - energia

Env - qualidade ambiental

FE – energias não renováveis, obtida através da queima de combustíveis fósseis

K – capital físico

L - mão-de-obra

m - apoio às energias renováveis

p - preço do produto / output final

p^E - preço da energia

r - taxa de juro

RE - energias renováveis

s - poupança corrente

t - período de tempo

U - utilidade

w - salário

Alfabeto grego

α – produtividade marginal do capital físico

β – produtividade marginal de mão-de-obra / trabalho

γ – fração de energia não renováveis

δ - taxa de desconto

η - preocupação intergeracional

μ – constante determinante do valor do consumo, em *steady state*

π - lucro da empresa / melhoria ambiental como resultado do apoio às energias renováveis

σ - eficácia do apoio às energias renováveis

ω - degradação do ambiente, como resultado do consumo

Secção I - Introdução

1. Tema e Motivação

O tema desta investigação assenta no modo como a preocupação intergeracional pode reverter o cenário catastrófico das alterações climáticas. Na prática, procedeu-se a uma extensão do modelo de gerações sobrepostas - *OLG (overlapping generations) model* - proposto por Udalov (2018). Posteriormente, recorreu-se à interação estratégica, através de Teoria dos Jogos, entre as gerações jovem e idosa.

O termo “ecocida (...) ecological + suicide” (Caleiro et al., 2019) adquire, a cada dia, mais importância, no entanto, para além deste ponto de vista direcionado para a “tragédia dos comuns”, no desenvolvimento desta dissertação, procuram-se, com o intuito de reverter o pior cenário, soluções viáveis. O apelo ao altruísmo acarreta um papel capital neste desafio, de modo a garantir o desenvolvimento sustentável do planeta Terra. Entende-se que a noção de altruísmo de Becker (G. S. Becker, 1976, 1996), com base na preocupação de um indivíduo pelo outro - a dependência direta da função de utilidade de um indivíduo face a outro - , é essencial para solucionar as alterações climáticas.

A cooperação é o processo em que grupos de organismos atuam em conjunto para benefício comum, ao invés de competirem em prol de benefício próprio. Quando esta não ocorre voluntariamente, é essencial incentivá-la de modo a promover a sustentabilidade ambiental, impedindo que os agentes se comportem de forma independente e apenas de acordo com os seus próprios interesses. Uma vez que a cooperação entre indivíduos sempre existiu e é imprescindível na manutenção das populações, esclarecer como esta emerge e se mantém, afastando o egoísmo (racional) que é previsto pela economia clássica, mantém-se a discussão desta problemática em aberto. O desafio que se propõe é incentivar a cooperação, pois a verificar-se o *status quo*, o nosso planeta será insustentável nas gerações futuras.

2. Objeto e Objetivo

De um modo geral, o objeto de estudo são as alterações climáticas, definidas pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC - *International Panel for Climate Change*) como a subida de temperatura causada pelas emissões de gases de efeito de estufa (GEE) (IPCC, 2023) e os seus impactes diretos e indiretos. Mas, mais especificamente, tratando-se de uma dissertação em Economia, analisam-se os impactes socioeconómicos, através da análise de funções de utilidade das gerações sobrepostas e de bem-estar social coletivo.

O objetivo é compreender como a emergência do altruísmo pode ser a chave para a resolução do problema. A nossa proposta é a de introduzir o altruísmo por via da preocupação, não apenas contemporânea entre gerações, mas uma verdadeira preocupação intergeracional intertemporal. Ou seja, introduzimos uma verdadeira preocupação “dinástica” num modelo OLG *ad infinitum*, evitando assim uma “miopia” socioeconómica e ambiental.

Deste modo, o fator inovador do estudo é, exatamente, o de introduzir um parâmetro (η) que reflete esta vertente na função de utilidade, e verificar os impactos físicos (do modelo OLG) e os impactes socioeconómicos, por meio de uma avaliação de bem-estar.

Assim, verificar-se-ão as suas consequências imediatas e a médio / longo prazo, e daí aferir possibilidades de implementação de políticas económicas ambientais viáveis. Através da convergência entre investigação científica pura (modelos matemáticos algébricos), investigação teórica de economia e ambiente (modelos simulados), retirar-se-ão conclusões de política ambiental.

Note-se que esta vertente de uma preocupação intergeracional tem estado presente na discussão do tópico desde há muito, nomeadamente com os estudos seminais de Stern e Nordhaus (Nordhaus, 1977, 2018; Stern, 2007), procedendo-se assim a uma extensão do modelo OLG de Udalov (Udalov, 2018, 2019).

3. Estrutura e Metodologia

A dissertação está dividida em cinco secções. Na primeira secção, introduz-se o tema e na segunda secção, faz-se a contextualização teórica. Posteriormente, inicia-se a investigação ativa, seguida da quarta secção que se destina às conclusões. E, finalmente, os elementos pós-textuais.

A primeira secção, caracteriza e descreve o tema, recorrendo a revisão e análise de literatura, clarifica o objeto e objetivo e, finalmente descreve a estrutura e metodologia utilizadas.

A secção II inicia com uma contextualização das alterações climáticas. Estas, que assentam em variações do equilíbrio natural da Terra, na qual a principal causa são os GEE, em resultado da ação humana, cujas emissões, através da queima de combustíveis fósseis, têm sofrido um aumento acentuado nas últimas décadas.

Posteriormente, segue-se a revisão literária, cruzando a economia com o ambiente. Para Garret Hardin, em *The tragedy of the commons*, as alterações climáticas são consideradas um dilema global de bens públicos, pois quando um polui, o custo social gerado afeta todos. O autor define o meio ambiente como uma "fonte natural de bens coletivos" e o seu livre acesso resultaria na sobre-exploração de recursos finitos, provocando o seu esgotamento (Hardin, 1968). Por isso, vivemos numa época em que o desenvolvimento sustentável requer cooperação e acordos multilaterais. Tem sido difícil para os Estados aderir e, sobretudo, alcançar as metas estabelecidas nos protocolos internacionais (por exemplo, o Protocolo de Quioto ou de Paris, resultantes das COPs (Conference of the Parties) e reuniões das NU (Nações Unidas) sobre o ambiente. Esta situação deve-se à ocorrência do fenómeno de parasitismo (*free-riding*), que se caracteriza pelo comportamento de uns andarem à boleia dos outros, quando se trata de um bem público. A complexidade de contrariar este cenário é real, dada a soberania característica das diferentes nações, a igualdade de todos perante a lei e o facto de ser impossível, para os países, gerir os assuntos internos uns dos outros. De acordo com este desafio, Nordhaus propõe a criação de um clube climático, com penalizações para não-membros, no qual é do interesse dos próprios Estados pertencerem ao clube (Nordhaus, 2015).

Tendo em consideração as soluções morais e técnicas que a sociedade pode tomar sem pôr em causa o bem-estar comum, seguir-se-á uma abordagem com base na Teoria dos Jogos. Começar-se-á por analisar a história da Teoria dos Jogos, desde o clássico jogo de soma nula, de Von Neumann e Morgenstern (Von Neumann &

Morgenstern, 1944), a identificação de equilíbrios de Nash (Nash, 1950b, 1950a), abordagens aplicadas às alterações climáticas, até à Teoria dos Jogos evolucionista.. A Teoria dos Jogos é utilizada como ferramenta pela economia em estudos de interação estratégica. Esta teoria assenta na capacidade de um indivíduo prever o movimento dos outros indivíduos, sejam eles concorrentes ou aliados, e de se posicionar, estrategicamente, de modo a maximizar a sua utilidade. Posteriormente, a investigação concentra-se numa abordagem de simulação evolucionista baseada em agentes, que prevê a solução de um dilema global. Utilizando um modelo NetLogo (Wilensky, 2002), introduz-se um castigo de retaliação e um prémio de cooperação positiva após muitas rondas do jogo.

Outra área preponderante nesta dissertação é a Economia Comportamental, pois esta que se define pelo estudo do comportamento humano em relação às decisões tomadas. Também, na fundamentação desta área de raiz Beckeriana, Andreoni, que evidencia o papel fulcral do altruísmo e da reciprocidade nas decisões económicas (Andreoni, 1990), das quais retirar-se-ão as implicações numa verdadeira preocupação intergeracional com os nossos modelos OLG. A complexidade desta área reside na descrição adequada dos pressupostos que têm de ser estabelecidos sobre os objetivos do indivíduo. Este problema tem sido resolvido, tradicionalmente, assumindo que o consumidor deseja maximizar a sua utilidade / satisfação. No entanto, a noção de utilidade induz em alguma incerteza, particularmente, nas tentativas de a descrever como um número (Von Neumann & Morgenstern, 1944).

Na terceira secção inicia-se a investigação ativa. Começamos por analisar o modelo OLG de Udalov (2018, 2019), de maneira a compreender o nível ótimo de apoio às energias renováveis por parte dos jovens e idosos, e, estender este modelo com a introdução de uma nova variável (preocupação intergeracional - η) que representa uma nova função de utilidade. Recorre-se a simulações determinísticas, através do Excel, para observar a evolução do consumo por qualidade ambiental, numa situação de *steady state* (estado estacionário), para as gerações jovem e idosa.

Com recurso à Teoria dos Jogos, apresentar-se-ão situações de interação estratégica entre ambas as gerações. A correspondência ótima dos jovens intersetada com a dos idosos origina uma superfície de equilíbrio de Nash, que uma vez alcançada, ninguém tem incentivos a desviar, em estratégias puras (Nash, 1950a, 1950b). Finalmente, procede-se à discussão de resultados, onde se analisa a evolução do modelo com a preocupação intergeracional, comparativamente ao modelo proposto por Udalov.

Salienta-se que a dissertação, apesar de reconhecer que todos os modelos são falsificáveis, mas uns menos falsos do que os outros (Popper, 1934), ou de que o acaso e a sorte têm um impacto não despreciando na investigação (Lakatos, 1976) e de se basear no paradigma da ciência normal (Kuhn, 1962), foi feito um estudo convencional e exaustivo dentro dos cânones da economia. Ou seja, tomando como bons e válidos, os modelos de economia ambiental (Allais, 1947; John & Pecchenino, 1994; Nordhaus, 1977, 2018; Samuelson, 1958; Udalov, 2018), procede-se à utilização da metodologia económica convencional, para se proceder a uma extensão válida, consequente e inovadora.

A secção IV será destinada à conclusão desta investigação, bem como às suas limitações e perspectivas futuras. Assim, poder-se-á abrir caminho ao cruzamento da literatura científica ambiental tradicional, com a economia do altruísmo, da reciprocidade e comportamental – o futuro no presente. Não ousamos dizer que se trata de uma revolução científica, pois, naturalmente, isso só o futuro poderia ditar, mas que, certamente, abre uma nova janela de esperança e uma pequena nova perspectiva de investigação, com aplicação prática e de possível implementação como política ambiental. Assim, apresenta-se ciência e extensão científica conjugadas. A última secção é direcionada para os elementos pós-textuais (referências bibliográficas e os Apêndices).

Secção II – Contextualização Teórica

4. Alterações Climáticas

O planeta Terra apresenta uma dinâmica (complexa) que permitiu o aparecimento da vida, a sua evolução e alteração até aos dias de hoje. Esta dinâmica do planeta, resulta, entre outros fatores, do facto da Terra funcionar como um sistema, ou seja, um conjunto de componentes que interagem entre si e que dependem uns dos outros, efetuando trocas de matéria e de energia. Os componentes ou subsistemas terrestres (biosfera, geosfera, hidrosfera e atmosfera) contribuem individual e globalmente para o funcionamento harmonioso e equilibrado do sistema Terra. No entanto, devido à interdependência existente entre eles, quando ocorre uma modificação num dos subsistemas, os restantes também sofrem alterações, reagindo à mesma, de forma a restabelecer o equilíbrio perdido.

A manutenção deste equilíbrio dinâmico, foi acontecendo de forma natural, até uma determinada altura. Contudo, no século XIX, o sistema Terra começou a apresentar sinais de exaustão, quando as atividades humanas, particularmente, as que recorrem à utilização e queima dos combustíveis fósseis, interferiram num dos subsistemas terrestres e causaram impactes significativos nos outros subsistemas, colocando em risco o equilíbrio natural, como se pode observar na Figura 1.

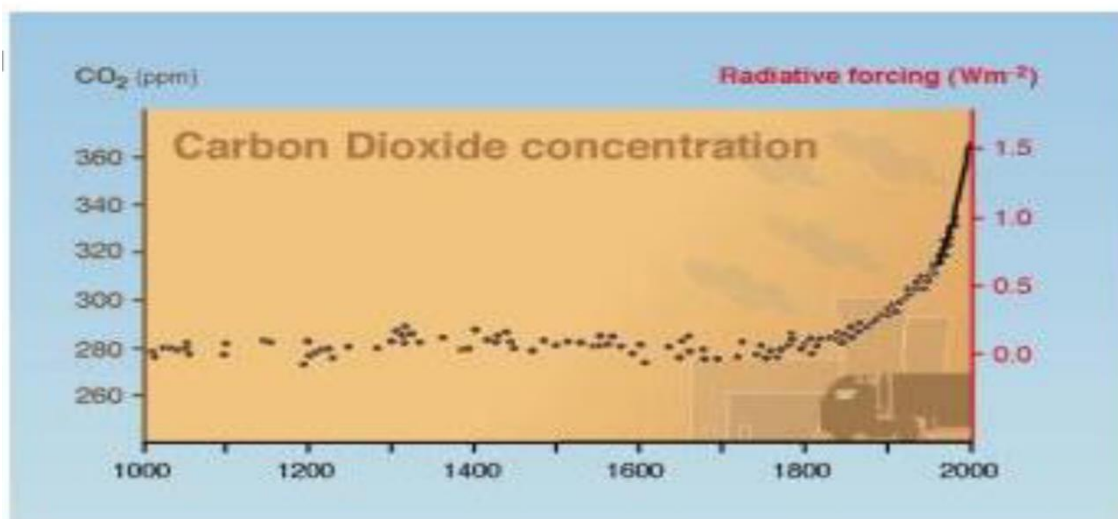


Figura 1: Emissões de CO₂ e força radiante de efeito de estufa dos anos 1000-2000
Fonte: (Goodwin et al., 2006), IPCC

O gráfico da figura anterior apresenta as emissões de dióxido de carbono (CO₂) no eixo da esquerda (em partes por milhão - ppm) e a força radiante de efeito de estufa no eixo direito (W/m²) dos anos 1000 a 2000. A concentração de CO₂ na atmosfera manteve-se constante durante um longo período, apresentando valores a rondar os 280 ppm. A partir do séc. XIX houve uma quebra nestes valores constantes originada pela Revolução Industrial, provocando uma subida abrupta das emissões de CO₂ até aos dias de hoje. Os próximos subcapítulos abordam as alterações do equilíbrio natural do planeta Terra e a responsabilidade global emergente.

4.1 Alterações do Equilíbrio Natural da Terra

A principal causa deste desequilíbrio são os denominados gases de efeito estufa (GEE). O CO₂ é o principal gás negativo dos designados de efeito estufa, sendo consequência direta do uso e queima de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás com fins de produção energética. As emissões de CO₂ têm sofrido um aumento acentuado nas últimas décadas. O gráfico seguinte, representado na Figura 2, demonstra as concentrações médias mensais de CO₂, em média global, em locais da superfície marinha.

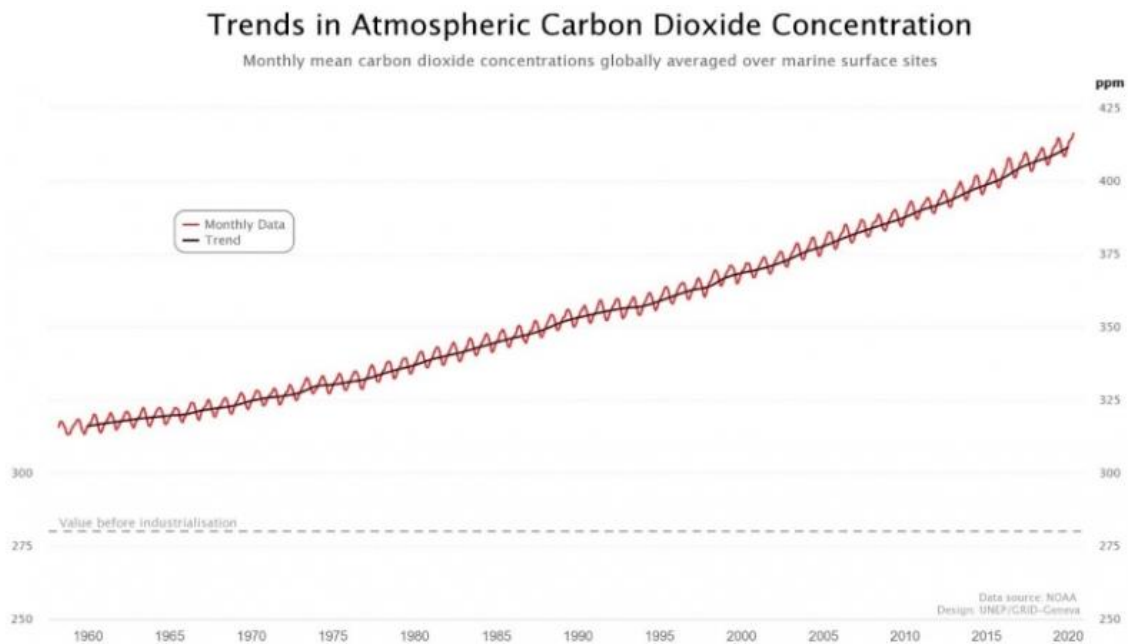


Figura 2: Tendência na concentração atmosférica de CO₂
Fonte: Dados do NOAA, gráficos da Sala Mundial de Situação Ambiental do PNUMA (UNEP, 2020)

Os dados da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA) comprovam que os níveis globais de CO₂, por meses homólogo, estão a aumentar consideravelmente. Em abril de 2020, a concentração média de CO₂ na atmosfera era de 416,21 ppm, a mais alta desde o início das medições, que começaram em 1958, no Havaí. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) revela um aumento simbólico de mais de 100 ppm nas concentrações de CO₂ desde março de 1958. As flutuações da curva, representadas no gráfico anterior, correspondem a diferenças sazonais relacionadas com processos fotossintéticos, que ocorrem nas plantas e que são responsáveis pela absorção de CO₂, diminuindo as concentrações deste gás em cerca de 7,5 ppm até outubro (UNEP, 2020).

De acordo com o primeiro relatório do IPCC as “alterações na precipitação e temperatura poderão alterar radicalmente os padrões de doenças virais e aquelas transmitidas por vetores, deslocando-as para latitudes mais altas, colocando assim amplas populações em risco” (IPCC, 1992).

Um aspeto importante é o forte crescimento demográfico, tal como afirma David Suzuki, professor e ativista ambiental canadiano: “Não podemos continuar como até aqui. A explosão demográfica associada à mudança climática e à diminuição da biodiversidade conduz-nos diretamente para a catástrofe” (Carapeto et al., 1998, p. 108). Na realidade, o aumento crescente da população humana acarreta desequilíbrios nos subsistemas terrestres de difícil resolução. Este aumento demográfico, de acordo com Paul Ehrlich, é a principal causa dos problemas ambientais, pois impõe desafios ambientais à capacidade de sustentação da Terra, tais como: quantidade de recursos biológicos (animais e plantas) para alimentar a população mundial; recursos hídricos suficientes para saciar a sede e para atividades de consumo doméstico, agrícolas e industriais; energia suficiente para as necessidades da população mundial; tratamento e valorização dos resíduos produzidos; e controlo dos níveis de poluição causados pela sobre-exploração dos recursos naturais (Carapeto et al., 1998).

As alterações do equilíbrio natural do planeta tomam proporções a nível mundial. “As alterações climáticas não conhecem fronteiras e irão necessariamente refletir-se na disponibilidade de recursos e necessidades básicas como a água potável, a segurança alimentar ou a energia, com a agravante de os seus impactos na luta contra a pobreza e na promoção do desenvolvimento serem desproporcionalmente elevados nos países mais pobres” (Ferreira, 2017, p. 43). Estes impactes não estão distribuídos equitativamente, porque, “em caso de desastres naturais, as infraestruturas dos países mais pobres são mais fracas e as pessoas têm menores poupanças ou seguros para

fazer face à destruição” (Ferreira, 2017, p. 44). O gráfico seguinte, Figura 3, representa os países e as regiões mais afetados pelas alterações climáticas.

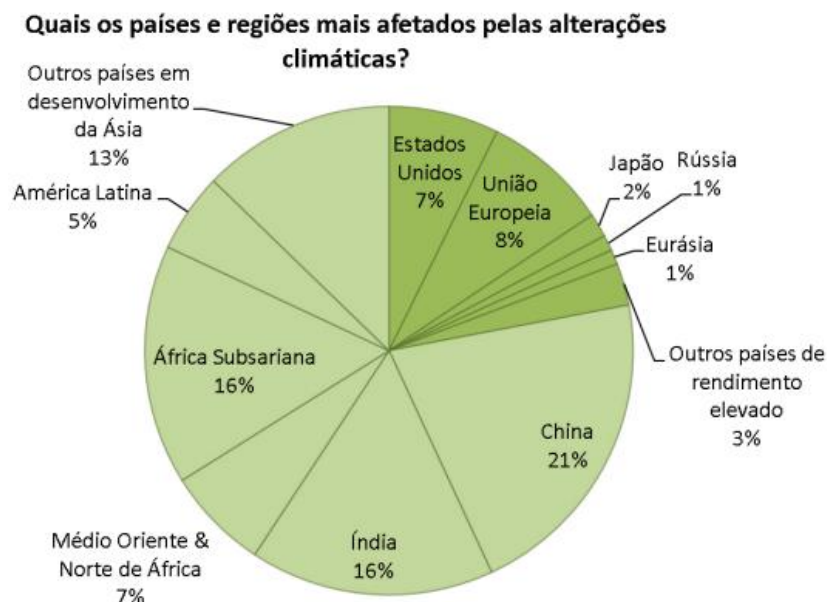


Figura 3: Países e as regiões mais afetados pelas alterações climáticas
Fonte: (Busch, 2015) (Ferreira, 2017, p. 44)

De acordo com a informação do gráfico anterior, note-se que as regiões mais afetadas são os continentes africano e asiático (sobretudo a China e Índia). “Um estudo de mapeamento dos impactos das alterações climáticas revela que, dos 20 países mais vulneráveis no mundo, todos são países em desenvolvimento e 17 são países africanos. Se tivermos em conta apenas os países de rendimento elevado, da OCDE¹, os países considerados mais vulneráveis às alterações climáticas são Portugal, o Japão e a Grécia. Este índice analisa a vulnerabilidade em termos de condições meteorológicas extremas, aumento do nível do mar e perdas na produtividade agrícola, interligando os impactos com a capacidade de lidar com esses efeitos (quer em termos de capacidade preventiva quer nos instrumentos de resposta)” (Ferreira, 2017, p. 44).

As responsabilidades pelas alterações climáticas revelam desigualdade de rendimentos, entre e dentro dos países. A metade mais pobre da população mundial é responsável por, apenas, cerca de 10% das emissões globais, enquanto os 10% mais ricos do mundo são responsáveis por cerca de 50% das emissões globais. (Gore, 2015).

¹ OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.

As alterações climáticas têm também impactes no desenvolvimento humano, nomeadamente na saúde e bem-estar da sociedade. Para além do aumento da mortalidade, em resultado dos eventos meteorológicos extremos e dos desastres naturais, podem causar problemas de saúde, relacionados com secas, ondas de calor e com a poluição. A má nutrição causada pelos impactes na agricultura, a contaminação da água potável na sequência de catástrofes, ou o alargamento de vírus e doenças devido ao aquecimento global, são outros exemplos de consequências negativas na saúde (Ferreira, 2017).

É indubitável que haja custos económicos associados às alterações climáticas. No geral, podem significar custos resultantes de cheias, secas extremas, incêndios florestais ou subidas do nível do mar. Estes custos são particularmente difíceis de suportar pelos países mais pobres, para além de, na prática, poderem significar uma redução dos montantes disponíveis para investimento nos setores sociais (Ferreira, 2017). Posto isto, há a necessidade de que haja entidades disponíveis a assumir a responsabilidade global e a intervenção na política climática.

4.2 Responsabilidade Global

O IPCC (*International Panel for Climate Change*) foi criado pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e pela OMM (Organização Meteorológica Mundial), em 1988, com o objetivo de fornecer uma visão científica sobre o estado atual das alterações climáticas e dos potenciais impactes ambientais e socioeconómicos.

A adoção de políticas globais iniciada em 1990 com a publicação do primeiro relatório do IPCC e a realização da primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, Brasil, em 1992 (ECO-92) marcaram os compromissos internacionais sobre as alterações climáticas.

A primeira Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP1) aconteceu na cidade de Berlim em 1995. Dois anos depois, em 1997, sucedeu-se a COP3, quando foi assinado o primeiro tratado internacional, o Protocolo de Quioto, no Japão. No qual ficaram estabelecidas as metas sobre a redução das emissões de GEE nos países desenvolvidos. No entanto, apenas no início do séc. XXI foram elaborados os Planos de Ação Nacionais de Adaptação, destinados aos países menos desenvolvidos.

Atualmente, as reuniões das NU (Nações Unidas) ocorrem com regularidade e são direcionadas para as alterações climáticas (COP) e para a biodiversidade (COP-Bio). A última COP foi a COP27 em Sharm-el-sheik, Egito, de 6 a 11 novembro de 2022 e a última COP-Bio foi a COP15-Bio em Montreal, Canadá, em dezembro 2022.

Durante a COP21, de 30 de novembro a 12 de dezembro de 2015, surgiu o Acordo de Paris. Pois, à medida que se sentiam os impactes das alterações climáticas, aumentava também a consciência ambiental. Desenvolvendo, assim, esforços para manter o aumento médio da temperatura da Terra abaixo dos 2°C, em comparação com os níveis pré-industriais e, preferencialmente, abaixo dos 1,5°C. Deste modo reconheceu-se a necessidade de as emissões atingirem um pico máximo o mais brevemente possível, tendo em consideração que este progresso será mais lento nos países em desenvolvimento.

Ainda no âmbito das políticas globais, também o G20 (grupo dos 20 - grupo formado pelos ministros das finanças e chefes dos bancos centrais das 19 maiores economias do mundo mais a União Europeia), aprovou, em julho de 2017, um Plano de Ação para o Clima e Energia. Este plano incluiu ações concretas a implementar pelos países, interna e conjuntamente, no setor climático, com vista a auxiliar a saúde das pessoas, proteger os ecossistemas, promover a prosperidade económica e a estabilidade global.

A implementação de medidas, ao nível global, nacional e local, foi aprovada em setembro de 2015, na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, pelas Nações Unidas, com o intuito de representar uma visão comum para um mundo mais justo, sustentável e inclusivo até 2030.

Os objetivos do Acordo de Paris sobre o Clima e da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável apoiam-se reciprocamente. Nas metas e indicadores dos dezassete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para além da existência de um ODS específico sobre a ação climática - ODS 13. Esta questão multidimensional interliga vários objetivos com metas relacionadas com o reforço da resiliência e/ou com a redução do impacte das alterações climáticas, descrevendo, detalhadamente, os ODS's que estabelecem a ligação entre ação climática e desenvolvimento.

Apesar de todos estes esforços, os atuais compromissos de diminuição das emissões de GEE estão muito abaixo do necessário relativamente ao objetivo dos 2°C definidos em Paris. Segundo as NU, mesmo que os países cumprissem todos os compromissos existentes para o pós-2020, estes significariam um aquecimento acima dos 3°C. Além disso, “o Acordo de Paris não faz referência à aviação internacional nem ao transporte marítimo, apesar do contributo destes setores para o agravamento das emissões de

GEE estar a aumentar, e a cooperação no âmbito da Organização da Aviação Civil Internacional e da Organização Marítima Internacional não tem dado frutos. Seria importante regular e limitar de forma eficaz as emissões destes setores, o que parece impossível sem o desenvolvimento de um quadro global que permita uma ação concertada e abrangente” (Ferreira, 2017, p. 81).

As indústrias dos combustíveis fósseis continuaram a oferecer resistência aos termos propostos. Pelo que, “em maio de 2016, os países do G7² estabeleceram pela primeira vez um prazo para acabar com a maioria destas subvenções, recomendando que o apoio dos governos ao carvão, petróleo e gás deverá terminar até 2025. Também no seio do G20, vários países anunciaram prazos para a eliminação destes subsídios e adotaram uma variedade de esquemas de fixação de preços do carbono, embora sem conseguirem chegar a um acordo comum” (Ferreira, 2017, p. 85).

O IPCC (2021) confirma a enorme influência humana no aquecimento global e o fracasso da liderança universal sobre o clima. Atualmente, o nosso planeta está a aquecer mais e a um ritmo que nunca foi verificado anteriormente (IPCC, 2021). A dimensão em que as gerações atuais e futuras irão experienciar um mundo mais quente e diferente depende das escolhas tomadas agora e a curto prazo. A Figura 4, retirada do sexto relatório do IPCC, em março de 2023, na Suíça, representa visualmente estes cenários.

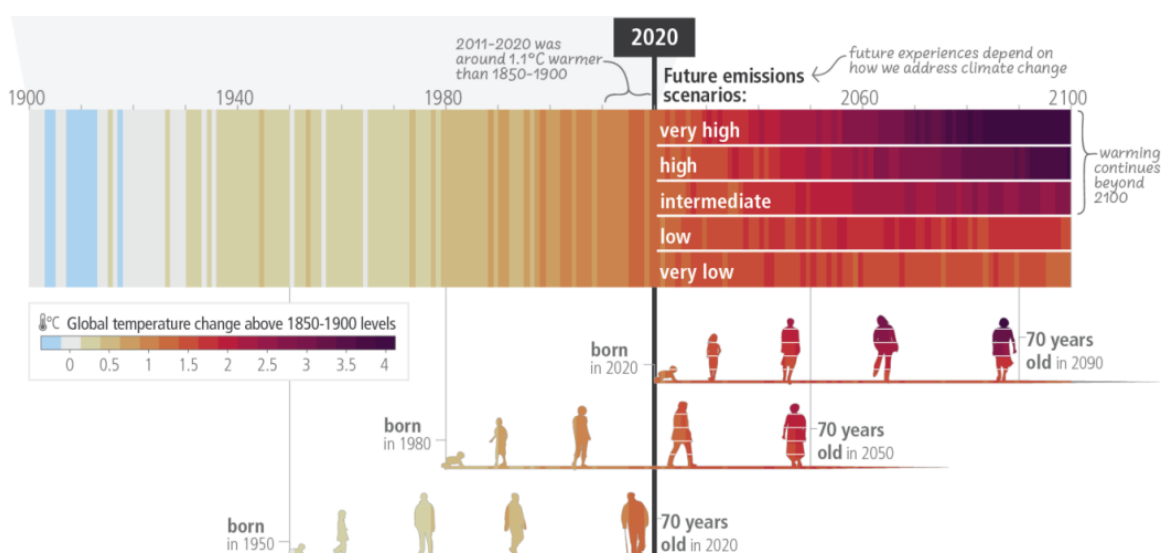


Figura 4: Mudanças observadas (1900–2020) e projetadas (2021–2100) na temperatura da superfície global (em relação a 1850–1900)
Fonte: (IPCC, 2023)

² G7: grupo dos sete países mais industrializados do mundo.

As mudanças observadas (1900-2020) e projetadas (2021-2100) na temperatura global da superfície terrestre (relativamente a 1850-1900), que são consequência das alterações climáticas, ilustram como o clima já mudou e irá mudar ao longo da vida de três gerações representativas (nascidas em 1950, 1980 e 2020). As projeções futuras (2021-2100) são apresentadas perante cinco cenários de emissões de GEE (muito baixas, baixas, intermédias, elevadas e muito elevadas) e consequentes alterações na temperatura global da superfície da Terra. As alterações nas temperaturas anuais globais da superfície são apresentadas como "faixas climáticas", com projeções futuras mostrando as tendências a longo prazo causadas pelo homem e a modulação contínua por variabilidade natural (aqui representada usando níveis observados de variabilidade natural passada). As cores nos ícones geracionais correspondem às faixas de temperatura global da superfície terrestre para cada ano, com segmentos nos ícones futuros a diferenciar possíveis cenários.

António Guterres, Secretário-geral das Nações Unidas, na Stern Business School, em Nova Iorque, apresentou um discurso sobre *Climate Action: Mobilizing the World* (Ação Climática: Mobilizar o Mundo):

Se queremos proteger as florestas e a vida dos solos, salvaguardar os oceanos, criar grandes oportunidades económicas, prevenir ainda mais perdas e melhorar a saúde e bem-estar das pessoas e do planeta, temos uma única opção a olhar-nos de frente: a ação climática (...). Todos nós – governos, empresas, consumidores – temos de fazer mudanças. Mais do que isso, teremos que “ser a mudança”. Isto pode não ser fácil. Mas pelas gerações presentes e futuras, é o caminho que temos de prosseguir (Guterres, 2017).

De acordo com Guterres, a economia e o ambiente estão cada vez mais interligados, tanto a nível local e regional, como também, nacional e mundial, numa rede contínua de causa-efeito. Por exemplo, a nível local, a poluição aquática, causada pela indústria e/ou agricultura, rouba aos pescadores, os locais de pescarias. A nível nacional, a deflorestação consequente da agricultura, na América Latina e na Ásia, provoca inundações cada vez mais destruidoras. Isto é, principalmente, nas nações que se encontram no sopé das montanhas ou na parte baixa dos cursos de água. Já a nível mundial, o aquecimento global, as alterações climáticas, a destruição da camada de ozono e os alimentos afetados com substâncias químicas perigosas, são objeto de

comércio internacional com efeitos óbvios para a saúde das populações (Carapeto et al., 1998).

5. Economia e Ambiente

A relação entre a economia e o ambiente é inevitável, pois trata-se de um bem público global. Denomina-se de “bem público”, porque não existe rivalidade nem exclusão no seu consumo. Adjetiva-se de “global” porque, efetivamente, se estende à escala global do planeta Terra. Nos próximos subcapítulos exploram-se esta relação (economia / ambiente), com enfoque nos Modelos de Avaliação Integrada de Nordhaus.

5.1 Teoria e Política Ambiental: Externalidades, Imposto Pigouviano, Clubes Climáticos Teorema de Coase e Reciprocidade

John Stuart Mill foi o primeiro autor a reconhecer a existência de externalidades na economia (Mill, 1848). As externalidades são um efeito que pode ser positivo ou negativo e que não é contabilizado no mercado, ou seja, em que o custo / benefício social é diferente do custo / benefício privado, ou seja os incentivos privados estão desalinhados com os sociais. Podem ser externalidades positivas (p. ex. polinização das abelhas num pomar) ou negativas (p. ex. poluição de uma fábrica ou emissão de gases de efeito de estufa sem contrapartida ou internalização do seu respetivo custo social).

Segundo Nicholas Stern, “as alterações climáticas são consequência da maior falha de mercado alguma vez verificada a nível mundial”. São necessárias três condições políticas para uma resposta global eficiente, nomeadamente: a fixação do preço do carbono, implementado através de impostos, comércio ou regulamentação; a política de apoio à inovação e à implantação de tecnologias de baixo carbono; e a ação para remover barreiras à eficiência energética e para informar, educar e persuadir os indivíduos sobre o que podem fazer para dar resposta às alterações climáticas (Stern, 2007).

Vivemos numa época em que o desenvolvimento sustentável requer cooperação e acordos multilaterais, com o intuito de contornar o cenário catastrófico que se avizinha. Miguel Rocha de Sousa, coautor no livro *Desenvolvimento Sustentável – Verdade e Consequências*, no capítulo 7 (“Alterações climáticas: desafio global de longo prazo, soluções locais e globais do curto ao longo prazo”), afirma que:

O problema das alterações climáticas prende-se com um dos dilemas mais dramáticos e simples que a teoria económica facilmente explica — o dos desalinhamentos dos incentivos privados e sociais, gerando neste caso externalidades negativas, isto é, um custo social maior do que o custo privado e que não passa pelo mercado. Ou seja, as empresas, os agentes privados, as famílias têm incentivo a poluir, pois beneficiarão individualmente disso em pequenos números (privadamente). No entanto, ao agregarmos os resultados, se cada indivíduo (agente) tem incentivo a poluir — ou porque não é taxado, ou porque não suporta individualmente o seu respetivo custo social - assim, no agregado, vamos de facto ter um custo social total mais elevado para todos, do que a mera soma dos custos individuais privados (De Sousa, 2022, p. 224).

Para Garret Hardin, em *The tragedy of the commons*, as alterações climáticas são consideradas um dilema global de bens públicos, pois quando alguém polui, o custo social gerado afeta todos. O autor define o meio ambiente como uma fonte natural de bens coletivos e o seu livre acesso resultaria na sobre-exploração de recursos finitos, provocando o seu esgotamento (Hardin, 1968).

Tem sido difícil para os Estados aderir e, sobretudo, alcançar as metas estabelecidas nos protocolos internacionais (por exemplo, o Protocolo de Quioto ou de Paris). Esta situação deve-se à ocorrência de um fenómeno de parasitismo (*free-riding*), que se caracteriza pelo comportamento de uns andarem “à boleia” dos outros, quando se trata de um bem público. A complexidade de contrariar este cenário é real, dada a soberania característica das diferentes nações, a igualdade de todos perante a lei e o facto de ser impossível, para os países, gerir os assuntos internos uns dos outros. Robert Stavins estima que, para praticamente qualquer jurisdição, os benefícios que retira das suas ações de política climática serão menores do que os custos que incorre. Por conseguinte, cada país tem fortes incentivos para se aproveitar dos sacrifícios dos outros (Stavins, 2011).

Uma das primeiras propostas de solução foi apresentada por Arthur Pigou, de forma a combater as externalidades negativas (neste caso a poluição) (Pigou, 1920). Na época surgiu o “imposto pigouviano”, que tinha como propósito taxar a poluição por unidade, levando-nos ao princípio do poluidor-pagador. Este princípio, existente em todas as políticas públicas ambientais, é a versão moderna do imposto de Pigou, de modo a internalizar o custo social da poluição. Ainda neste contexto, como solução, William

Nordhaus propõe a criação de um clube climático, com penalizações para não-membros, onde é do interesse dos próprios Estados pertencerem ao clube (Nordhaus, 2015).

O Teorema de Ronald Coase (1960) indica que a atribuição do ar limpo ou do ar sujo, desde que os direitos de propriedade estejam bem definidos, *à priori*, leva ao mesmo resultado no nível de externalidade (poluição). No caso inicial proposto, a distribuição do rendimento final seria também igual, uma vez que a função de utilidade usada era quasi-linear e o efeito rendimento era nulo. Segundo o teorema as perdas de bem-estar das externalidades serão internalizadas (Coase, 1960).

Tingley e Tomz, em *Conditional Cooperation and Climate Change*, investigaram cidadãos de vinte e seis países com o objetivo de perceber se apoiavam a reciprocidade para lidar com as alterações climáticas. Encontraram pouco entusiasmo pela reciprocidade intrínseca, na qual os países restringem o seu consumo de combustíveis fósseis se, e somente, se outros países fizerem o mesmo. Por outro lado, verificou-se um apoio significativo à reciprocidade extrínseca, em que os países reforçam a cooperação vinculando questões. Os cidadãos apoiam sanções económicas contra poluidores e estão dispostos a “envergonhá-los” em eventos internacionais, especialmente quando os poluidores infringem um tratado (Tingley & Tomz, 2014).

Pittel e Rübhelke demonstram que a inclusão de benefícios adicionais na argumentação dos decisores pode afetar fortemente o resultado das negociações internacionais. Estes efeitos são inerentes à própria política climática, uma vez que esta gera sempre efeitos secundários (Pittel & Rübhelke, 2008).

Noutra perspetiva, uma das principais discussões na literatura sobre a política climática é a escolha das taxas de desconto - medida financeira aplicada para conhecer o valor presente de um pagamento futuro. Stern defende uma política com uma taxa de desconto bastante baixa (Stern, 2007). Geoffrey Heal, também, remete para a sua escolha adequada (Heal, 2017), bem como, Brekke e Johansson-Stenman, que aconselham escolher uma taxa de desconto social (consideravelmente) mais baixa do que o retorno médio da despesa produtiva, isto é, investimento (Brekke & Johansson-Stenman, 2008).

5.2 Modelos de Avaliação Integrada

Na década de 70, William Nordhaus estudou intensivamente as manifestações emergentes do aquecimento global, bem como as suas causas. Dedicou-se ao tema e em 2018, acabou por ser galardoado com o Prémio Nobel da Economia, a par de Paul Romer. Na atribuição do galardão o Comité Nobel referiu que William Nordhaus e Paul Romer desenharam os métodos que respondem a alguns dos problemas mais importantes: o crescimento sustentável da economia global a longo prazo e o bem-estar a população mundial. A academia sueca acrescenta que Nordhaus “foi a primeira pessoa a criar um modelo quantitativo que descreve a interação global entre economia e o clima” e, ainda, que “o seu modelo está difundido e é usado para avaliar as consequências das intervenções políticas climáticas, como por exemplo os impostos sobre a emissão de carbonos” (Nobel Foundation, 2018).

Grande parte do trabalho sobre esta questão baseia-se em modelos de avaliação integrada (IAMs - *Integrated Assessment Management*). Estes modelos representam funções que relacionam a mudança de temperatura com as perdas económicas. A principal ideia de Nordhaus é equacionar como é que a produção e, de um modo geral, o bem-estar humano seria limitado pelas alterações climáticas consequentes da utilização de combustíveis fósseis. O autor tem como objetivo analisar a influência da economia no clima e vice-versa, assim como a influência das diferentes políticas nos resultados de interesse, sendo que é necessário incorporar os conhecimentos das ciências naturais num modelo adequado de crescimento a longo prazo (Nordhaus, 2018).

O modelo DSGE (*Dynamic Stochastic General Equilibrium*) é um modelo dinâmico estocástico / probabilístico de equilíbrio geral. Teve como base um primeiro modelo não estocástico, modelo DGE (*Dynamic General Equilibrium*), desenvolvido por Léon Walras (Walras, 1899) e, posteriormente, foi generalizado a componentes estocásticos por Stokey, Lucas e Prescott (Stokey et al., 1989) e Sargent e Ljungqvist (Ljungqvist & Sargent, 2000).

Neste contexto de modelos DSGE, Nordhaus realizou os modelos RICE (*Regional Integrated model of Climate and the Economy*) e DICE (*Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*). Ambos são modelos dinâmicos estocásticos de equilíbrio geral. Primeiro, desenvolveu-se o RICE, representado ao nível regional e, depois, o DICE, numa abordagem mais global.

Assim, o autor apresenta as projeções de emissões e concentrações de CO₂ e o aumento de temperatura para quatro cenários (representados na Figura 5, 6 e 7, respetivamente): o “*business as usual*” (BAU) ou base (“Base”), onde não são adotadas quaisquer políticas relativamente às alterações climáticas, para além das políticas limitadas e já adotadas em 2015; o custo-benefício económico ótimo (“Opt”), que otimiza a política climática num futuro indefinido; um caminho que limita um aumento da temperatura a 2,5°C (“T < 2,5”); e uma política com uma taxa de desconto extremamente baixa, como defende a “*Stern Review*” (“Stern”) (Stern, 2007).

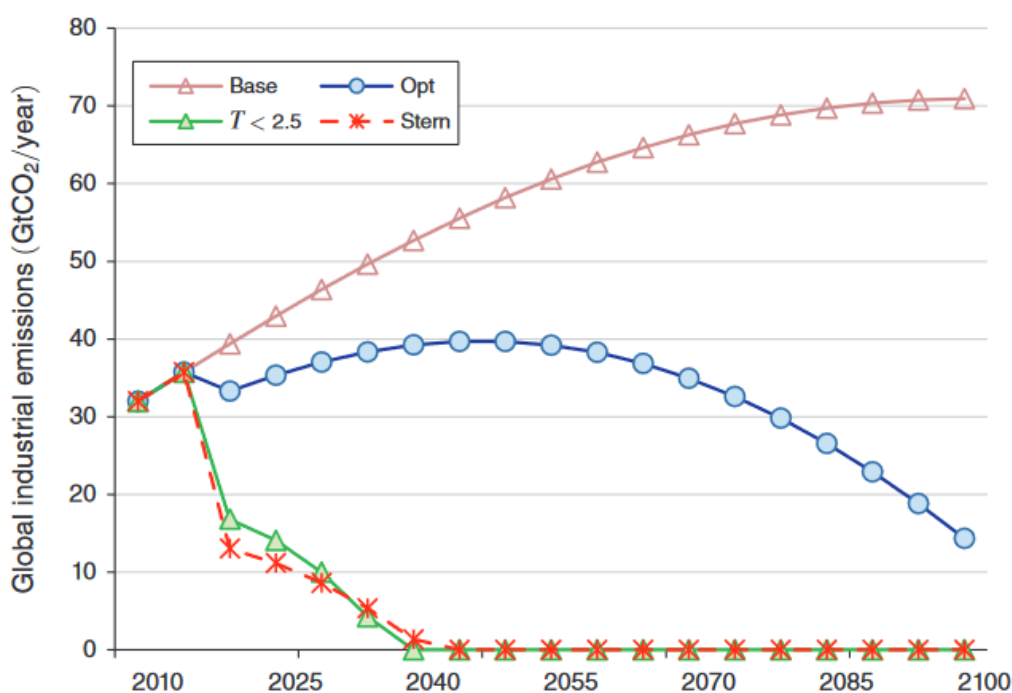


Figura 5: Emissões globais industriais de gases de efeito de estufa (GEE)
 Fonte: (Nordhaus, 2018, p. 347)

O gráfico da figura anterior representa as trajetórias das emissões de CO₂/ano nos quatro cenários. A linha de base tem emissões crescentes e a política ótima tem uma trajetória plana para o próximo meio século. Já as duas trajetórias mais ambiciosas exigem emissões zero de CO₂ até meados do século, o que constitui uma quebra extremamente acentuada da tendência. Ambas têm reduções de emissões muito mais acentuadas do que aquelas que são consistentes com as políticas de qualquer grande região.

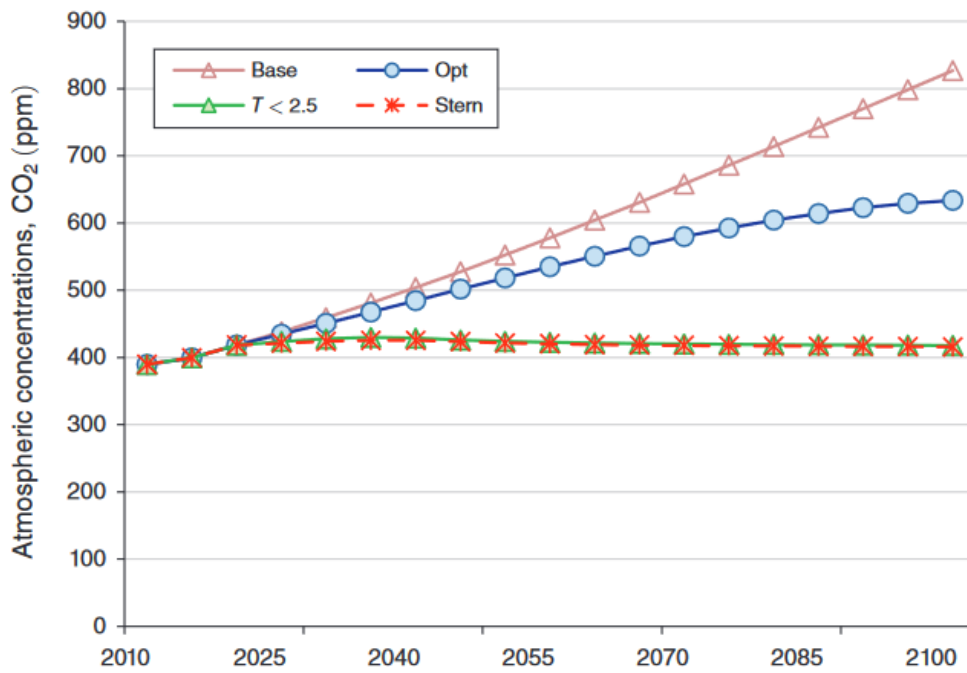


Figura 6 Concentração atmosférica de CO₂ (ppm)
 Fonte: (Nordhaus, 2018, p. 348)

A Figura 6 representa as trajetórias de concentração de CO₂ (ppm) para as quatro políticas. A característica interessante é que as duas vias ambiciosas requerem uma estabilização próxima do nível atual de 400 ppm. Os baixos níveis de concentrações são o resultado de trajetórias de emissões zero num futuro próximo, mas que, ainda têm concentrações elevadas de CO₂ devido à inércia no ciclo do carbono.

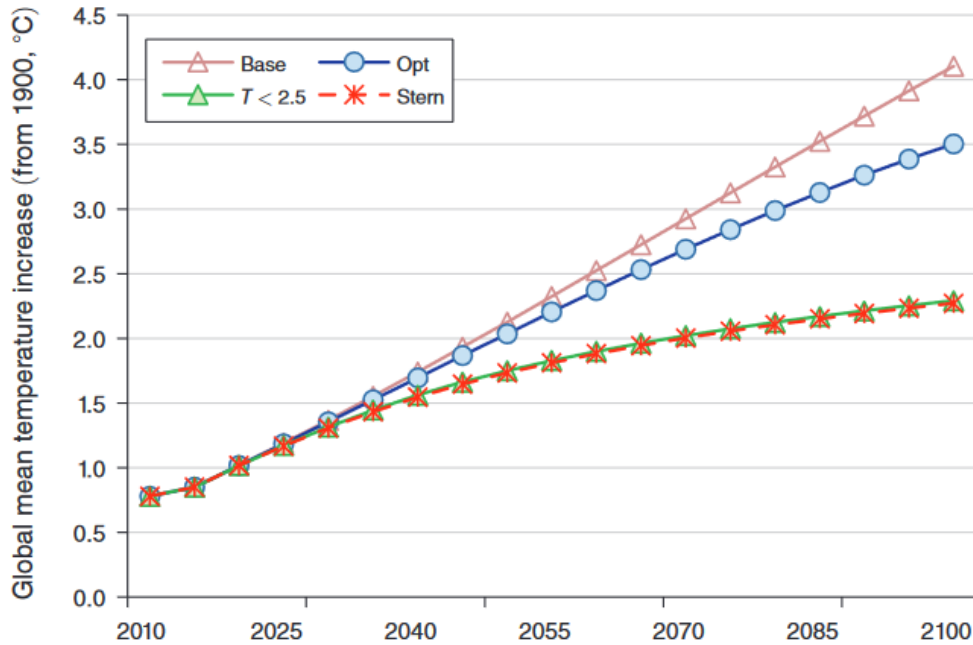


Figura 7: Aumento de temperatura média sob diferentes cenários (desde 1900, °C)
 Fonte: (Nordhaus, 2018, p. 348)

Por fim, a Figura 7 indica as trajetórias de temperatura dos diferentes cenários. As hipóteses "Stern" e "T < 2,5" convergem para 2,5°C até ao final do século XXI. Os outros caminhos crescem acentuadamente, quer devido à ausência de controlos ("Base") ou devido à inércia, mesmo com a adoção de políticas fortes ("Opt"). Mais uma vez, a dificuldade de cingir a subida de temperatura a 2°C é evidenciada, tanto pelas políticas que foram adiadas durante muitos anos, quanto pela grande inércia no ciclo do carbono e no sistema climático.

6. Teoria dos Jogos

A Teoria dos Jogos é um ramo da Matemática Aplicada que tem como intuito analisar a interação estratégica entre, pelo menos, dois agentes / jogadores. Nestes jogos cada agente, primeiro, deve antecipar a decisão dos outros agentes, para depois agir de forma a receber o maior *payoff* (retorno / compensação) possível. Devido a esta interação estratégica, o *payoff* de cada jogador depende, não apenas da sua própria decisão, mas também da decisão dos outros agentes envolvidos.

A primeira noção de jogos não cooperativos (quando não existe sintonia entre os agentes envolvidos) nasce com John von Neumann (Von Neumann, 1928), que depois,

nos anos 40, com o economista Oskar Morgenstern, estende os resultados a jogos de soma nula, os quais são caracterizados pelo facto de aquilo que um jogador ganha ser igual ao que o outro perde (Von Neumann & Morgenstern, 1944). A primeira solução para jogos não cooperativos de soma não nula surgiu com John Nash, para dois jogadores (Nash, 1950b) e para n jogadores (Nash, 1950a). São considerados de soma positiva quando as perdas correspondentes de uns são menores do que os ganhos dos outros. São denominados de soma negativa se as perdas correspondentes de uns forem maiores do que os ganhos dos outros. Fudenberg e Tirole auxiliam nessa definição, estabelecendo as bases matemáticas de toda a Teoria dos Jogos modernos – a pedra angular na Teoria dos Jogos (Fudenberg & Tirole, 1991).

Analisar-se-á várias formas de jogo, desde a identificação de equilíbrios de Nash, passando por abordagens aplicadas às alterações climáticas, até à Teoria dos Jogos evolucionista.

6.1 Dilema do Prisioneiro

Um dos jogos mais estudados neste contexto é o dilema do prisioneiro, introduzido por Melvin Dresher e Merrill Flood, em 1950, e foi disseminado por A. Tucker. Neste jogo há dois jogadores, A e B, parceiros de um crime, que são interrogados em salas separadas, de maneira a não ser possível conhecer as respostas dadas por cada qual. Cada jogador tem as opções de confessar ou negar o crime. No caso de ambos negarem, cada um será condenado com um mês de prisão. Se ambos confessarem, serão condenados com três meses cada um. No caso de um deles confessar o crime e o outro negar, aquele que confessou sairá em liberdade enquanto o outro cumprirá seis meses de pena. Os quatro cenários possíveis podem-se verificar na seguinte tabela, onde cada célula representa a utilidade de cada agente.

Tabela 1: Dilema do Prisioneiro

		Prisioneiro B	
		Confessa	Nega
Prisioneiro A	Confessa	-3 ; -3	0 ; -6
	Nega	-6 ; 0	-1 ; -1

Fonte: (Mira, 2011, p. 365). Adaptado pelo Autor, 2023

Após a análise da Tabela 1, forma normal do jogo, podemos concluir que o Prisioneiro A obtém sempre uma maior utilidade quando confessa ($-3 > -6$ e $0 > 1$). Ou seja, independentemente da opção do Prisioneiro B, confessar é sempre a melhor estratégia para o Prisioneiro A, o mesmo se verifica para o Prisioneiro B. Logo, o único equilíbrio desta interação estratégica é ambos confessarem ($-3 ; -3$). Repare-se, no entanto, que se ambos negarem o crime seriam condenados com, apenas, um mês, representando a combinação com maior utilidade geral (ótimo de Pareto³).

6.2 Equilíbrio de Nash e Cournot-Nash.

No caso anterior (Tabela 1) percebemos que cada jogador tem uma estratégia dominante, o que quer dizer que um jogador pode decidir sem levar em consideração as decisões do outro.

Quanto à natureza das hipóteses que os jogadores têm de jogar face aos *payoffs*, existem as estratégias dominada e dominante. A estratégia dominada - perfil de jogadas que nunca é exercitado ou jogado pelo jogador, uma vez que é sempre inferior a outra estratégia, independentemente das estratégias dos outros jogadores - e a estratégia dominante - perfil de jogadas que é sempre exercitado ou jogado pelo jogador, uma vez que é sempre superior a outra estratégia, independentemente das estratégias dos outros jogadores.

Contudo, não havendo estratégias dominantes, a melhor decisão de um jogador depende da decisão dos oponentes. Neste caso, cada jogador tem de tentar antecipar as escolhas dos outros, sendo este aspeto crucial na sua tomada de decisão. Para resolver este tipo de jogo, surge o conceito de equilíbrio de Nash (EN), que ocorre quando a escolha efetuada por um agente for ótima, de acordo com a escolha do outro e vice-versa. Um jogo pode ter EN em estratégias mistas e não ter em estratégias puras.

Quanto à natureza probabilística da jogada podemos considerá-las de dois tipos. Por um lado, a estratégia pura – jogada com 100% de probabilidade e a remanescente com 0% - e, por outro, a estratégia mista - combinação probabilística de estratégias puras (p. ex. jogo de 50% para cima e 50% para baixo).

³ Ótimo de Pareto: uma situação económica é ótima, no sentido de Pareto, se não for possível melhorar a utilidade de um agente, sem degradar a utilidade de qualquer outro agente.

Para identificar o EN consideremos a Tabela 2, que representa a tomada de decisão, por parte de duas empresas concorrentes (1 e 2), relativamente à descida ou subida de preços.

Tabela 2: Identificação do equilíbrio de Nash

		Empresa 2	
		Preço elevado	Preço baixo
Empresa 1	Preço elevado	10 ; 10	6 ; 4
	Preço baixo	2 ; 2	5 ; 5

Fonte: (Mira, 2011, p. 372). Adaptado pelo Autor, 2023

Primeiro, analisaremos a melhor opção para a empresa 1, consoante a decisão da empresa 2. Se a 2 optar por preço elevado, a melhor resposta da 1 será preço elevado (10>2). Em contrapartida, se a empresa 2 escolher preço baixo, então a 1 repostará, novamente, com preço elevado (6>5). Relativamente às respostas da empresa 2, se a 1 jogar preço elevado, a 2 também joga preço elevado (10>4). Porém, se a empresa 1 optar por preço baixo, a 2 responde com preço baixo (5>2).

Através do cruzamento das melhores respostas para ambas as empresas, pode verificar-se apenas uma combinação em que os dois jogadores estão, simultaneamente, na sua melhor resposta (preço elevado para ambas), no qual se verifica o equilíbrio de Nash. Nesta situação verificou-se apenas um EN, no entanto, há casos onde existe mais do que um e, ainda, situações onde se realça a sua inexistência (Mira, 2011).

Augustin Cournot investigou um duopólio no qual as empresas decidiam quais as quantidades a produzir (Cournot, 1838). As empresas 1 e 2 produzem um produto homogéneo com níveis de produção q_1 e q_2 . A produção agregada é $Q = q_1 + q_2$. Uma curva de reação (função de melhor resposta) representa as ações ótimas que uma empresa deve dar, consoante qualquer ação de outra empresa. Cada empresa irá ter uma curva de reação (RC1 e RC2) e a interseção destas representa o equilíbrio do mercado (equilíbrio Cournot-Nash), como se pode verificar no gráfico da Figura 8 (Giocoli, 2008).

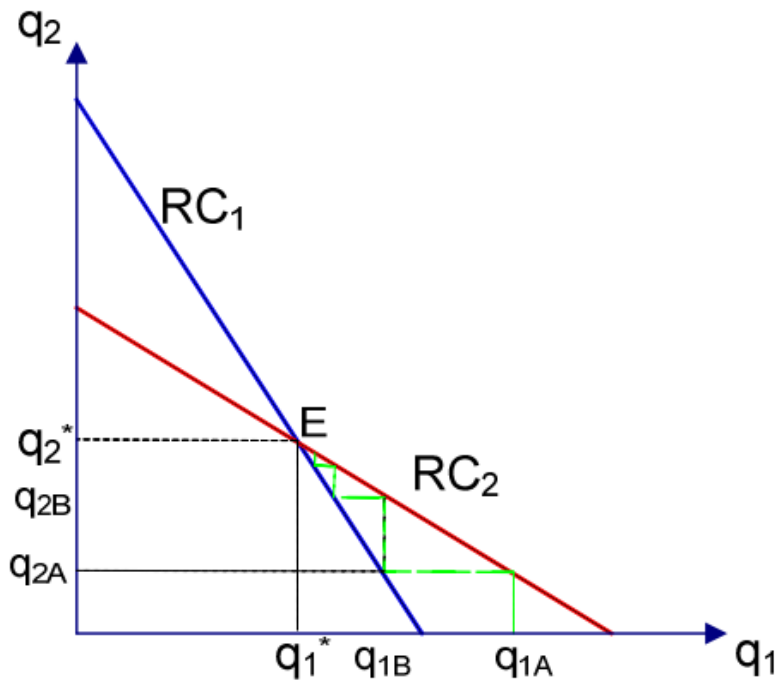


Figura 8: Curvas de reação no duopólio de Cournot
 Fonte: (Giocoli, 2008, p. 3)

Tal como se verifica no gráfico da figura anterior, o EN resulta da interseção das funções reação dos agentes em causa. Intuitivamente é um equilíbrio que uma vez alcançado, não há incentivo a desviar. Trata-se da primeira solução de equilíbrio de jogos de soma não nula em estratégias puras (Nash, 1950b, 1950a).

6.3 Jogos Sequenciais

Inicialmente, abordaram-se jogos em que os jogadores tomam decisões em simultâneo e antecipam as decisões dos outros, considerando um comportamento racional. No caso dos jogos sequenciais, as decisões são tomadas com algum desfasamento, o que significa que as escolhas são sequenciais. A melhor forma de descrevermos este tipo de jogo é representá-lo na sua forma extensiva. Para tal consideremos duas empresas (1 e 2), as quais concorrem entre si pela adoção de uma determinada norma (A ou B), numa situação em que há informação imperfeita (no momento da decisão, o jogador não está informado quanto às decisões tomadas anteriormente à sua) e a empresa 1 é a primeira a decidir. Consideremos, de seguida, as hipóteses possíveis.

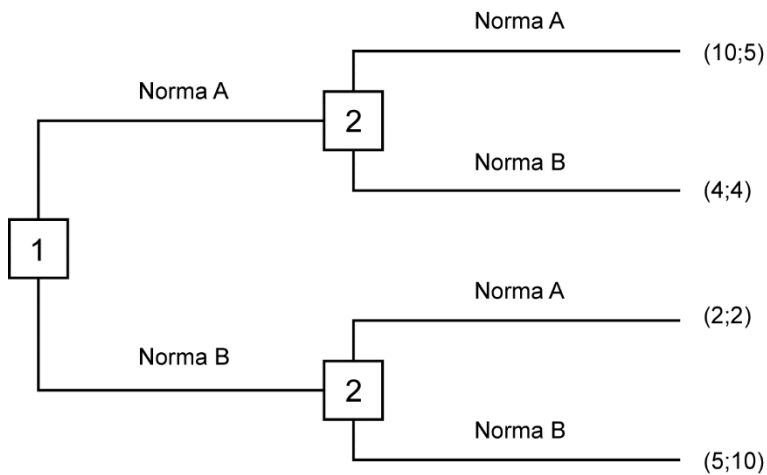


Figura 9: Forma extensiva com informação imperfeita de um jogo sequencial
 Fonte: (Mira, 2011, p. 378). Adaptado pelo Autor, 2023

Como demonstra a Figura 9, forma extensiva ou sequencial do jogo, se a empresa 1 escolher a norma A, a empresa 2 escolherá a norma A ($5 > 4$). Se a empresa 1 escolher a norma B, a empresa 2 optará, também, pela norma B ($10 > 2$). Posto isto, o economista Nobel, Robert Aumann, introduziu o método de *backward induction* (indução retrospectiva), utilizado com o fim de resolver jogos sequenciais (Aumann, 1995). Este conceito baseia-se na antecipação da jogada, uma vez que o primeiro jogador a ter de decidir, vai antecipar a resposta do segundo. Assim, começando pelo fim do jogo, podemos resolvê-lo a nosso favor. Neste caso, partindo do princípio de que cada empresa pretende atingir o máximo de utilidade, a empresa 1 escolherá a norma A ($10 > 5$).

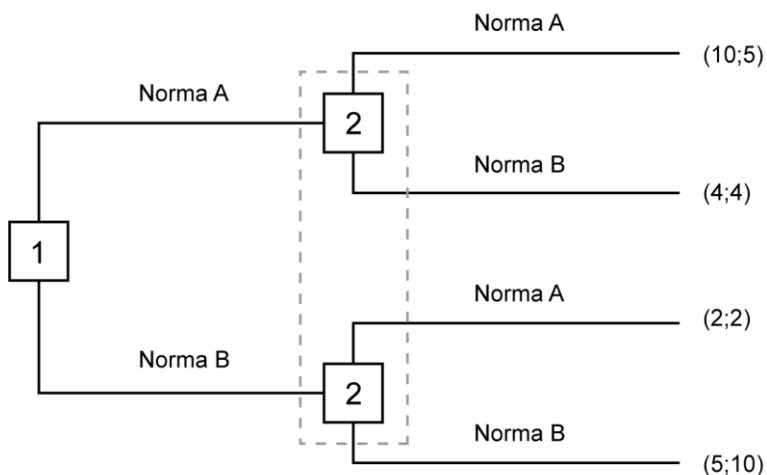


Figura 10: Forma extensiva com informação perfeita de um jogo sequencial
 Fonte: Autor, 2023

Na Figura 10, representa-se a forma extensiva / sequencial, mas equivalente à forma normal / matricial, pois há informação perfeita. A empresa 2 conhece ambos os “ramos” quando toma a sua decisão, logo prevalece um teorema de equivalência entre a forma normal e a extensiva com informação perfeita. Assim, este jogo pode ser, também, representado em matriz e teremos dois equilíbrios de Nash (ambas as empresas escolhem a norma A e ambas escolhem a norma B) em estratégias puras simultâneas, o que se depreende na Tabela 3.

Tabela 3: Forma normal (matricial) com informação perfeita

		Empresa 2	
		Norma A	Norma B
Empresa 1	Norma A	10 ; 5	4 ; 4
	Norma B	2 ; 2	5 ; 10

Fonte: Autor, 2023

$EN_1 = (\text{empresa 1; empresa 2}) = (\text{Norma A, Norma A}) = (10,5)$

$EN_2 = (\text{empresa 1; empresa 2}) = (\text{Norma B, Norma B}) = (5,10)$

6.4 Teoria dos Jogos Aplicada às Alterações Climáticas

São vários os autores que afirmam e acreditam que o jogo das alterações climáticas pode ser representado pelo caso particular do dilema dos prisioneiros (Gardiner, 2006; Pittel & Rübhelke, 2012, 2008; Soroos, 1994), como se verifica na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de payoffs entre dois agentes

		Agente 2	
		Cooperar	Desertar
Agente 1	Cooperar	a ; b	c ; d
	Desertar	e ; f	g ; h

Fonte: (Caleiro et al., 2019, p. 26). Adaptado pelo Autor, 2023

Hipótese: $e > a > g > c$ e $d > b > h > f$.

Sob os pressupostos habituais, num jogo realizado apenas uma vez, ambos os agentes decidem desertar (EN). No entanto, também se acredita que uma repetição infinita do jogo pode induzir a solução cooperativa, quando ambos os agentes possuem uma taxa de preferência / desconto intertemporal suficientemente elevada. É também importante reconhecer que, no caso de uma repetição finita do jogo, sendo conhecido o número de repetições por ambos os agentes, a combinação de desertar, por ambas as partes, deve ser a solução do jogo, uma vez que a solução cooperativa, por indução retrospectiva, não será considerada provável (Caleiro et al., 2019).

Partindo do princípio que os países mais poluidores são aqueles que, a curto prazo, menos sofrerão com as alterações climáticas (Harrington et al., 2016), em Caleiro *et al* (2019) assume-se que o agente 1 representa o grupo de países que estão menos dispostos a diminuir a poluição. Isto pode traduzir-se em diferentes relações nas matrizes de *payoff*, nomeadamente:

1. $g > h$ - O EN é pior para os países menos poluidores, a curto prazo.
2. $e > d$ - O recurso ao *free-riding* é melhor para os países mais poluidores, a curto prazo.
3. $a - g < b - h$ - Os benefícios da cooperação (em relação à deserção) são mais elevados para os países menos poluentes, a curto prazo.
4. $a < b$ - O comportamento cooperativo é menos atrativo para os países mais poluidores, a curto prazo.

Assumindo uma repetição infinita do jogo, estas quatro desigualdades explicam o facto empírico de tantas negociações falhadas na diminuição da poluição mundial. Isto pode-se justificar pelo facto de a taxa de desconto ser demasiado baixa (e / ou a um horizonte temporal curto). Sendo assim, para obter uma interação cooperativa global, a taxa de desconto deve ser suficientemente elevada para os países mais poluentes (Caleiro et al., 2019).

Sooros afirma que, embora, o Dilema do Prisioneiro não tenha prevalecido nas negociações bem sucedidas sobre a proteção da camada de ozono, pode tornar-se num fator significativo nos esforços internacionais para resolver o problema das alterações climáticas (Sooros, 1994). Também, para Decanio e Fremstad, a gravidade dos riscos das alterações climáticas tende a alterar a natureza do jogo, transpõe do Dilema do Prisioneiro para um jogo de cooperação / coordenação⁴ (DeCanio & Fremstad, 2013).

⁴ Jogos de cooperação / coordenação: jogos onde existe colaboração entre os jogadores.

Carraro e Siniscalco introduzem o Jogo do Covarde (*Chicken Game*) para representar o jogo das alterações climáticas e concluem que a interação estratégica entre países num ambiente comum, não conduz, necessariamente, à "tragédia dos comuns" (Carraro & Siniscalco, 1993).

Robinson e Goforth definiram 144 combinações possíveis de jogos entre dois tipos de Estados (Robinson & Goforth, 2006) e, Pittel e Rübhelke utilizaram jogos "3 por 3" a fim de envolver estratégias adicionais. De forma a representar as negociações internacionais sobre as alterações climáticas e integrar, tanto o Dilema do Prisioneiro, bem como o *Chicken Game*, neste cenário. Os autores demonstraram que a inclusão de benefícios adicionais na argumentação dos decisores, também, pode afetar fortemente o resultado das negociações internacionais (Pittel & Rübhelke, 2012).

6.5 Teoria dos Jogos Evolucionista

A visão evolucionista do dilema dos prisioneiros reflete uma abordagem (mais) interessante e apropriada, particularmente ao utilizar simulações baseadas em agentes (Caleiro et al., 2019). O processo dinâmico das interações estratégicas dos países que jogam o dilema dos prisioneiros de forma evolucionista deverá ser simulado utilizando um modelo NetLogo (Wilensky, 2002). Na simulação do dilema dos prisioneiros evolucionista, pode-se considerar percentagens distintas de cooperadores (*initial-cooperation*), bem como diferenciadas recompensas associadas à decisão de desertar (*defection-award*).

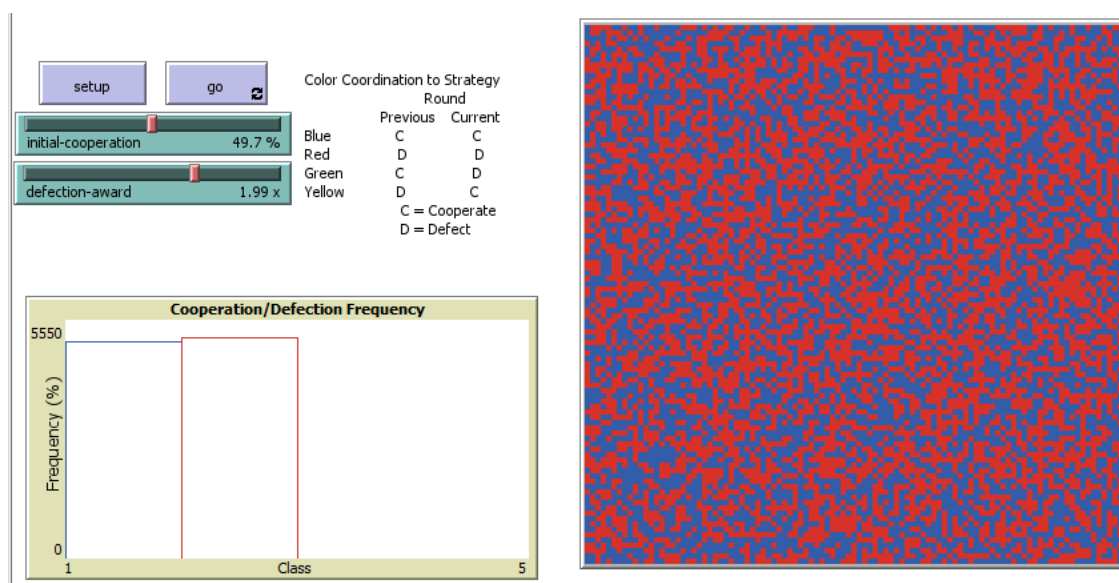


Figura 11: Primeira situação inicial
Fonte: (Caleiro et al., 2019). Adaptado pelo Autor, 2023

A Figura 11 ilustra o caso que, no início do jogo, sensivelmente, metade dos jogadores são de natureza cooperativa e a recompensa da deserção é, moderadamente, elevada. A área azul representa a cooperação e a vermelha a deserção.

Na Figura 12, apesar da percentagem equilibrada de cooperação inicial, um nível suficientemente elevado de prémio de deserção conduzirá a uma situação catastrófica em que cada agente escolhe o comportamento de desertar.

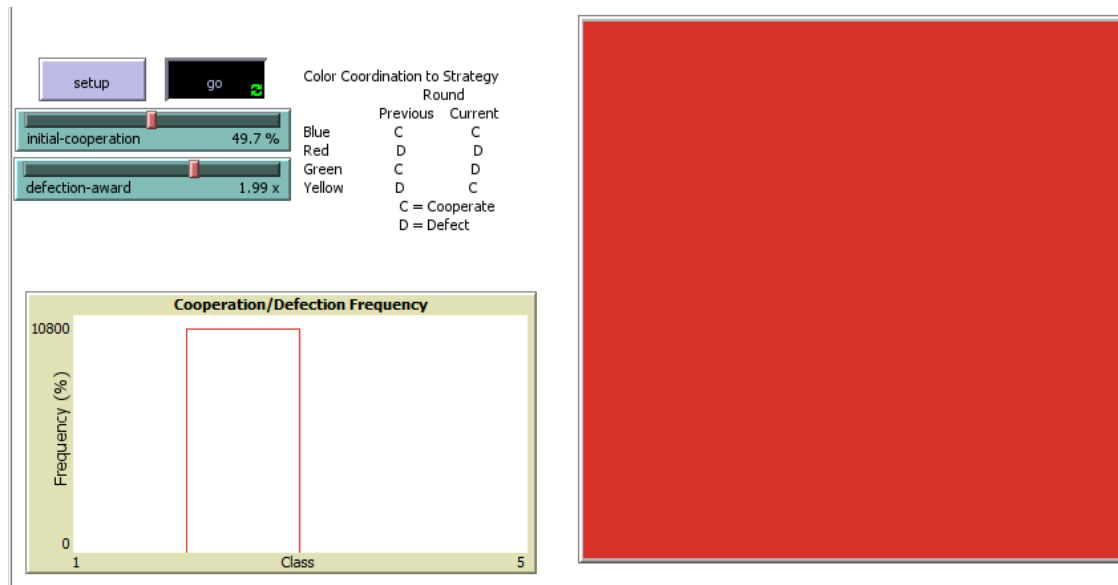


Figura 12: Situação catastrófica
Fonte: (Caleiro et al., 2019). Adaptado pelo Autor, 2023

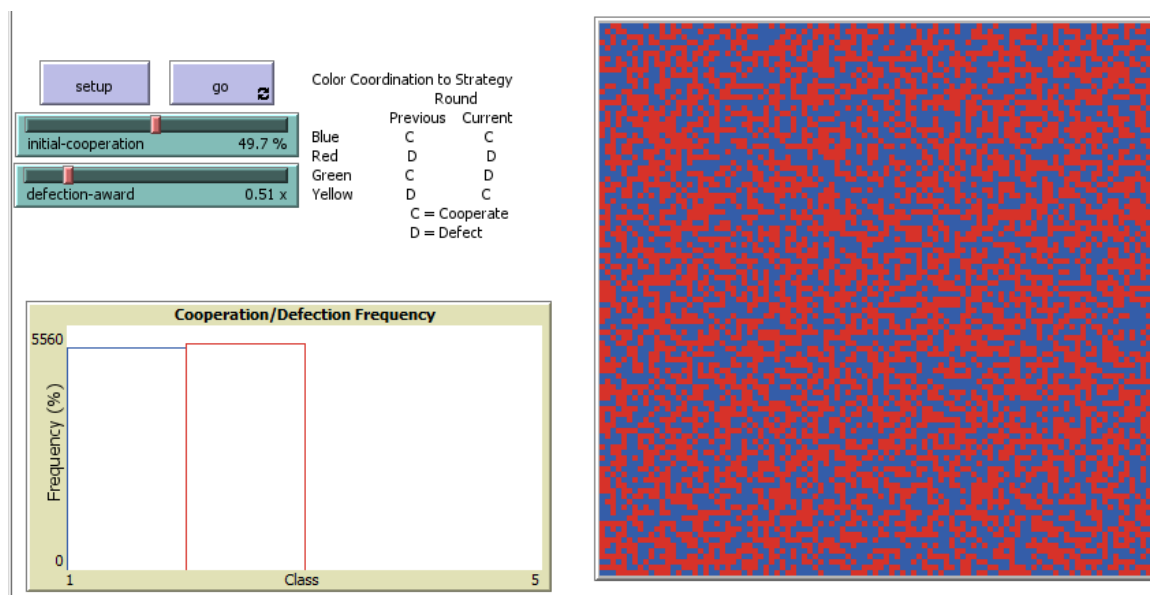


Figura 13: Nova situação inicial
Fonte: (Caleiro et al., 2019). Adaptado pelo Autor, 2023

Na Figura 13 apresenta-se uma nova situação onde se baixa o prémio de deserção e mantém-se o grau de cooperação inicial. A Figura 14 está numa situação intermédia, onde se destaca a emergência da cooperação, em que a área amarela representa os que desertavam e passaram a cooperar, e a verde o contrário.

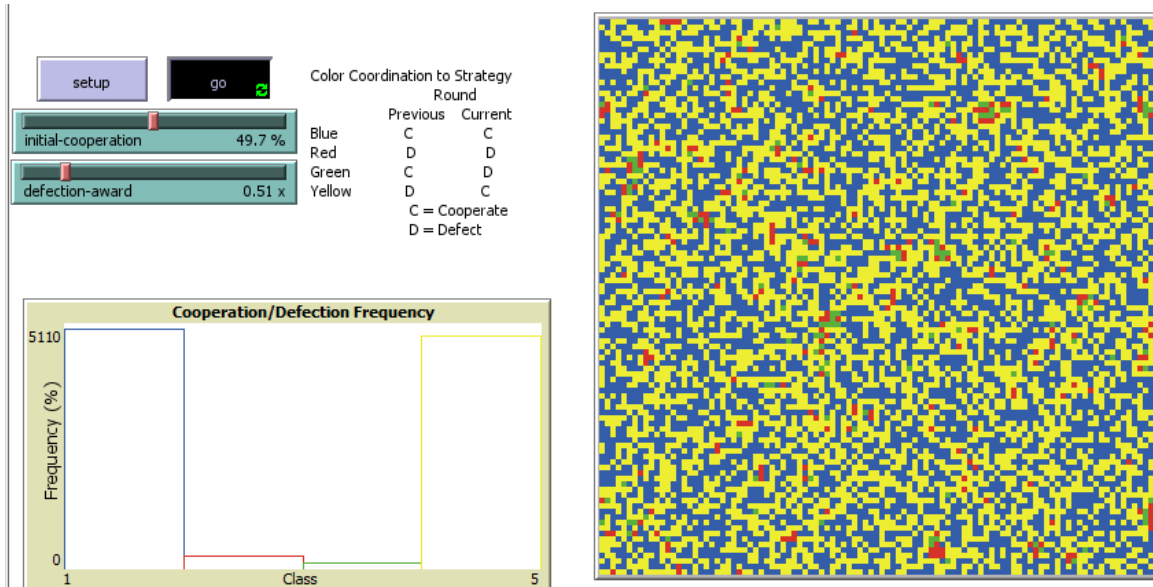


Figura 14: Situação intermédia
Fonte: (Caleiro et al., 2019). Adaptado pelo Autor, 2023

Finalmente, o cenário pretendido, área totalmente preenchida a azul, como se pode observar na Figura 15, em que a redução do prémio de deserção resultou na inversão do caminho desastroso de aumento da poluição.

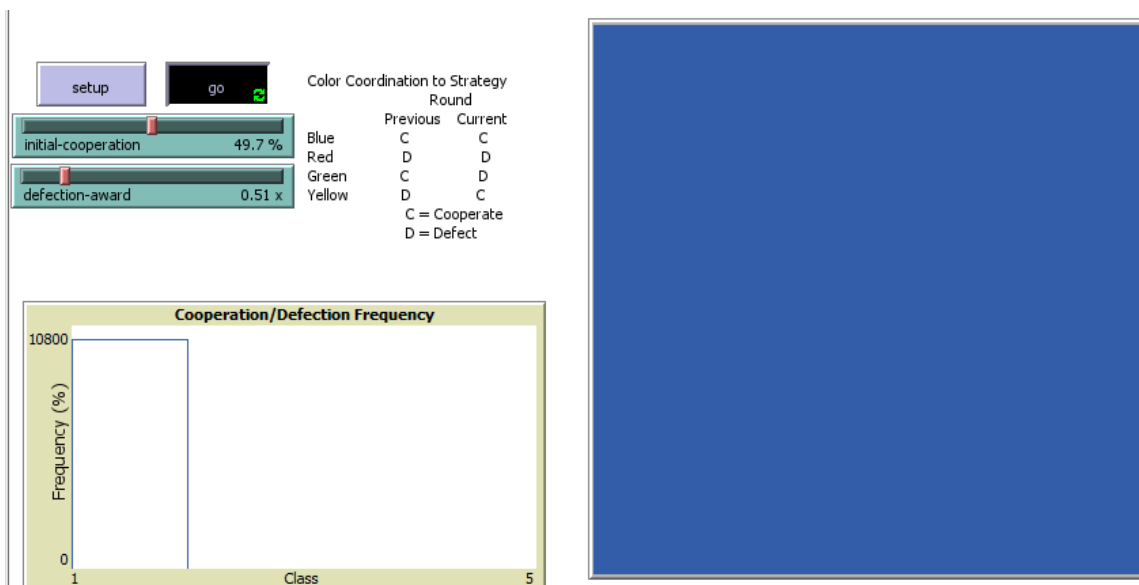


Figura 15: Situação final
Fonte: (Caleiro et al., 2019). Adaptado pelo Autor, 2023

7. Economia Comportamental

A economia comportamental refere-se ao estudo do comportamento humano em função das decisões tomadas. A complexidade desta área reside na descrição adequada dos pressupostos a estabelecer acerca dos objetivos do indivíduo. Esta questão soluciona-se, tradicionalmente, assumindo que o consumidor deseja maximizar a sua utilidade / satisfação. No entanto, a noção de utilidade revela alguma incerteza, particularmente, na tentativa de descrevê-la como um número (Von Neumann & Morgenstern, 1944).

Gary Becker, Nobel da Economia em 1992, foi preponderante nos conceitos de Capital Humano e Social. O autor desafiou a hipótese do interesse próprio, enquanto manteve, consistentemente, a suposição da racionalidade. Afirma que, cada investimento diminui a utilidade no presente, no entanto, é realizado porque garante proporcionar maior utilidade no futuro (G. S. Becker, 1996) e fundamentou a racionalidade do altruísmo e reciprocidade. A noção de altruísmo (G. Becker & Barro, 1986; G. S. Becker, 1976, 1996) assenta na preocupação de um indivíduo pelo outro. Há dois tipos de altruísmo, por um lado o altruísmo egoísta, em que a preocupação com o outro é, apenas, para nos fazer sentir melhor, e não pelo verdadeiro bem-estar do próximo. Logo, desta forma será difícil uma via de solução, mas por outro lado, o altruísmo verdadeiramente altruísta preocupa-se com o outro, não por nós próprios, mas sim pelo bem-estar do outro indivíduo - *warm glow* – (“*brilho nos olhos*”) (Andreoni, 1990). Assim, se o altruísmo for correspondido, simétrica ou mesmo assimetricamente, entre os agentes em causa, trata-se de um caso de reciprocidade (Becker, 1976) e pode-se introduzir uma verdadeira preocupação intergeracional - tópico abordado, posteriormente, na investigação ativa.

A Teoria da Ação Racional define a tomada de decisão humana, partindo do princípio que os indivíduos procuram satisfazer as suas necessidades da forma racional, tendo em consideração os benefícios e custos incorridos, procedendo de acordo com a maximização do bem-estar individual (Coleman & Fararo, 1992). Esta teoria tem sido contraposta por diversos antropólogos económicos. Vários autores demonstram que as escolhas feitas, pelas pessoas, relativamente à produção e à troca de bens, seguem padrões de reciprocidade, desde a sociedade tradicional (Godelier, 1999; Sahlins, 1972). Afastando-se, assim, da Teoria da Ação Racional.

Os seres humanos estão propensos a preconceitos e comportamentos irracionais e a economia comportamental pode orientar-nos para uma tomada de decisão mais racional. No seu livro, *Misbehaving: The making of behavioral economics*, Richard H.

Thaler discute, sucintamente, as teorias económicas tradicionais e desmistifica as suas suposições. Se o comportamento ético for incentivado através de benefícios monetários (juntamente com os seus benefícios morais), as pessoas podem encontrar mais motivação para agir de forma ética. Isto pode estar relacionado com a ideia de que o comportamento ético compensa. O autor defende, ainda, que a punição rápida e sistemática por comportamento antiético deve ser amplamente difundida para reforçar o seu compromisso com a ética e a regulamentação (Thaler, 2016).

Embora a sociedade se preocupe, por norma, com a justiça, a perceção do que é justo tende a ser influenciada pelo que é do próprio interesse. Esta posição afeta, frequentemente, as nossas ações (Brekke & Johansson-Stenman, 2008). Por fim, Baumeister sugere que as pessoas tendem a enganar-se a si próprias para acreditarem que são melhores do que aquilo que, realmente, são, com o fim de melhorar ou preservar a sua imagem (Baumeister, 1998).

8. Modelo de Gerações Sobrepostas (OLG)

O modelo de gerações sobrepostas (OLG) de Allais (1947), Samuelson (1958), e Diamond (1965) é o segundo modelo básico utilizado na macroeconomia de cariz microeconómico. A denominação implica a estrutura, uma vez que, em qualquer altura, indivíduos de diferentes gerações, presentes simultaneamente, podem negociar mutuamente. Cada geração negocia com outras gerações em diferentes períodos da vida, e há gerações (ainda por nascer), cujas preferências podem não ser contabilizadas nas transações correntes de mercado (Allais, 1947; Diamond, 1965; Samuelson, 1958).

O modelo é vastamente aplicado, porque permite estudar as implicações agregadas da poupança do ciclo de vida pelos indivíduos. O *stock* de capital é gerado por indivíduos, que poupam durante a fase ativa das suas vidas, para financiar os seus consumos durante a reforma. Este modelo é apropriado para estudar os determinantes do *stock* de capital agregado, bem como os efeitos da política governamental (sobre o *stock* de capital) e o bem-estar das diferentes gerações. Pode, ainda, ser alargado de forma a deixar heranças, sendo estas intencionais ou não (Blanchard & Fischer, 1989).

Na perspetiva económica, para que haja sustentabilidade, a equidade intergeracional tem de estar presente. A distribuição de direitos e bens, entre gerações, determina se a atribuição eficiente dos recursos sustenta o bem-estar humano a longo prazo (Howarth & Norgaard, 1992).

Existam várias contribuições teóricas que analisam a política ambiental utilizando um modelo OLG (Babu et al., 1997; Howarth & Norgaard, 1992; John et al., 1995; John & Pecchenino, 1994; Mariani et al., 2010; Ono, 2005; Ono & Maeda, 2001; Tubb, 2011; Udalov, 2014, 2018, 2019). Por um lado, encontram-se modelos nos quais não há manutenção ambiental. Os agentes não se preocupam com a poluição e os planeadores sociais interiorizam as externalidades através de impostos e transferências. Howarth e Norgaard (1992) apresentam um modelo em que a externalidade, causada pela poluição, não afeta a utilidade dos agentes. Fixa-se um imposto sobre o consumo de energia, a fim de maximizar a soma descontada da utilidade vitalícia de todas as gerações. Babu et al. (1997) sugere a introdução de um imposto específico, de modo a corrigir a ineficiência originada pela degradação ambiental, motivada pelo consumo excessivo de combustíveis fósseis. Partindo do princípio de que os governos adotam políticas a curto prazo, ignorando as consequências nas gerações futuras, John et al. (1995) investiga o efeito de um imposto ambiental, a longo prazo, que maximiza a utilidade de todas as gerações.

Por outro lado, existem modelos OLG onde a utilidade dos agentes depende da qualidade ambiental. Sob os pressupostos de que os indivíduos (jovens ou idosos) vivem durante dois períodos, trabalhando enquanto jovens e consumindo enquanto idosos, distribuem os seus salários entre o investimento em capital e a qualidade ambiental. John e Pecchenino (1994) são os pioneiros nesta área com o estudo de um potencial conflito entre o crescimento económico e a manutenção da qualidade ambiental.

Tendo em consideração a manutenção do *stock* ambiental, existem modelos que analisam, adicionalmente, o impacto da qualidade ambiental sobre a longevidade dos indivíduos e vice-versa. Ono e Maeda (2001) analisam a forma como o envelhecimento afeta o ambiente. Dependendo da aversão ao risco em relação ao consumo durante a reforma, o envelhecimento pode ser benéfico e prejudicial para o ambiente. Ono (2004) alarga o modelo e investiga o impacto do aumento do poder dos idosos nas políticas ambientais. Evidencia que uma maior longevidade da sociedade conduz à degradação ambiental, enquanto uma menor taxa de crescimento populacional contribui para um aumento da qualidade ambiental.

Segundo Mariani et al. (2009) os agentes podem investir na qualidade ambiental, dependendo de quanto tempo preveem viver. Por sua vez, as condições ambientais afetam a esperança de vida. Por fim, Tubb (2011) assume que as receitas fiscais podem ser despendidas, quer em investimentos ambientais, quer em transferências para os

idosos. Uma população envelhecida aumenta a pressão política para que a despesa pública seja direcionada a favor de transferências para os aposentados. No entanto, uma vez que os jovens antecipam que uma maior longevidade implica um maior retorno de tal investimento, o envelhecimento pode, simultaneamente, aumentar a procura da geração jovem por investimentos ambientais. Deste modo existe uma tensão entre as duas gerações relativamente às suas preferências pelas despesas governamentais.

Udalov (2014, 2018, 2019), com base no modelo OLG sugerido por John e Pecchenino (1994), apresenta um modelo com referência à votação político-económica, ao nível do apoio às energias renováveis. Contudo, ao contrário de John e Pecchenino (1994), onde os indivíduos investem na manutenção ambiental, são consideradas as decisões dos indivíduos relativamente às suas contribuições para o apoio às energias renováveis. Para este efeito, é utilizada uma função de produção Cobb-Douglas, tendo a energia como um *input* adicional. Sendo o nível de preços da energia, numa pequena economia aberta, considerado exógeno. Uma vez que jovens e idosos vivem no mesmo período, têm de decidir, simultaneamente, sobre as suas contribuições para o apoio às energias renováveis (Udalov, 2014, 2018, 2019).

Udalov (2018) refere que, para os jovens, o apoio às energias renováveis tem um efeito positivo no consumo de um indivíduo no período seguinte, se a elasticidade da produção de energias renováveis for maior do que o rácio dos custos de oportunidade das energias renováveis, no sentido da perda de consumo, no período seguinte. Uma vez que os efeitos a longo prazo são descontados ao seu valor atual, o resultado da votação dos indivíduos jovens é sensível a alterações na taxa de desconto, que representa a preferência intertemporal do indivíduo. Uma taxa de desconto mais elevada aumenta as preferências para o presente e tem um efeito negativo sobre o nível de apoio às energias renováveis.

Por outro lado, para os idosos, o apoio às energias renováveis afeta negativamente o consumo e a sua utilidade no período atual. Sendo assim, estes não apresentarão qualquer apoio às energias renováveis. Através dos resultados obtidos, cada geração na sociedade tem preferências distintas relativamente ao nível de apoio às energias renováveis, o que resultará num conflito intergeracional entre as gerações presentes (Udalov, 2018).

Secção III – Investigação Ativa

9. Udalov Aumentado – Preocupação Intergeracional

Com base no modelo OLG de Udalov (2018, 2019), que analisa o nível ótimo de apoio às energias renováveis por parte dos jovens e idosos, introduz-se uma nova variável (η - preocupação intergeracional), resultando numa nova expressão de utilidade. A preocupação intergeracional assenta no reconhecimento dos direitos das gerações futuras, assumindo a responsabilidade pelos nossos descendentes. Isto é, demonstrando o nosso cuidado para com aqueles que nos seguem.

Assim, pretende-se estudar a hipótese de que os idosos, nas suas escolhas atuais, vão ter em consideração a qualidade ambiental do período seguinte, mesmo assumindo que já não estarão presentes para usufruir desse investimento. Já que Udalov (2014, 2018, 2019) assume que os indivíduos não são altruístas, o que implica que os idosos não cuidam dos jovens e os jovens não se preocupam com os idosos, com a inclusão deste sentimento nas preferências dos indivíduos, pretende-se que haja sustentabilidade económica e ambiental (Udalov, 2014, 2018, 2019).

9.1 Indivíduos

A cada período t surge uma nova geração e cada uma vive em dois períodos. Primeiro, quando representam a população ativa (jovens) e, depois, quando se aposentam (idosos). Há duas gerações vivas em qualquer período, onde se sobrepõem.

Cada indivíduo jovem tem direito a um salário (w_t) pelo seu serviço prestado às empresas. Estes que distribuem os seus rendimentos entre o consumo corrente (c_t), a poupança corrente (s_t) e o apoio às energias renováveis (m_t). Assim, a restrição orçamental para um agente jovem no período t é:

$$w_t = c_t + s_t + m_t \quad (1)$$

Os agentes enfrentam um compromisso entre o consumo e o apoio às energias renováveis. Quando idosos, os indivíduos consomem o retorno da poupança e apoiam às energias renováveis. A restrição para um idoso nascido no período t é:

$$c_{t+1} = (1 + r_{t+1})s_t - m_{t+1} \quad (2)$$

Os indivíduos nascidos no período t têm preferências definidas em relação ao consumo e à qualidade ambiental (Env) na velhice e na juventude. Os benefícios, que ocorrem no período $t+1$, têm de ser descontados à taxa de desconto δ . Assumindo que não há preocupação intergeracional, estas preferências são representadas pela seguinte função de utilidade:

$$V_t = \ln c_t^1 + \ln Env_t + \frac{1}{1 + \delta} (\ln c_{t+1}^2 + \ln Env_{t+1}) \quad (3)$$

Onde Env_t descreve a qualidade ambiental no período t e Env_{t+1} define a qualidade ambiental no período $t+1$.

Com a introdução da variável correspondente à preocupação intergeracional (η), a representação da nova função de utilidade (U) será assim:⁵

$$U_t = \ln c_t^1 + \ln Env_t + \frac{1}{1 + \delta} (\ln c_{t+1}^2 + \eta \ln Env_{t+1}) \quad (4)$$

9.2 Empresas

A empresa produz um bem homogêneo, utilizando capital (K), mão-de-obra (L) e energia (E) em cada período. A função de produção neoclássica é dada por:

$$Y_t = K_t^\alpha L_t^\beta E_t^{1-\alpha-\beta} \quad (5)$$

A energia é produzida, utilizando dois substitutos imperfeitos, nomeadamente os combustíveis fósseis (FE) e as energias renováveis (RE):

$$E_t = FE_t^\gamma (\sigma m_{t-1} RE_t)^{1-\gamma} \quad (6)$$

O apoio às energias renováveis do período anterior aumenta a quantidade de energia renovável utilizada no período atual, e σ indica a eficácia do apoio às energias renováveis.

⁵ Para consultar os passos realizados até à expressão final, vide apêndice A.1 (p. 77).

O lucro da empresa no período t é:

$$\pi_t = p_t K_t^\alpha L_t^\beta E_t^{1-\alpha-\beta} - w_t L_t - r_t K_t - p_t^E E_t \quad (7)$$

Partindo do princípio que se trata de uma pequena economia aberta, que enfrenta salários (w_t), taxas de juro (r_t) e preços de energia (p_t^E), cada empresa escolhe os níveis de trabalho (L_t), capital (K_t) e energia (E_t) com o objetivo de maximizar os seus lucros.

Assim, as condições de primeira ordem são:

$$r_t = \alpha p_t K_t^{\alpha-1} L_t^\beta E_t^{1-\alpha-\beta} \quad (8)$$

$$w_t = \beta p_t K_t^\alpha L_t^{\beta-1} E_t^{1-\alpha-\beta} \quad (9)$$

$$p_t^E = (1 - \alpha - \beta) p_t K_t^\alpha L_t^\beta E_t^{-\alpha-\beta} \quad (10)$$

Estas restrições declaram que a empresa contrata mão-de-obra, capital e energia até que os produtos marginais igualem os preços dos fatores. Devido à suposta condição de concorrência perfeita, estas condições implicam a compensação dos mercados de fatores.

9.3 Qualidade ambiental

O nível de qualidade ambiental é reduzido pelo consumo agregado, mas pode ser aumentado através do apoio às energias renováveis. Este mecanismo é expresso de acordo com a seguinte fórmula:

$$Env_{t+1} = Env_t - \omega c_t + \pi m_t \quad (11)$$

O termo ω representa a degradação do ambiente como resultado do consumo no período t , enquanto π mede a melhoria ambiental como resultado do apoio às energias renováveis.

A qualidade ambiental tem uma relação inversa com o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera e, nesse sentido, o aumento das emissões que se tem verificado desde a Revolução Industrial e que, cada vez mais, se tem acentuado está a contribuir para a degradação do meio ambiente. Logo, a qualidade ambiental tem vindo a diminuir

e daqui em diante estamos perante três cenários (representados na seguinte figura), que dependem, única e exclusivamente, da ação humana.

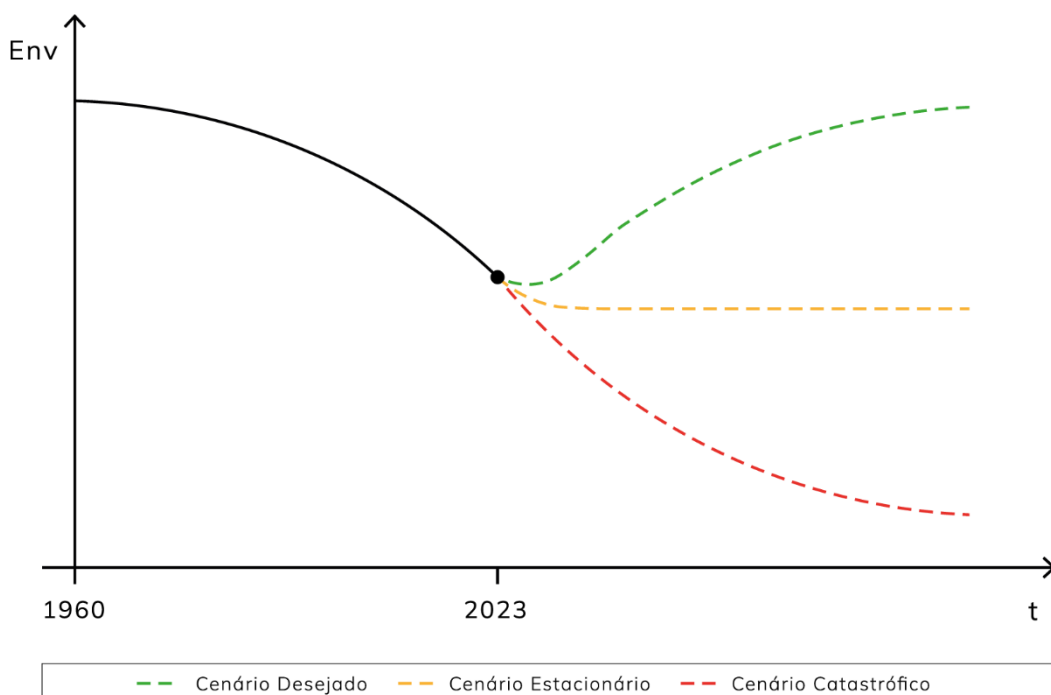


Figura 16: Evolução da qualidade ambiental perante 3 cenários
 Fonte: Autor, 2023

No primeiro cenário (Figura 16), continuamos a aumentar as emissões de CO_2 , através do consumo excessivo, ignorando as gerações vindouras ($\pi\bar{m} < \omega\bar{c}$). Deste modo, prevê-se um cenário catastrófico, representado a tracejado vermelho, em que a qualidade ambiental diminui até ao seu esgotamento ($Env_\infty < \dots < Env_{t+1} < Env_t$).

Outra possibilidade é estagnar as emissões mantendo o consumo ($\pi\bar{m} = \omega\bar{c}$), chegando a um estado estacionário, representado pela trajetória a amarelo, no qual a qualidade ambiental se manterá ($Env_t = Env_{t+1} = Env_\infty$).

Finalmente, o cenário desejado, no qual a população dá mais valor à qualidade ambiental e apoia as energias renováveis em detrimento do consumo ($\pi\bar{m} > \omega\bar{c}$). Neste cenário ótimo, exibido a verde, com a preocupação intergeracional a ter um papel fundamental, podemos inverter a tendência que se tem comprovado e verificar-se-á uma melhoria ambiental ($Env_\infty > \dots > Env_{t+1} > Env_t$).

9.4 Jovens

Os dois grupos de indivíduos votam sobre o nível das contribuições para o apoio às energias renováveis, maximizando a função de utilidade correspondente no que diz respeito ao m_t . Quando os indivíduos-alvo são os jovens, estudamos apenas o caso em que há preocupação intergeracional, pois estarão no período seguinte e poderão usufruir da qualidade ambiental nesse período. Utilizar-se-á a expressão da utilidade U . Assim, o problema de maximização enfrentado pelos indivíduos jovens corresponde a:

$$\max U_t^{young} = \ln c_t^1 + \ln Env_t + \frac{1}{1 + \delta} (\ln c_{t+1}^2 + \eta \ln Env_{t+1}) \quad (12)$$

Sujeito a

$$c_t^1 = w_t - s_t - m_t$$

$$c_{t+1}^2 = (1 + r_{t+1})s_t - m_{t+1}$$

$$r_{t+1} = \alpha p_{t+1} K_{t+1}^{\alpha-1} L_{t+1}^\beta E_{t+1}^{1-\alpha-\beta}$$

$$E_{t+1} = F E_{t+1}^\gamma (\sigma m_t R E_{t+1})^{1-\gamma}$$

$$Env_{t+1} = Env_t - \omega c_t + \pi m_t$$

Inserindo as restrições acima referidas, a função de utilidade correspondente dos indivíduos jovens pode ser derivada como:

$$\begin{aligned} U_t^{young} &= \ln(w_t - s_t - m_t) + \ln Env_t \\ &+ \frac{1}{1 + \delta} \ln \left[\left(1 + \alpha p_{t+1} K_{t+1}^{\alpha-1} L_{t+1}^\beta (F E_{t+1}^\gamma (\sigma m_t R E_{t+1})^{1-\gamma})^{1-\alpha-\beta} \right) \right. \\ &\left. * (w_t - c_t^1 - m_t) - m_{t+1} \right] + \frac{1}{1 + \delta} \eta \ln(Env_t - \omega c_t + \pi m_t) \end{aligned} \quad (13)$$

A fim de determinar o nível ótimo de apoio às energias renováveis por parte dos jovens, a função acima referida tem de ser diferenciada em ordem a m_t :⁶

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_t^{young}}{\partial m_t} = 0 &\Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow -\frac{1}{c_t^1} + \frac{1}{1+\delta} \left(\frac{(1-\gamma)(1-\alpha-\beta) \frac{S_t}{m_t} r_{t+1} - (1+r_{t+1})}{c_{t+1}^2} \right) + \frac{\eta}{1+\delta} * \frac{\pi}{Env_{t+1}} &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

No período t , há um efeito negativo $\left(-\frac{1}{c_t^1}\right)$ causado pelo impacto negativo do m_t no consumo. De acordo com a equação (11) há uma melhoria ambiental $\left(\frac{\eta}{1+\delta} * \frac{\pi}{Env_{t+1}}\right)$ no período $t+1$, como resultado do apoio às energias renováveis. No entanto, o apoio às energias renováveis tem um efeito ambíguo sobre o consumo no período $t+1$:

$$\frac{1}{1+\delta} \left(\frac{(1-\gamma)(1-\alpha-\beta) \frac{S_t}{m_t} r_{t+1} - (1+r_{t+1})}{c_{t+1}^2} \right) \quad (15)$$

Por um lado, de acordo com as equações (2), (6) e (8), o apoio às energias renováveis aumenta o consumo de um indivíduo no período $t+1$. Por outro lado, uma vez que existe um compromisso entre apoio às energias renováveis e poupança no período t , um aumento do apoio às energias renováveis tem um efeito negativo no consumo no período $t+1$ devido a (1) e (2). O efeito global do m_t sobre o consumo de um indivíduo no período $t+1$ é positivo se a seguinte condição de desigualdade for cumprida:

$$(1-\gamma)(1-\alpha-\beta) > \frac{(1+r_{t+1})m_t}{r_{t+1}S_t} \quad (16)$$

Assim, o efeito do m_t no consumo de um indivíduo no período $t+1$ é positivo, se a elasticidade da produção de RE for maior do que o rácio dos custos de oportunidade da energia renovável, no sentido da perda de consumo, para o rendimento da poupança, no período $t+1$.

Os indivíduos mais jovens votarão por um nível de m_t que equilibre os efeitos negativos e positivos de modo que $\frac{\partial U_t^{young}}{\partial m_t} = 0$. Uma vez que os efeitos a longo prazo, que ocorrem no futuro, são descontados ao seu valor atual, o resultado da votação dos

⁶ Vide A.2 (p. 78).

indivíduos jovens é sensível a alterações na taxa de desconto δ , que representa a preferência intertemporal do indivíduo. Um δ mais elevado aumenta as preferências para o presente e tem um efeito negativo sobre o nível de apoio às energias renováveis (Udalov, 2018).

Derivando a utilidade em função da qualidade ambiental:⁷

$$\frac{\partial U_t^{young}}{\partial Env_t} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} + \frac{\eta}{(1 + \delta)Env_{t+1}} = 0 \quad (17)$$

A preocupação intergeracional, no período t , tem um efeito positivo na qualidade ambiental em $t+1$. Da expressão (17) pode-se retirar a taxa marginal de substituição entre qualidade ambiental, presente e futura ($TMS_{Env_{t+1};Env_t}$). A TMS mede a taxa à qual um indivíduo está disposto a abdicar de um bem pelo outro, mantendo constante o seu nível de satisfação.⁸

$$TMS_{Env_{t+1};Env_t} = \frac{\eta}{(1 + \delta)} \quad (18)$$

Neste caso a TMS corresponde à taxa que um jovem abdica da qualidade ambiental no presente em troca da qualidade ambiental no futuro. Da expressão (18) retiramos que quanto maior for a preocupação intergeracional e menor a taxa de desconto, mais importância o indivíduo dará à qualidade ambiental no período seguinte.

Em relação ao consumo ótimo:⁹

$$\frac{\partial U_t^{young}}{\partial c_t^1} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{c_t^1} - \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{1 + r_{t+1}}{c_{t+1}^2} + \frac{\eta\omega}{Env_{t+1}} \right) = 0 \quad (19)$$

O consumo tem um efeito positivo na utilidade dos jovens e uma relação negativa com a preocupação geracional e qualidade ambiental, no período seguinte.

⁷ Vide A.2 (p. 78).

⁸ Vide A.2 (p. 79).

⁹ Vide A.2 (p. 78).

Introduzindo a expressão relativa à qualidade ambiental ótima, numa situação de *steady state* (estado estacionário), podemos analisar como evolui o consumo por qualidade ambiental, através do rácio entre \bar{c} e \overline{Env} :¹⁰

$$\frac{\bar{c}}{\overline{Env}} = \left(\frac{\bar{r} - \delta}{1 + \delta} \right) \frac{\omega}{\eta} \quad (20)$$

$$(c_t^1 = c_{t+1}^2 = \bar{c}; Env_t = Env_{t+1} = \overline{Env}; r_{t+1} = \bar{r})$$

Tendo em consideração que não faz sentido o consumo de um indivíduo apresentar valores negativos, acrescenta-se uma constante de referência (μ^1), representativa do valor do consumo, para os jovens. Assim, quanto maior o valor da constante, maior será a importância base que o consumo representa na utilidade desta geração.

$$\left[\frac{\bar{c}}{\overline{Env}} \right]^{young} = \left(\frac{\bar{r} - \delta}{1 + \delta} \right) \frac{\omega}{\eta} + \mu^1 \quad (21)$$

Para avaliar melhor recorreu-se a simulações determinísticas, parametrizando as variáveis r , δ , η , ω e μ^1 ($0,5\% \leq \bar{r} \leq 10\%$, $0,5\% \leq \delta \leq 10,5\%$, $0,1 \leq \eta \leq 20$, $0,1 \leq \omega \leq 20$ e $\mu^1 = 1$ ou 10), através do Excel. As seguintes figuras (17 até à 26) contêm superfícies que ilustram, em três eixos, a dimensão do *trade-off* temporal entre, a taxa de desconto intertemporal (δ), ou seja, como se avalia o tempo na função de utilidade de cada geração; a taxa de juro (r), que avalia o tempo como custo de oportunidade dos recursos de mercado; e o consumo, por qualidade ambiental $\left(\frac{\bar{c}}{\overline{Env}} \right)$, que avalia como os jovens valorizam o consumo em detrimento do *stock* ambiental, ao longo do tempo.

¹⁰ Vide A.2 (p. 79).

Primeiramente, analisar-se-á o caso em que os jovens dão menor importância ao consumo ($\mu^1 = 1$).

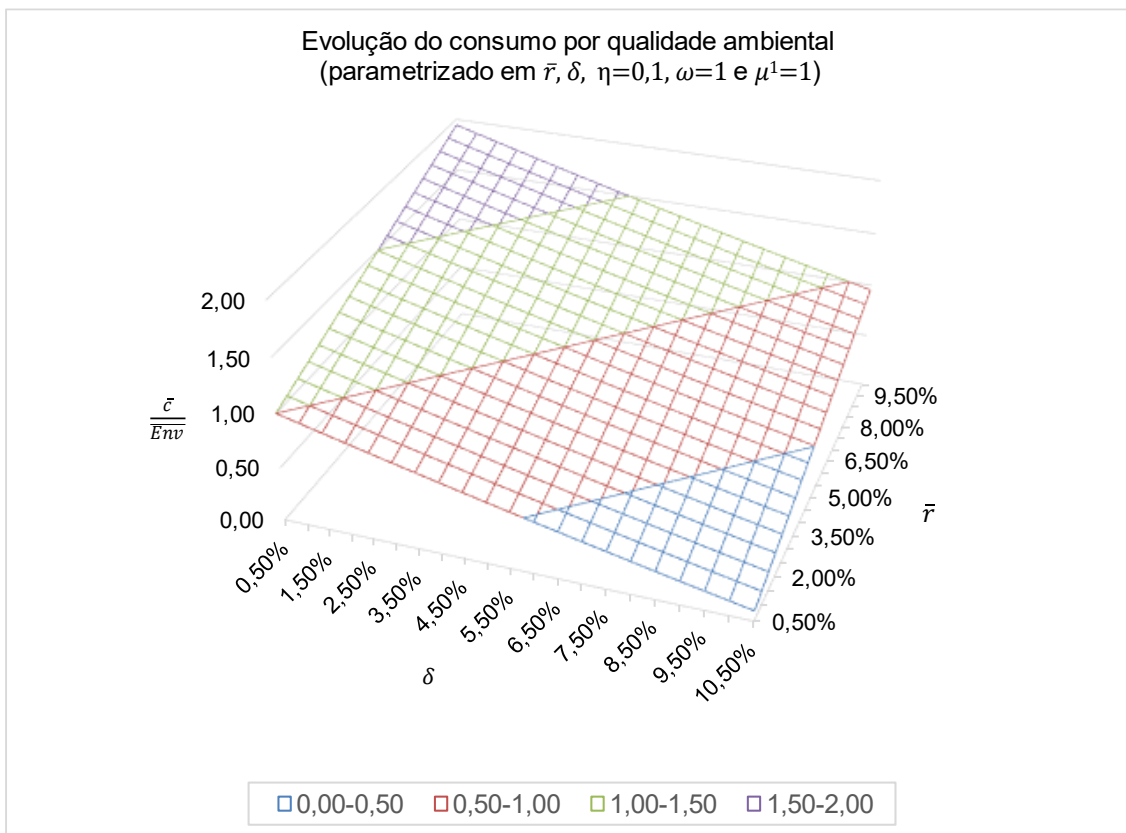


Figura 17: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 0,1$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 1$)
 Fonte: Autor, 2023

Na Figura 17 representa-se um valor de preocupação intergeracional bastante baixo e a degradação ambiental razoável ($\eta = 0,1$ e $\omega = 1$). Para a garantir o equilíbrio de *steady state* dos jovens, assumindo um nível baixo de consumo, por qualidade ambiental (valores entre 0 e 1), tem de haver uma taxa de juro baixa e uma taxa de desconto elevada. Ao invés, se a taxa de juro for elevada e a taxa de desconto intertemporal for baixa, então a superfície apresenta níveis de consumo, por qualidade ambiental, mais elevados (valores entre 1 e 2).

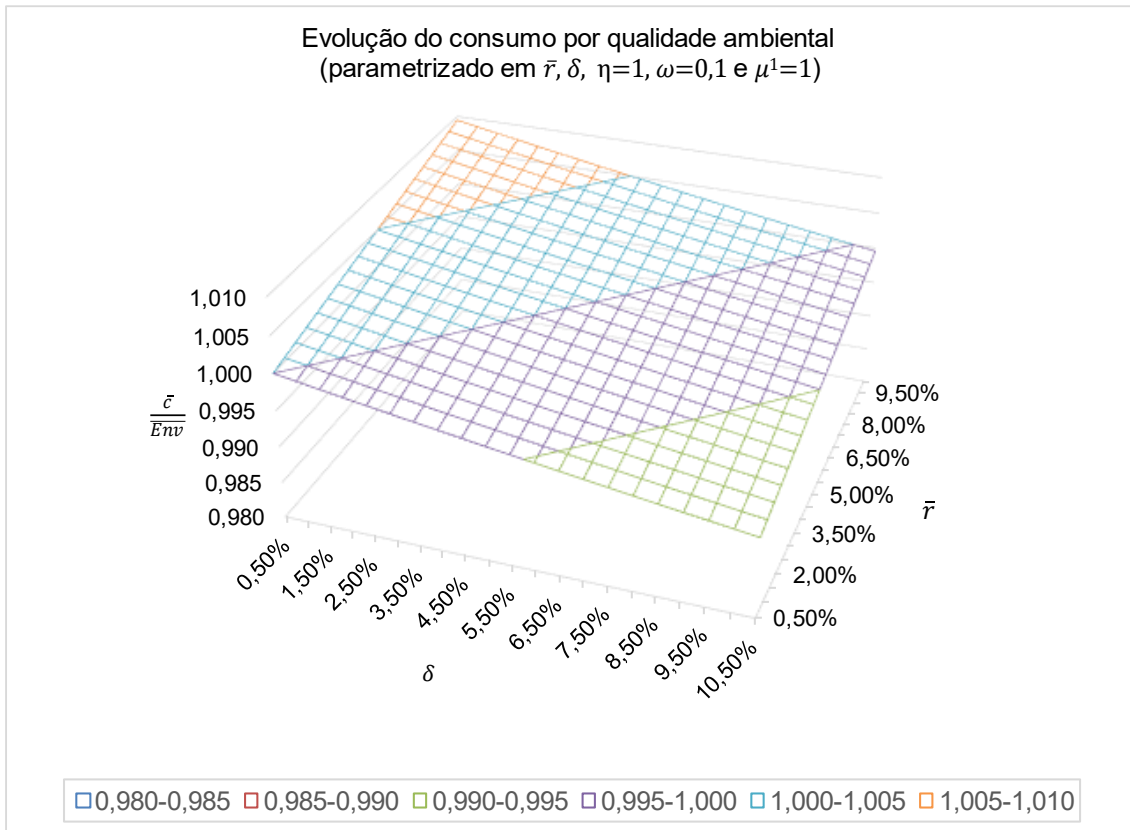


Figura 18: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 0,1$ e $\mu^1 = 1$)
Fonte: Autor, 2023

No caso seguinte (Figura 18) inverte-se o cenário de η e ω ($\eta = 0,1$ e $\omega = 1$). Assim, verifica-se que com valores de preocupação intergeracional maiores do que os da degradação ambiental há uma ligeira quebra no intervalo do consumo, em torno de uma unidade. No entanto, a degradação ambiental a apresentar valores tão baixos (0,1), o que significa que o consumo apresenta uma baixa degradação, permite ter uma superfície com menores variações. O consumo, por *stock* ambiental, varia, assim, entre valores de 0,98 a 1,01, resultando numa superfície muito pouco inclinada em torno de 1. Mais uma vez, o consumo tem uma relação de proporcionalidade direta com a taxa de juro, enquanto com a taxa de desconto intertemporal é inversamente proporcional.

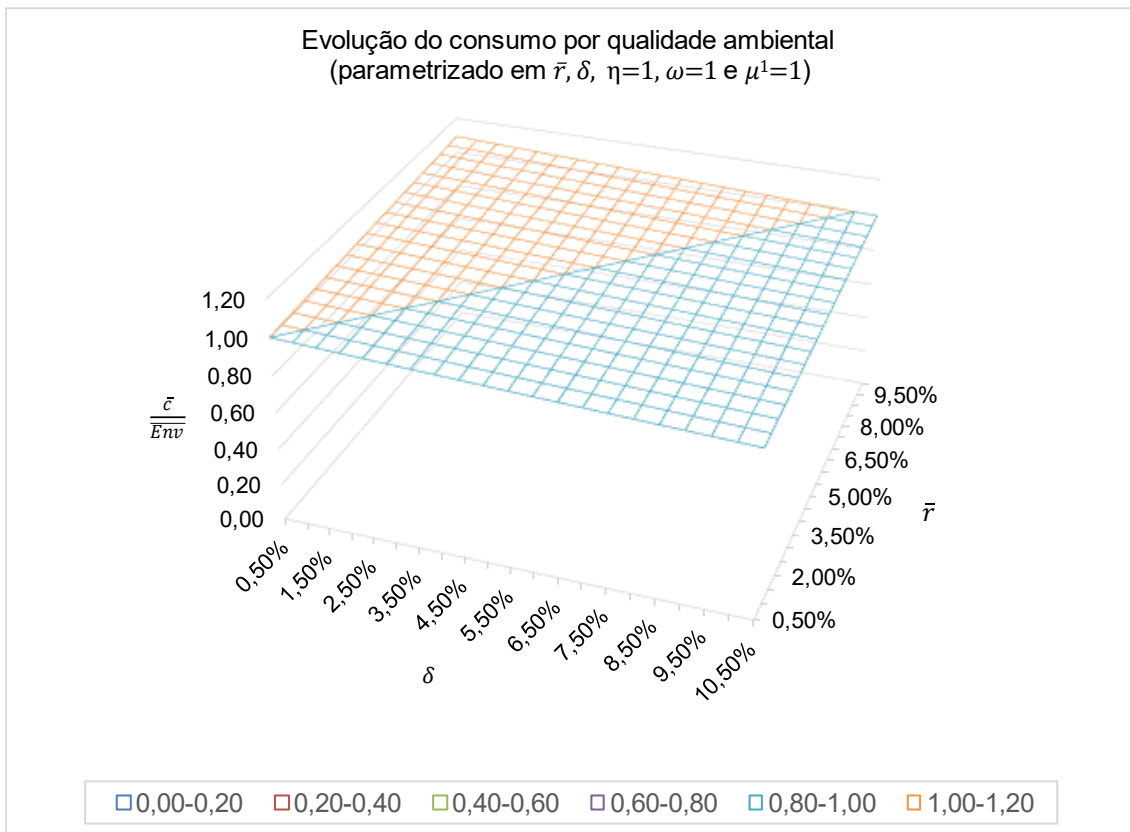


Figura 19: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 1$)
 Fonte: Autor, 2023

Na superfície da Figura 19, a preocupação intergeracional e a degradação ambiental, provocada pelo consumo, representam um *trade-off* entre ambas. Neste caso, assumem o mesmo valor ($\eta = 1$ e $\omega = 1$) e apresentam alguma estabilidade na superfície simulada. A superfície do consumo ambiental dos jovens, varia em torno de 1 (valores entre 0,8 e 1,2), mas este aumento da degradação ambiental, relativamente à Figura 18, exige que haja maiores *trade-offs* entre as taxas de desconto e de juro, *ceteris paribus*, apresentando valores mais altos. No entanto, comparativamente com a Figura 17, o consumo apresenta valores mais baixos, porque aumenta a preocupação intergeracional.

As simulações com $\eta = 2$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 1$ e com $\eta = 1$, $\omega = 2$ e $\mu^1 = 1$, encontram-se em Apêndice¹¹. Estas superfícies de equilíbrio e a sua análise são semelhantes às anteriores e, assim, complementam e comprovam a análise realizada.

¹¹ Vide A.2 (pp. 79 e 80).

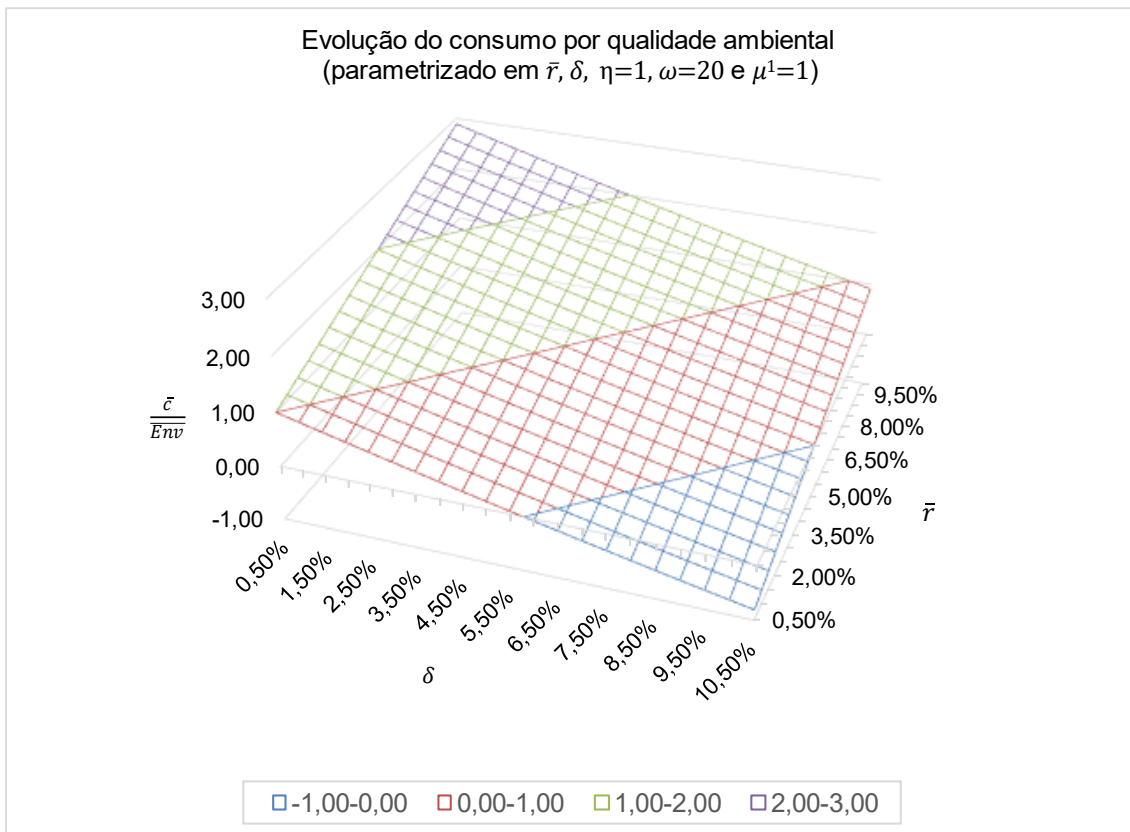


Figura 20: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 20$ e $\mu^1 = 1$)
Fonte: Autor, 2023

No caso da Figura 20, a degradação é de tal forma acentuada ($\eta = 1$ e $\omega = 20$), que o equilíbrio de consumo, por qualidade ambiental, atinge valores negativos (a área da superfície a azul). Uma vez que nos restringimos ao consumo ambiental positivo, a sua interpretação poderá ser limitada ao ortante positivo, ou, eventualmente, a externalidades negativas e a males económicos. Para simplificar, truncá-lo-emos ao ortante positivo. Em Apêndice estão simulações parametrizadas (com $\mu^1 = 10$) de forma que o consumo se limite ao ortante positivo¹².

Note-se, que tal como nas figuras anteriores, o equilíbrio de *steady state* dos jovens faz-se em torno do valor da constante que traduz a importância do consumo (μ^1). No entanto, como a degradação ambiental assume um valor tão elevado, os *trade-offs* entre as taxas de desconto e de juro são muito elevados. De tal modo, que o consumo ambiental dos jovens oscila até às 3 unidades.

¹² Vide A.2 (p. 84).

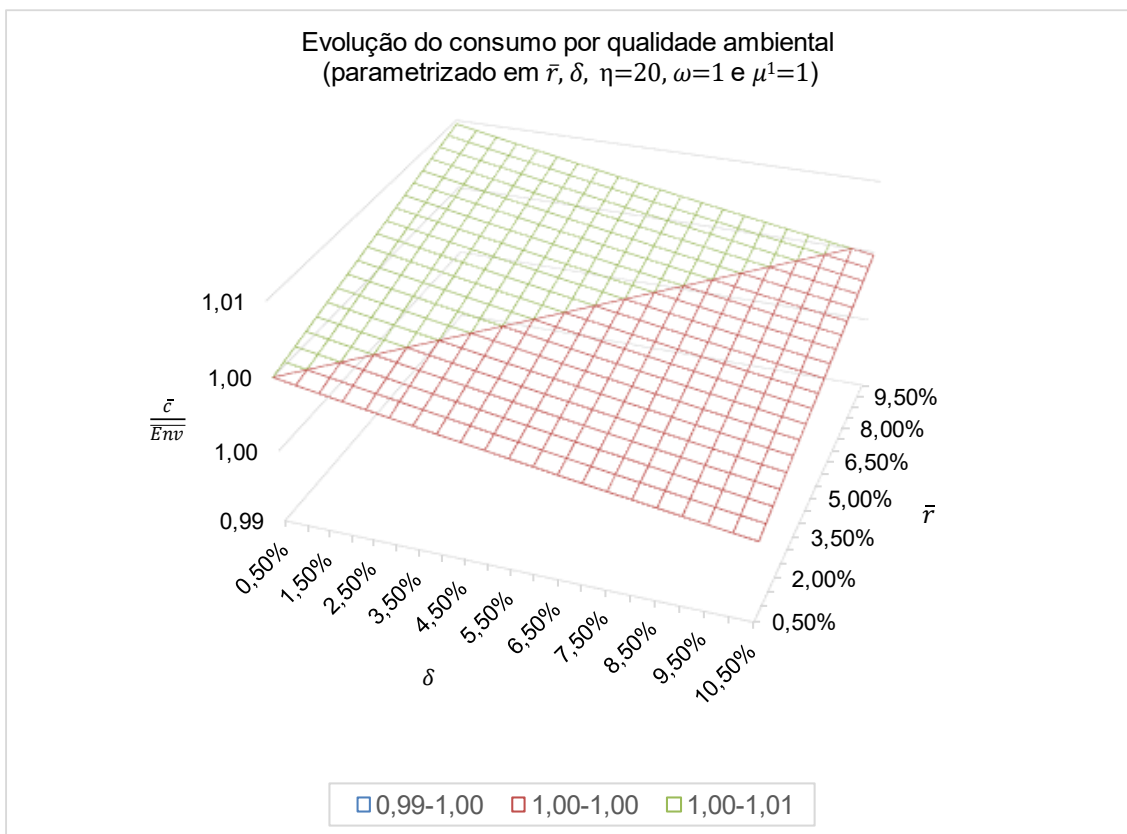


Figura 21: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 20$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 1$)
Fonte: Autor, 2023

A Figura 21 evidencia que um aumento muito substancial da preocupação intergeracional ($\eta = 20$ e $\omega = 1$), tema central desta dissertação, resulta numa superfície de equilíbrio de consumo ambiental a oscilar, novamente, em torno da unidade, mas de um modo muito estável. A superfície do consumo, por qualidade ambiental, para os jovens exibe valores entre 0,99 e 1,01.

Os dois gráficos anteriores (Figuras 20 e 21) calculam e demonstram que a superfície de equilíbrio de consumo, por *stock* ambiental, é muito sensível à degradação ambiental, e, ao mesmo tempo, que um aumento da preocupação intergeracional, face à degradação ambiental, traduz-se numa estabilização do consumo.

Posteriormente, recorrem-se a simulações semelhantes, no entanto, aumenta-se a importância do consumo na utilidade dos jovens ($\mu^1 = 10$). Com esta parametrização, as superfícies de equilíbrio passam a oscilar, ligeira ou fortemente, em torno das 10 unidades de consumo, por qualidade ambiental. Estas demonstrações e respetivas análises encontram-se em Apêndice¹³.

¹³ Vide A.2 (pp. 81, 82, 83 e 84)

9.5 Idosos

Uma vez que os reformados não estão presentes no período seguinte, estamos perante dois cenários. No primeiro, os idosos não querem deixar herança na qualidade ambiental depois de morrerem, consumindo o máximo e ignorando as próximas gerações (sem preocupação intergeracional). No segundo, preocupam-se com as gerações vindouras e interessa-lhes a qualidade do ambiente futura, mesmo não estando presentes para usufruir dela (com preocupação intergeracional). Assim, analisaremos estas duas possibilidades.

9.5.1 Idosos - Sem Preocupação Intergeracional (η)

No que diz respeito aos idosos, estes não podem usufruir, no seu bem-estar, de possíveis benefícios do efeito positivo do consumo, no período $t+1$. E, não existindo preocupação intergeracional, também, não usufruem de melhorias na qualidade ambiental, no período seguinte. Assim, o seu problema de maximização, no período t , é obtido pela utilidade V :

$$\begin{aligned} \max V_t^{old} &= \ln c_t^2 + \ln Env_t & (22) \\ s. a. & \\ c_t^2 &= (1 + r_t)s_{t-1} - m_t \end{aligned}$$

Inserindo a restrição acima na função objetiva, a função de utilidade dos aposentados é a seguinte:

$$V_t^{old} = \ln((1 + r_t)s_{t-1} - m_t) + \ln Env_t \quad (23)$$

Para estimar o nível ótimo de apoio às energias renováveis dos idosos:¹⁴

$$\frac{\partial V_t^{old}}{\partial m_t} = 0 \Leftrightarrow -\frac{1}{c_t^2} < 0 \quad (24)$$

¹⁴ Vide A.3 (p. 85).

Como podemos verificar, o apoio às energias renováveis afeta negativamente o consumo e a utilidade dos idosos, no período t . Estes seriam contra o apoio às energias renováveis e votavam num nível mínimo de m_t , resultando num conflito intergeracional.

9.5.2 Idosos – Com Preocupação Intergeracional (η)

Neste caso assume-se que há preocupação dinástica. Mantém-se o não usufruto do efeito do consumo em $t+1$, todavia, os idosos poderão melhorar o seu bem-estar através do aumento da qualidade ambiental no período seguinte. Então, o problema de maximização, no período t , passa para:

$$\max U_t^{old} = \ln c_t^2 + \ln Env_t + \frac{\eta}{1 + \delta} \ln Env_{t+1} \quad (25)$$

Sujeito a

$$c_t^2 = (1 + r_t)s_{t-1} - m_t$$

$$Env_{t+1} = Env_t - \omega c_t + \pi m_t$$

Inserindo as restrições:

$$U_t^{old} = \ln[(1 + r_t)s_{t-1} - m_t] + \ln Env_t + \frac{\eta}{1 + \delta} \ln(Env_t - \omega c_t + \pi m_t) \quad (26)$$

Para estimar o nível ótimo de apoio às energias renováveis dos aposentados:¹⁵

$$\frac{\partial U_t^{old}}{\partial m_t} = 0 \Leftrightarrow -\frac{1}{c_t^2} + \frac{\pi\eta}{Env_{t+1}(1 + \delta)} = 0 \quad (27)$$

O apoio às energias renováveis afeta negativamente o consumo, no entanto com a introdução do fator preocupação intergeracional, confirma-se que o m afeta positivamente a utilidade dos idosos no período t .

¹⁵ Vide A.4 (p. 86).

Relativamente à qualidade ambiental ótima, conclui-se que aumenta o grau de satisfação do idoso e, a preocupação intergeracional tem um efeito positivo na qualidade ambiental no período t+1.

$$\frac{\partial U_t^{old}}{\partial Env_t} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} + \frac{\eta}{Env_{t+1}(1 + \delta)} = 0 \quad (28)$$

A expressão é idêntica à dos jovens e, por isso, a $TMS_{Env_{t+1}; Env_t}$ tem a mesma interpretação.¹⁶

A fim de estimar o nível ótimo de consumo por parte dos idosos, a sua função de utilidade tem de ser diferenciada em relação a c_t^2 :¹⁷

$$\frac{\partial U_t^{old}}{\partial c_t^2} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{c_t^2} - \frac{\omega\eta}{Env_{t+1}(1 + \delta)} = 0 \quad (29)$$

O consumo tem um efeito positivo na utilidade do idoso, mas tem uma relação negativa na qualidade ambiental no período seguinte.

Introduzindo a expressão relativa à qualidade ambiental ótima, numa situação de *steady state*, obtemos a condição de consumo por qualidade ambiental $\left(\frac{\bar{c}}{\bar{Env}}\right)$:¹⁸

$$\frac{\bar{c}}{\bar{Env}} = -\frac{1}{\omega} \quad (30)$$

Para os resultados terem sempre valores positivos, acrescenta-se uma constante representativa do valor de referência para o consumo dos idosos (μ^2).

$$\left[\frac{\bar{c}}{\bar{Env}}\right]^{old} = -\frac{1}{\omega} + \mu^2 \quad (31)$$

¹⁶ Vide A.2 (p. 79).

¹⁷ Vide A.4 (p. 86).

¹⁸ Vide A.4 (p. 87).

A Figura 27 evidencia o comportamento do consumo por *stock* ambiental ($\frac{\bar{c}}{\bar{Env}}$) perante alterações na degradação ambiental causada pelo consumo dos idosos ($0,1 \leq \omega \leq 20$), consoante quatro cenários ($\mu^2 = 10$; $\mu^2 = 20$; $\mu^2 = 30$; $\mu^2 = 40$).

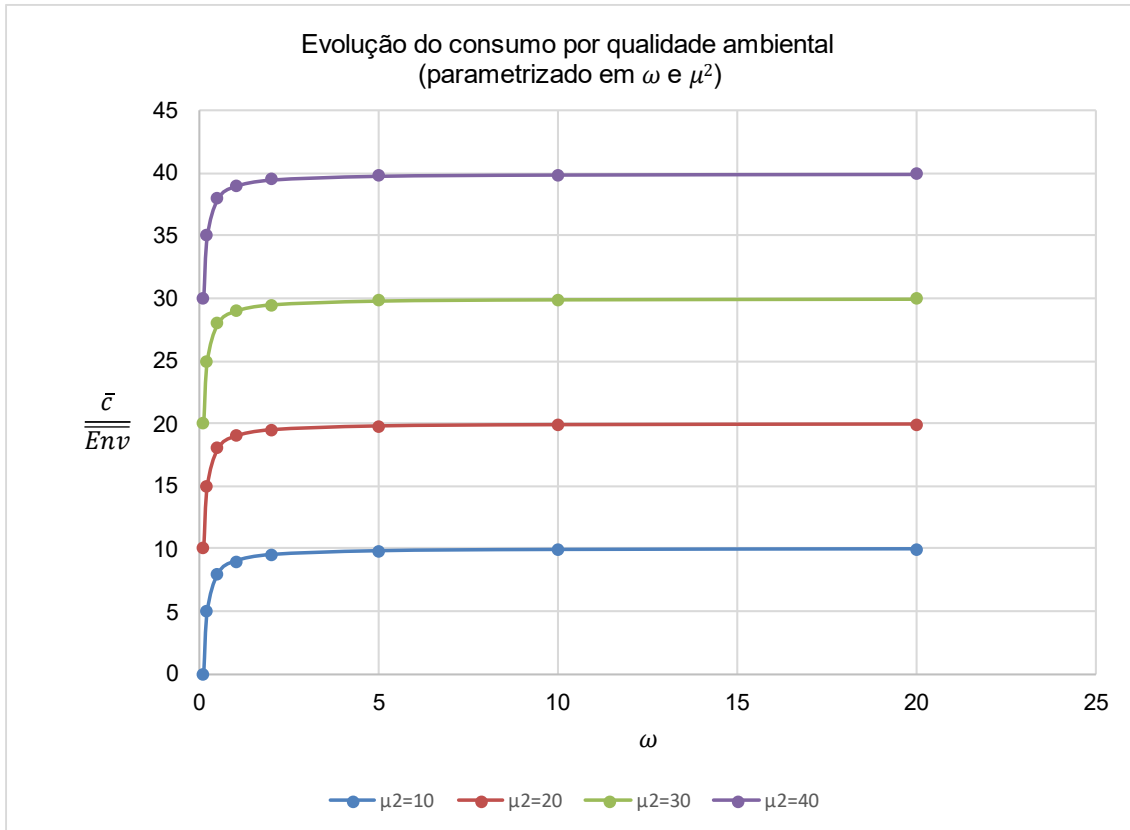


Figura 22: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($0,1 \leq \omega \leq 20$)
 Fonte: Autor, 2023

O consumo dos idosos, por unidade de qualidade ambiental, tende a convergir para o parâmetro médio de *steady state* assumido. Por exemplo, se $\mu^2 = 10$, os valores do consumo convergem para 10, se $\mu^2 = 20$, os valores do consumo convergem para 20 e, assim, sucessivamente. A função representa uma família de hipérbolas retangulares paramétricas em μ^2 . À medida que a degradação ambiental aumenta, o consumo, por qualidade ambiental, também aumenta.

10. Interação Estratégica – Equilíbrios de Nash

Neste capítulo recorre-se à interação estratégica entre as gerações jovem e idosa. Com base na Teoria dos Jogos, a correspondência ótima dos jovens intersetada com a dos idosos resulta numa superfície de equilíbrio de Nash (EN), que uma vez alcançada, ninguém tem incentivos a desviar, considerando uma situação de estratégias puras (Nash, 1950a, 1950b).

Igualando as duas expressões, em função de η (preocupação intergeracional), ficamos com:¹⁹

$$\left[\frac{\bar{c}}{Env} \right]^{young} = \left[\frac{\bar{c}}{Env} \right]^{old} \Leftrightarrow \eta = (-\omega + \mu^*) \frac{\omega(\bar{r} - \delta)}{(1 + \delta)} \quad (32)$$

Com $\mu^2 - \mu^1 = \mu^*$.

As seguintes figuras (23 à 35) contêm superfícies contingentes aos parâmetros do modelo \bar{r} , δ e ω ($0,5\% \leq \bar{r} \leq 10\%$, $0,5\% \leq \delta \leq 10,5\%$, $0,1 \leq \omega \leq 20$ e $\mu^* = 1$ ou $\mu^* = 10$ ou $\mu^* = 20$), respetivamente, taxa de juro real, taxa de desconto intertemporal e o parâmetro de degradação ambiental pelo consumo. Estas superfícies em causa ilustram, em três eixos, a dimensão do *trade-off* temporal entre, a taxa de desconto intertemporal (δ), ou seja, como se avalia o tempo na função de utilidade de cada geração; a taxa de capitalização de mercado (r), que avalia o tempo como custo de oportunidade dos recursos de mercado; e a preocupação intergeracional (η), que avalia como cada geração se preocupa com as outras, ao longo do tempo. A linha preta limita a fronteira de equilíbrio de Nash. O EN é o sub-espaço vetorial gerado entre as duas retas até infinito. Neste caso, os parâmetros limitam a superfície de EN num triângulo. Logo, se \bar{r} e δ crescerem, a superfície de EN acompanha as retas.

Inicialmente, apresentamos o caso em que a geração jovem concede mais importância ao consumo do que a geração idosa, ou seja, quando o diferencial de parâmetros $\mu^2 - \mu^1 = \mu^* < 0$. No nosso caso simulado consideramos $\mu^* = -10$.

¹⁹ Vide A.5 (p. 87).

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=0,5$ e $\mu^*=-10$)

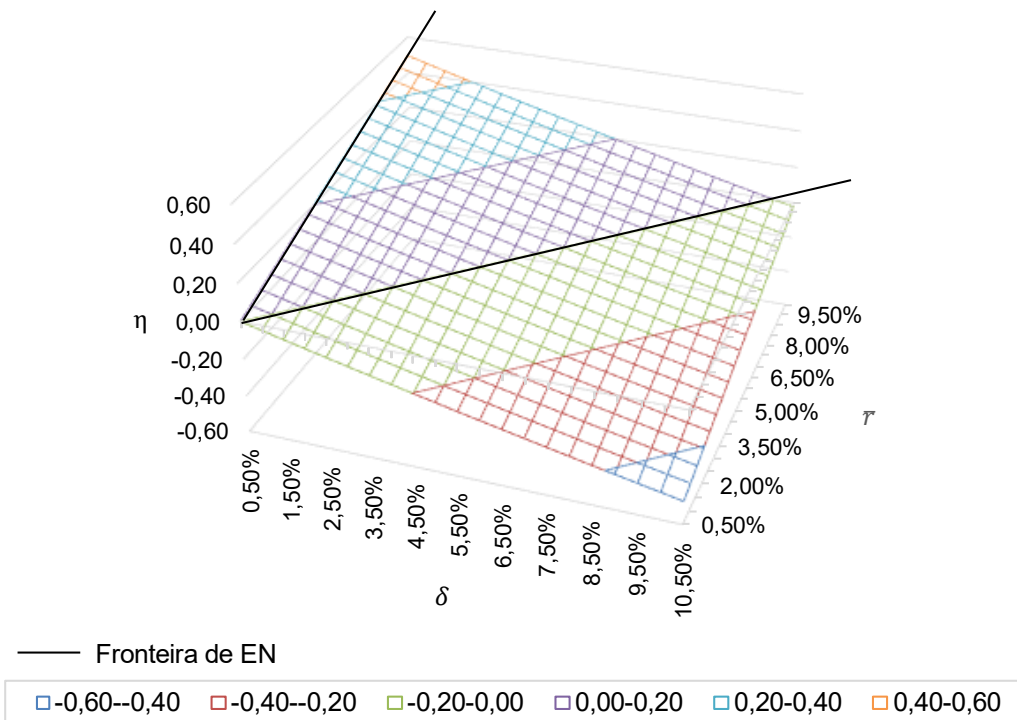


Figura 23: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 0,5$ e $\mu^* = -10$)
Fonte: Autor, 2023

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=1$ e $\mu^*=-10$)

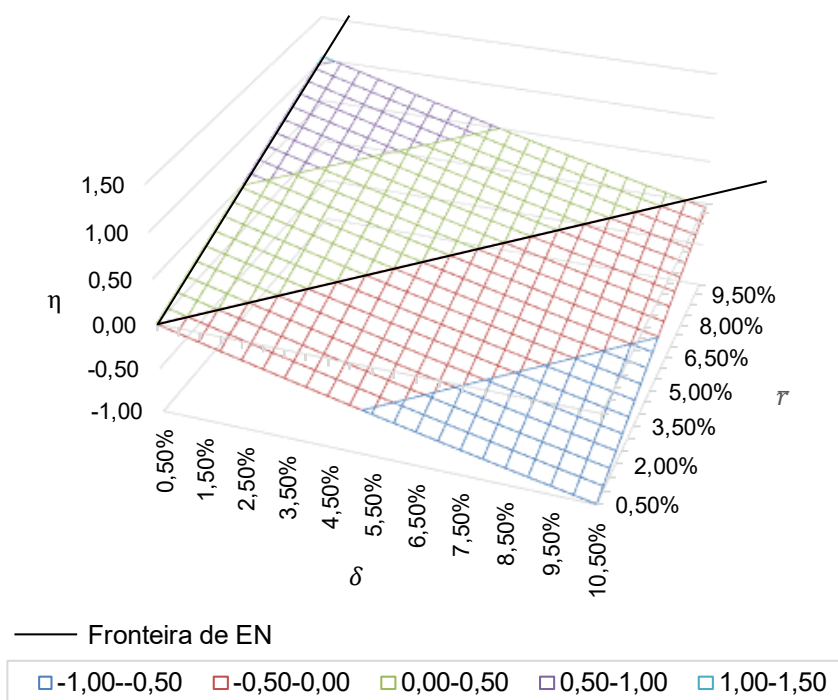


Figura 24: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 1$ e $\mu^* = -10$)
Fonte: Autor, 2023

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=5$ e $\mu^*=-10$)

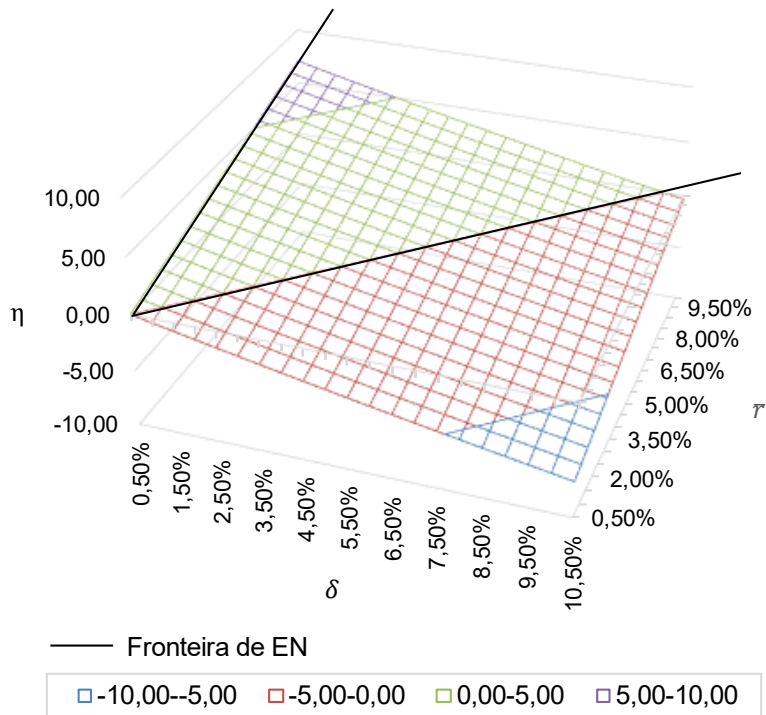


Figura 25: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 5$ e $\mu^* = -10$)
Fonte: Autor, 2023

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=20$ e $\mu^*=-10$)

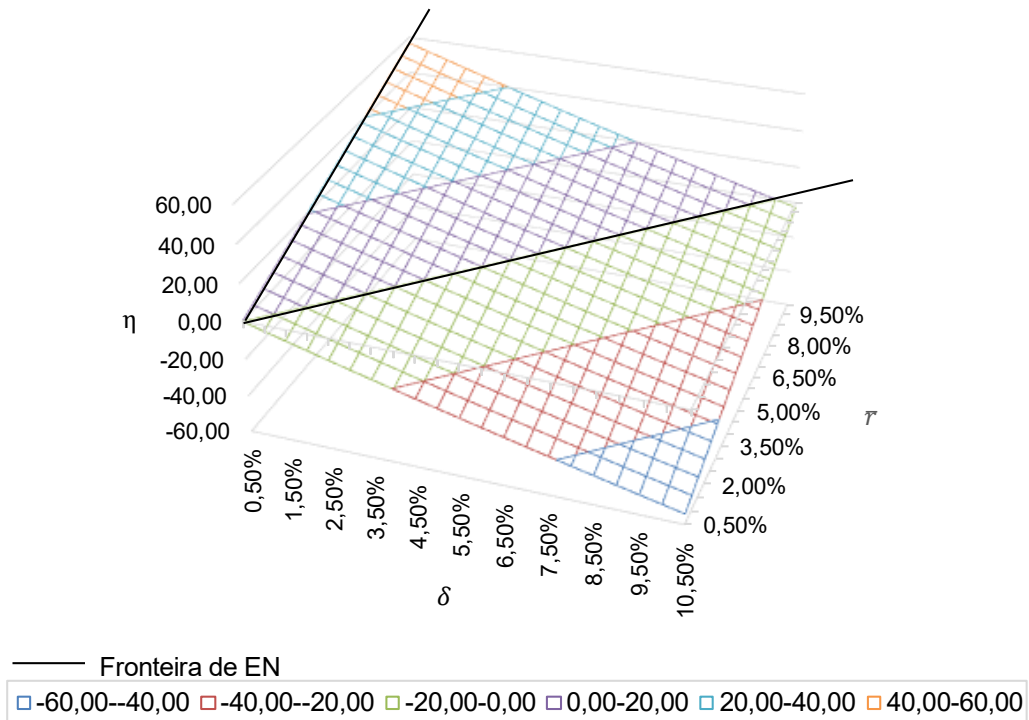


Figura 26: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 20$ e $\mu^* = -10$)
Fonte: Autor, 2023

Nos gráficos anteriores (Figuras 23 à 26) a preocupação intergeracional de EN cresce de modo proporcional com a taxa de juro. Relativamente às duas primeiras figuras, quando a degradação ambiental, causada pelo consumo, assume valores baixos ($0,5 \leq \omega \leq 1$) atinge-se um equilíbrio de Nash sustentável, com a preocupação intergeracional a tomar valores, também, baixos (até 1,5). À medida que os valores da degradação aumentam ($5 \leq \omega \leq 20$), exige-se do modelo um grau de preocupação intergeracional muito superior, chegando até às 60 unidades, como se pode verificar nas simulações anteriores. Note-se, ainda, que a superfície de EN de preocupação intergeracional aumenta, proporcionalmente, com valores baixos da taxa de desconto e elevados da taxa de juro.

No próximo caso, ambas as gerações concedem a mesma importância ao consumo ($\mu^2 - \mu^1 = \mu^* = 0$).

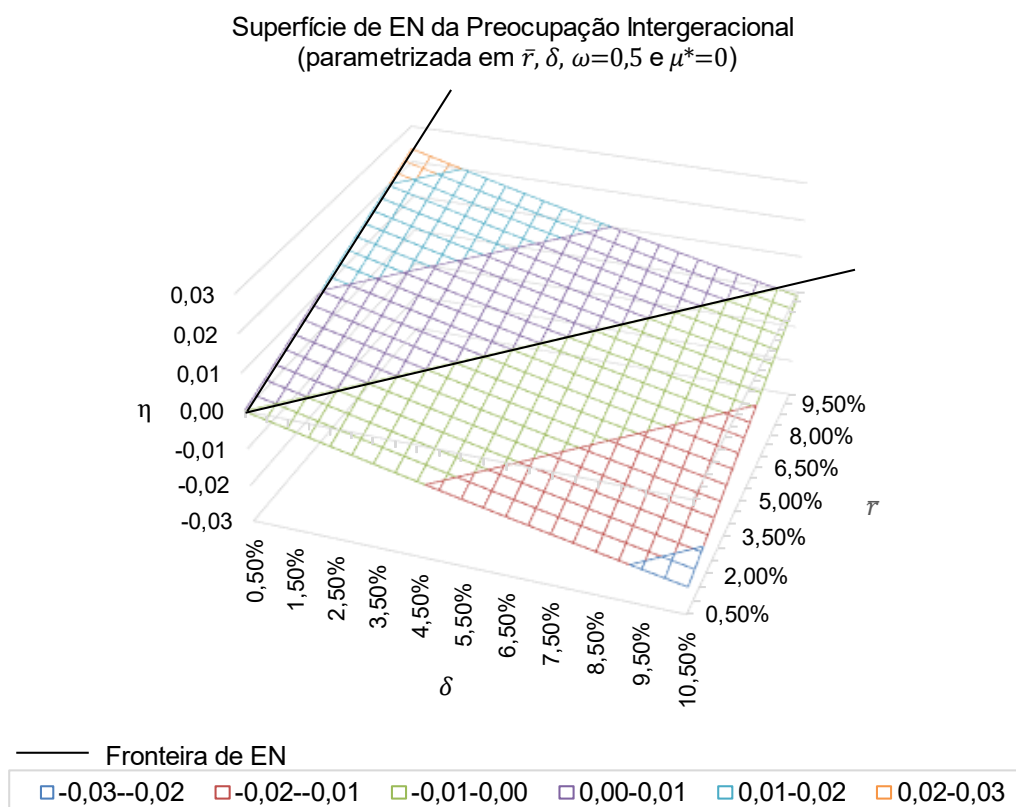


Figura 27: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 0,5$ e $\mu^* = 0$)
Fonte: Autor, 2023

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=1$ e $\mu^*=0$)

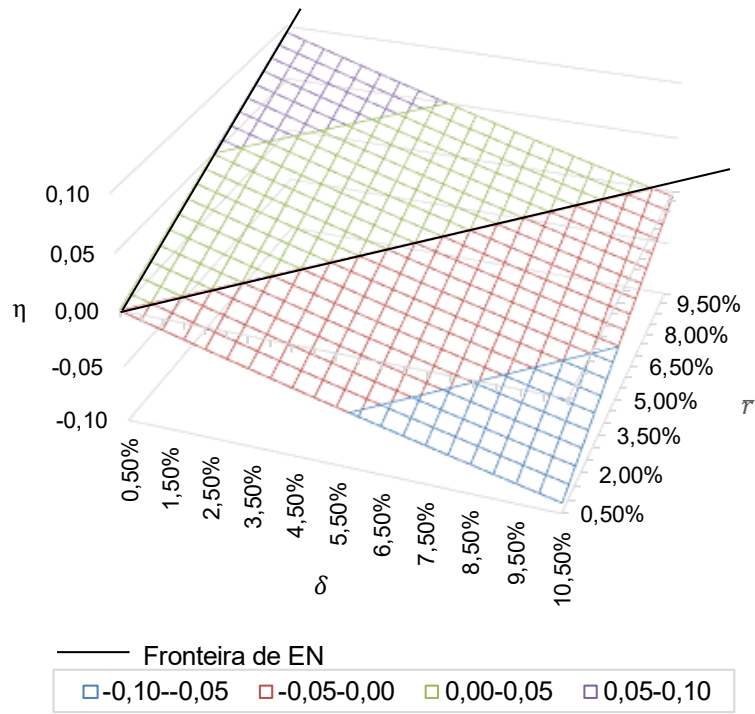


Figura 28: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 1$ e $\mu^* = 0$)
Fonte: Autor, 2023

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=5$ e $\mu^*=0$)

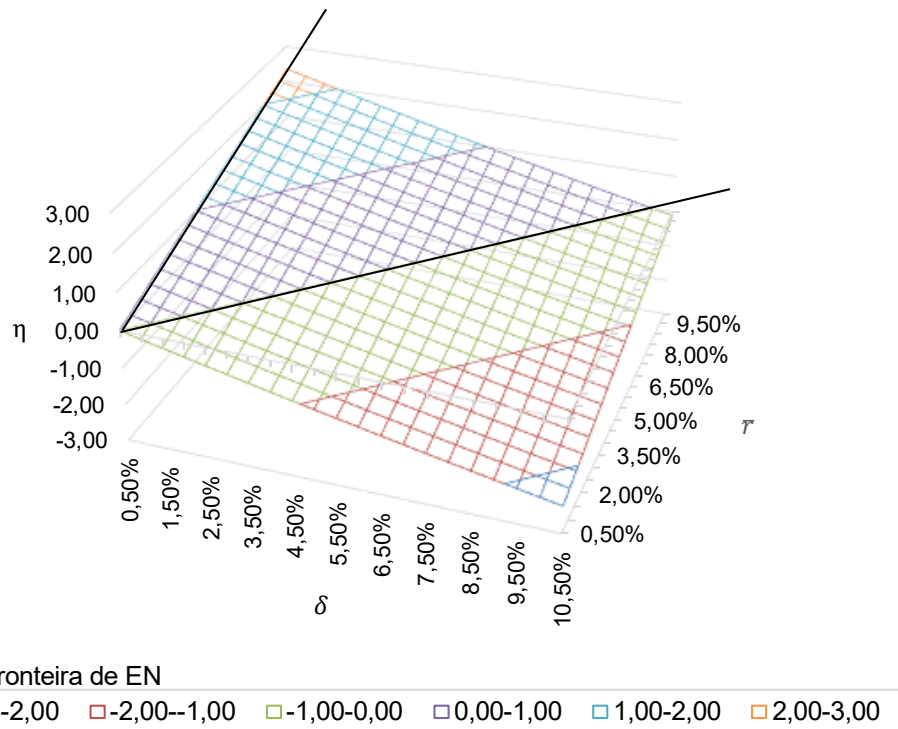


Figura 29: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 5$ e $\mu^* = 0$)
Fonte: Autor, 2023

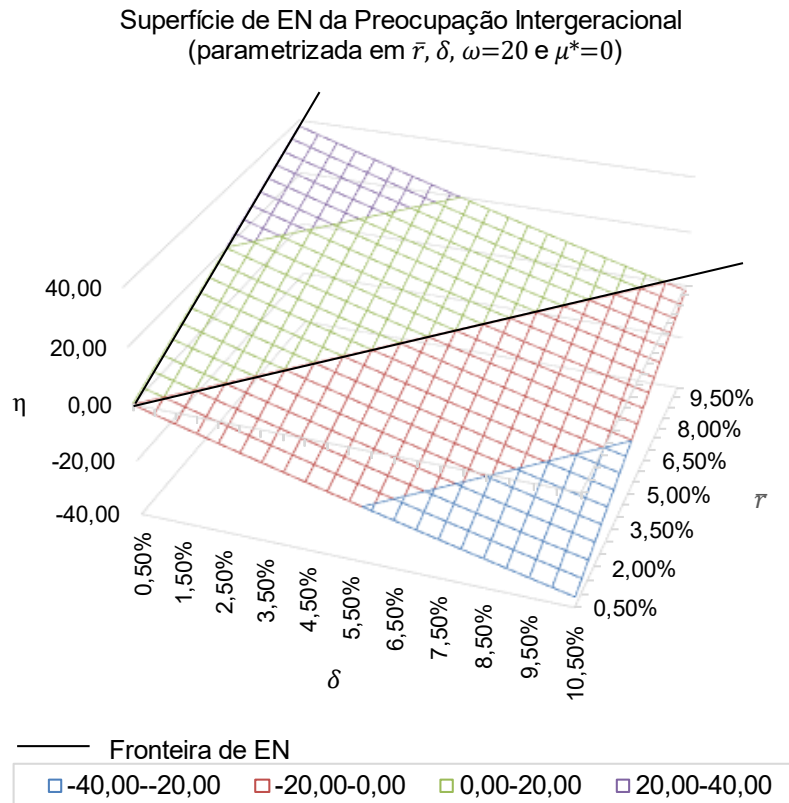


Figura 30: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 20$ e $\mu^* = 0$)
Fonte: Autor, 2023

Os gráficos anteriores (Figuras 27 à 30) carecem de uma análise semelhante à anterior, no sentido em que as superfícies de EN da preocupação intergeracional aumentam, proporcionalmente, com valores elevados da taxa de juro. No entanto, com a diferença que o impacto na preocupação intergeracional é mais reduzido em todos os domínios da parametrização. Ou seja, é como se baixasse toda a simulação, com $\mu^* = 0$, comparativamente a $\mu^* = -10$. O valor atribuído ao consumo, tanto para os jovens, como para os idosos, é idêntico, logo depreende-se que já há alguma concordância entre eles. Isto é, os parâmetros exógenos de consumo, de ambas as gerações, anulam-se por serem coincidentes ($\mu^1 = \mu^2$). Ou seja, há uma dupla coincidência de vontades e a superfície de equilíbrio de Nash é logo mais facilmente atingida. Deste modo, o aumento de μ^* , comparativamente ao caso anterior, e as variações da degradação ambiental de 0,5, 1, 5 e 20, fazem com que o equilíbrio do parâmetro de interesse (preocupação intergeracional) oscile entre valores máximos de 0,03, 0,1, 3 e 40, respetivamente, como se pode observar nas figuras anteriores.

Finalmente, apresentamos o caso em que os idosos concedem mais importância ao consumo do que os jovens ($\mu^2 - \mu^1 = \mu^* > 0$). No caso simulado considera-se $\mu^* = 10$.

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=0,5$ e $\mu^*=10$)

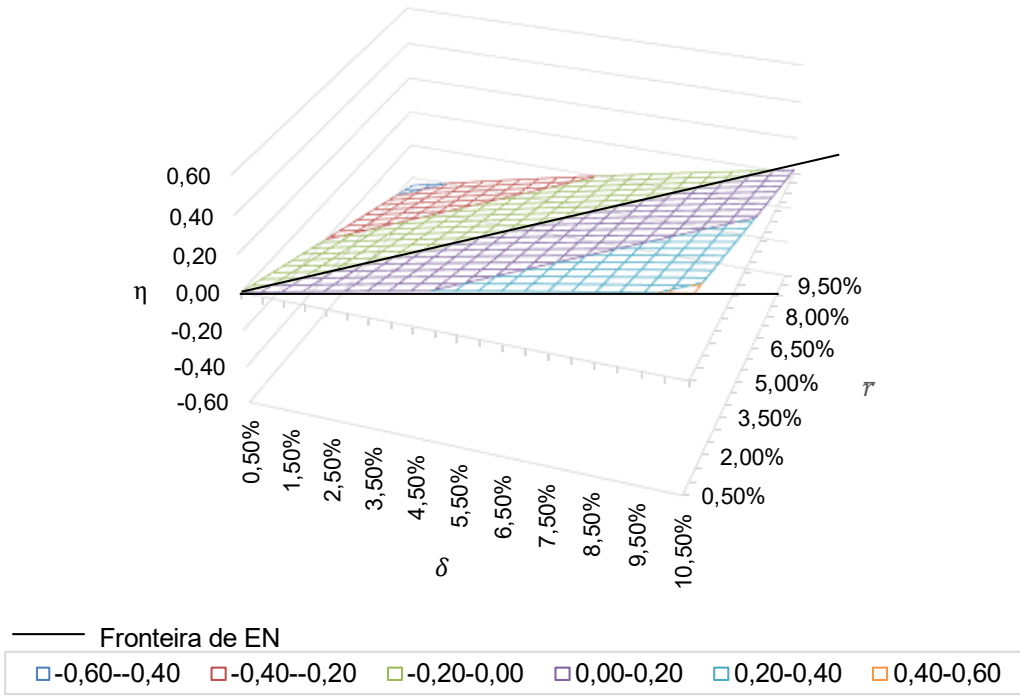


Figura 31: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 0,5$ e $\mu^* = 10$)
Fonte: Autor, 2023

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=1$ e $\mu^*=10$)

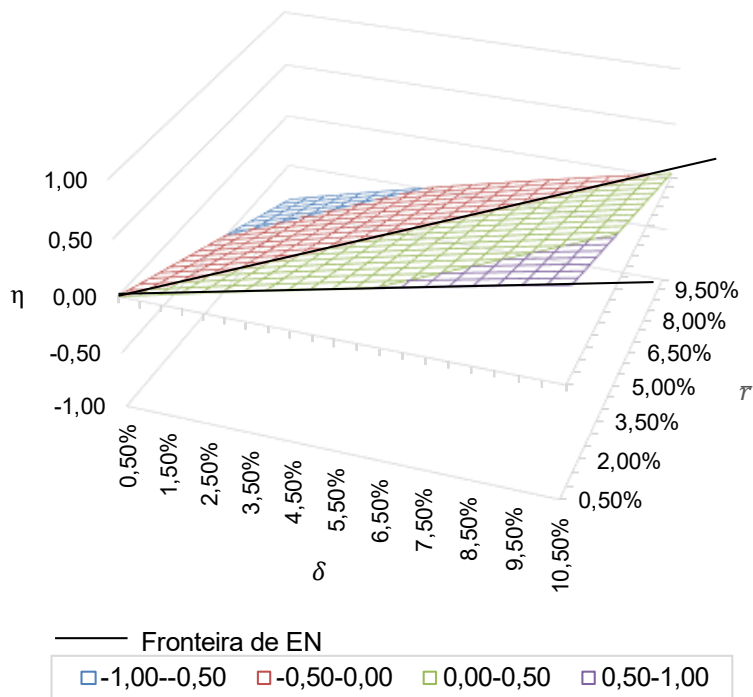


Figura 32: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 1$ e $\mu^* = 10$)
Fonte: Autor, 202

Superfície de EN da Preocupação Intergeracional
(parametrizada em \bar{r} , δ , $\omega=5$ e $\mu^*=10$)

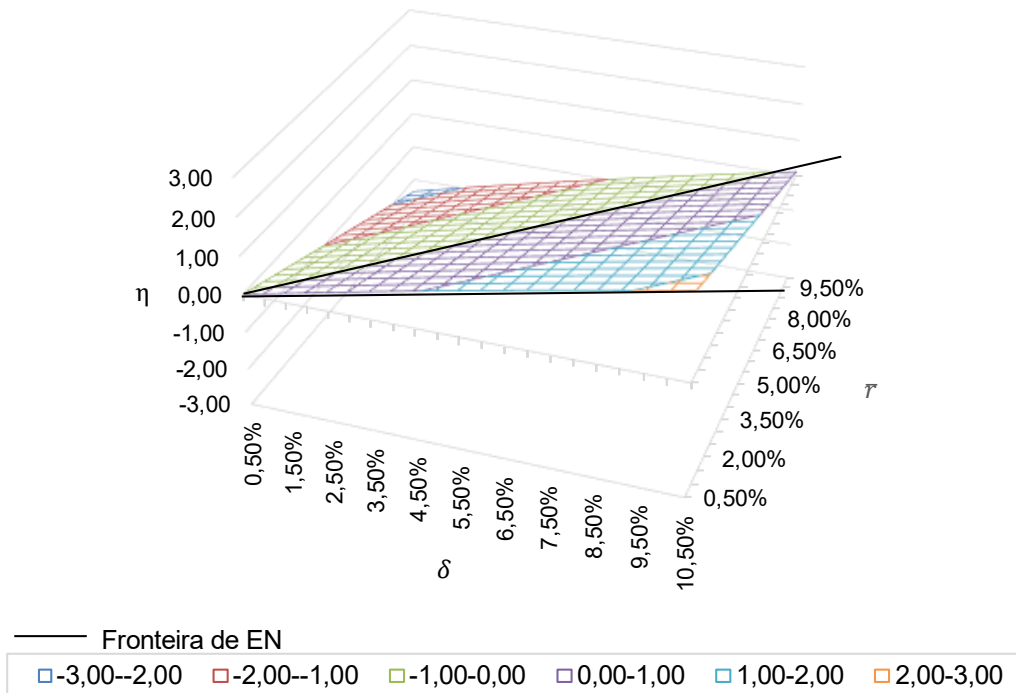


Figura 33: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 5$ e $\mu^* = 10$)
Fonte: Autor, 2023

Nas Figuras 31 à 33 verificamos que, ao invés das superfícies de EN anteriores (Figuras 23 à 30), estas apresentam uma superfície com declive diretamente proporcional a valores elevados de taxa de desconto intertemporal, e a valores mais baixos de taxa de juro. Com $\mu^* = 10$ os valores da preocupação intergeracional de equilíbrio são de 0,6, 1 e 3, consoante o aumento do nível de degradação ambiental (0,5, 1 e 5, respetivamente).

Um resultado diferente aos anteriores prende-se com a parametrização da superfície atingida na Figura 34 ($\omega = 20$). No qual a degradação ambiental excede o parâmetro do consumo, e a superfície de EN ganha um perfil, exatamente, igual ao das simulações com $\mu^* = -10$ ou $\mu^* = 0$. Assim, exige-se um nível, consideravelmente, elevado de preocupação intergeracional, para que exista desenvolvimento sustentável.

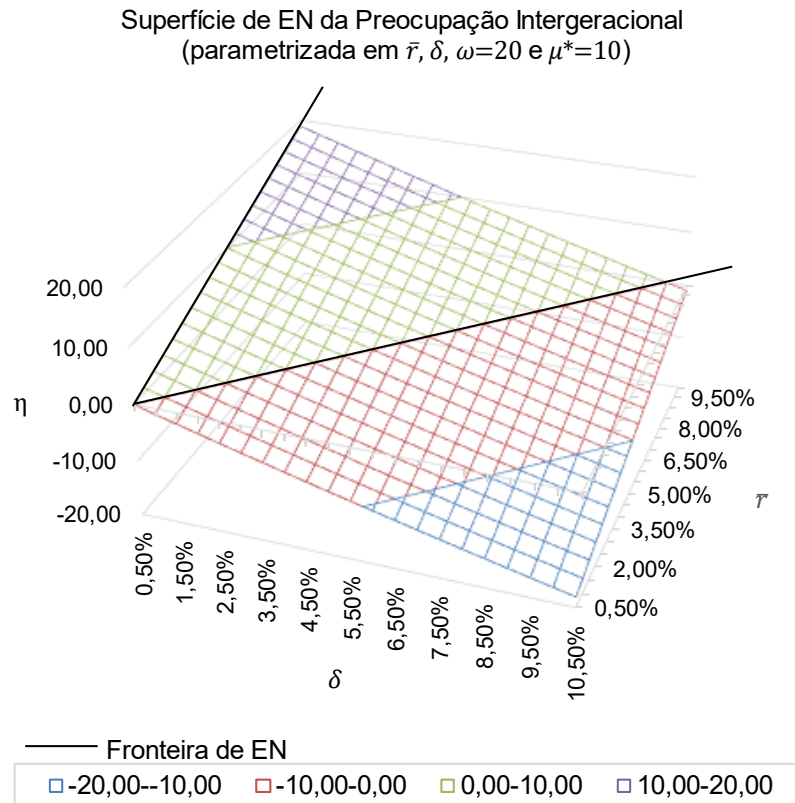


Figura 34: Superfície de EN da Preocupação Intergeracional ($\omega = 20$ e $\mu^* = 10$)
 Fonte: Autor, 2023

Sempre que a degradação ambiental, causada pelo consumo, aumenta, a preocupação intergeracional também terá de aumentar para equilibrar o nível de *stock* ambiental no período seguinte.

11. Discussão dos Resultados

Ex ante, Udalov (2018), com base no modelo OLG, sugerido por John e Pecchenino (1994), apresenta um modelo com referência à votação político-económica, ao nível do apoio às energias renováveis (m). Uma vez que jovens e idosos vivem no mesmo período, têm de decidir, simultaneamente, sobre as suas contribuições para o apoio às energias renováveis. O autor apresenta uma tabela referente aos efeitos e nível preferencial de apoio às energias renováveis.

Tabela 5: Resumo dos efeitos e nível preferencial de apoio às energias renováveis sem preocupação intergeracional

	Idosos	Jovens
Efeito em c_t	< 0	< 0
Efeito em Env_{t+1}	n.a.	> 0
Efeito em c_{t+1}	n.a.	> 0 se $\left((1 - \gamma)(1 - \alpha - \beta) > \frac{(1+r_{t+1})m_t}{r_{t+1}s_t} \right)$
Votação em m_t	= 0	$m_t^{young} \geq m_t^{old}$

Fonte: (Udalov, 2018). Adaptado pelo Autor, 2023

n.a.= não aplicável

Como se pode observar na Tabela 5, para os jovens, o apoio às energias renováveis tem um efeito positivo no consumo do período seguinte, se a elasticidade da produção de energias renováveis for maior do que o rácio dos custos de oportunidade das mesmas, isto é, no sentido da perda de consumo, no período seguinte. Uma vez que os efeitos a longo prazo são descontados ao seu valor atual, o resultado da votação dos indivíduos jovens é sensível a alterações na taxa de desconto, pois esta representa a preferência intertemporal do indivíduo. Uma taxa de desconto mais elevada aumenta as preferências para o presente e tem um efeito negativo sobre o nível de apoio às energias renováveis (Udalov, 2018).

Por outro lado, para os idosos, o apoio às energias renováveis afeta negativamente o consumo e a sua utilidade no período atual, pois não há preocupação intergeracional. Sendo assim, estes não apresentarão qualquer apoio às energias renováveis. Através dos resultados obtidos, cada geração na sociedade tem preferências distintas relativamente ao nível de apoio às energias renováveis, o que resultará num conflito intergeracional entre as gerações presentes (Udalov, 2018).

Ex post, com a introdução da nova variável (preocupação intergeracional), a qualidade ambiental no período seguinte passa a ser incluída na função de utilidade dos idosos.

Posto isto, as escolhas / preferências sofrerão alterações, comparativamente ao modelo proposto por Udalov.

Através da $TMS_{Env_{t+1};Env_t}$ - taxa à qual um indivíduo abdica da qualidade ambiental no presente em troca da qualidade ambiental no futuro -, tanto para os jovens como para os idosos, percebe-se que quanto maior a preocupação intergeracional e menor a taxa de desconto intertemporal, mais importância (um indivíduo) concederá à qualidade ambiental no período seguinte.

Posteriormente, recorreu-se a simulações determinísticas de superfícies de equilíbrio, no Excel, para analisar a evolução do consumo, por qualidade ambiental, para as duas gerações.

Relativamente aos jovens, note-se que para garantir o equilíbrio de *steady state*, assumindo um nível baixo de consumo, por *stock* ambiental, tem de haver uma taxa de desconto elevada e uma baixa taxa de juro. As superfícies dos gráficos demonstram que a superfície de equilíbrio de consumo, por qualidade ambiental, é muito sensível à degradação ambiental, e, ao mesmo tempo, que um aumento da preocupação intergeracional, face à degradação ambiental, traduz-se numa estabilização do consumo. Pode-se retirar, ainda, que com o aumento da importância do consumo na utilidade dos jovens podemos verificar que os valores do consumo, por qualidade ambiental, aumentam.

Quanto aos idosos, o consumo, por unidade de qualidade ambiental, tende a convergir para o parâmetro médio de *steady state* assumido. Por exemplo, se $\mu^2 = 10$, os valores do consumo convergem para 10, se $\mu^2 = 20$, os valores do consumo convergem para 20 e, assim, sucessivamente. A função representa uma família de hipérbolas retangulares paramétricas em μ^2 . À medida que a degradação ambiental aumenta, o consumo, por degradação ambiental, também aumenta.

Numa situação de interação estratégica, com base na Teoria dos Jogos, em que as preferências de ambas as gerações são incluídas, simularam-se várias superfícies de equilíbrio de Nash relativas à preocupação intergeracional. Num primeiro caso, em que os jovens concedem maior importância ao consumo do que os idosos, verificou-se que a preocupação intergeracional de EN cresce de modo proporcional com a taxa de juro, e quando a degradação assume valores baixos, obtém-se um EN sustentável com a preocupação intergeracional a tomar valores baixos. À medida que a degradação aumenta, exige-se do modelo um nível de preocupação intergeracional muito superior, em equilíbrio.

Quando ambas as gerações valorizam igualmente o consumo, os parâmetros exógenos de consumo, de ambas as gerações, são coincidentes. Ou seja, há uma dupla coincidência de vontades e a superfície de equilíbrio de Nash é mais facilmente alcançada.

No caso em que os idosos valorizam mais o consumo do que os jovens, verificamos que, ao invés das outras superfícies de EN, esta superfície tem um declive diretamente proporcional à taxa de desconto intertemporal e a valores baixos de taxas de juro. No entanto, quando a degradação ambiental excede o parâmetro do consumo, a superfície de EN passa a acompanhar a taxa de juro. Deste modo exige-se um nível consideravelmente elevado de preocupação intergeracional. Sempre que a degradação ambiental, provocada pelo consumo, aumenta, a preocupação intergeracional também terá de aumentar, para equilibrar o nível de *stock* ambiental do período seguinte.

De referir, ainda, que o caso no qual a superfície de EN, relativa à preocupação intergeracional, atinge maiores valores é quando os jovens atribuem maior importância ao consumo do que os idosos.

Para auxiliar as contribuições da preocupação intergeracional, a Tabela 6 apresenta os seus efeitos na qualidade ambiental e no consumo, para o período seguinte, bem como, no apoio às energias renováveis, no mesmo período.

Tabela 6: Resumo dos efeitos da preocupação intergeracional em steady state

	Idosos	Jovens
Efeito em Env_{t+1}	> 0	> 0
Efeito em c_{t+1}	n.a.	< 0
Efeito em m_t	> 0	> 0

Fonte: Autor, 2023

n.a.= não aplicável

Como se pode observar na tabela anterior, a preocupação intergeracional provoca um efeito positivo no apoio às energias e na qualidade ambiental, para ambas as gerações. Relativamente ao consumo, no período seguinte (apenas para os jovens, pois os idosos não poderão usufruir de consumos no período seguinte, pelo facto de já não se encontrarem presentes), a preocupação intergeracional tem efeito negativo. Isto significa que o aumento da preocupação intergeracional provoca uma quebra no consumo, aumenta o apoio às energias renováveis e, conseqüentemente, originará melhorias na qualidade ambiental.

Posto isto, apresentar-se-á uma tabela semelhante à Tabela 5, mas com a preocupação intergeracional já incluída para análise.

Tabela 7: Resumo dos efeitos e nível preferencial de apoio às energias renováveis com preocupação intergeracional

	Idosos	Jovens
Efeito em c_t	< 0	< 0
Efeito em Env_{t+1}	> 0	> 0
Efeito em c_{t+1}	n.a.	> 0 se $\left((1 - \gamma)(1 - \alpha - \beta) > \frac{(1+r_{t+1})m_t}{r_{t+1}s_t} \right)$
m_t	≥ 0	≥ 0

Fonte: Autor, 2023

n.a.= não aplicável

Como se pode observar na Tabela 7, a introdução do novo parâmetro, leva a que o efeito positivo do apoio às energias renováveis seja considerado, também, pelos idosos. Logo, a contribuição em apoio às energias renováveis deixa de ser nula, para os idosos. Deste modo, reverte-se o cenário de conflito intergeracional sugerido por Udalov, pois as contribuições quer de idosos, quer de jovens poderão ser positivas, aumentando a possibilidade de atingir sustentabilidade ambiental, pelo simples facto de a preocupação intergeracional estar presente nas preferências dos indivíduos.

Secção IV – Conclusões

12. Conclusão

Com a introdução de uma nova variável (preocupação intergeracional), apresentamos uma nova função de utilidade que se traduz em novas preferências para os idosos, comparativamente ao modelo proposto por Udalov (2018). Recorrendo a simulações determinísticas, podemos analisar a evolução do consumo, por qualidade ambiental, numa situação de *steady state*, para as gerações jovem e idosa. É importante salientar que as simulações das superfícies de Nash, apesar de determinísticas, são contingentes a parâmetros razoáveis da realidade (logo, serão calibráveis), nas quais fazemos alterações na taxa de desconto intertemporal, taxa de juro, degradação ambiental, e preocupação intergeracional.

Concluimos que, para toda a sociedade, segundo a TMS entre a qualidade ambiental presente e futura, uma taxa de desconto intertemporal baixa traduz-se na diminuição do consumo, *ceteris paribus*, reforçando a posição de vários autores. Nomeadamente Udalov, em que uma taxa de desconto mais elevada aumenta as preferências para o presente e tem um efeito negativo sobre o nível de apoio às energias renováveis (Udalov, 2018); Stern que defende uma política com uma taxa de desconto bastante baixa (Stern, 2007); Geoffrey Heal, que também, assinala o papel fundamental da sua escolha adequada (Heal, 2017); bem como, Brekke e Johansson-Stenman, que aconselham escolher uma taxa de desconto social (consideravelmente) mais baixa do que o retorno médio da despesa produtiva, isto é, investimento (Brekke & Johansson-Stenman, 2008).

Os gráficos simulados para os jovens demonstram que a superfície de equilíbrio de consumo, por qualidade ambiental, é muito sensível ao grau de degradação, e que um aumento da preocupação intergeracional, face à degradação ambiental, traduz-se numa estabilização do consumo. Este resultado seria expectável, no entanto, contribui para demonstrar a robustez do modelo. Depreende-se, ainda, que com o aumento da importância do consumo na utilidade dos jovens, os valores do consumo por qualidade ambiental aumentam.

Relativamente aos idosos, a preocupação intergeracional fez com que concedessem importância à qualidade ambiental, no período seguinte, mesmo não estando presentes para usufruir dela. Ou seja, com a introdução da variável de interesse, existe maior probabilidade de deixarem herança ambiental para as gerações vindouras, consoante

os *trade-offs* entre o nível de consumo e de preocupação intergeracional. Através das simulações que demonstram a evolução do consumo, por qualidade ambiental, verificou-se que tende a convergir para o grau de importância concedida ao consumo pela geração. A degradação ambiental tem uma relação de proporcionalidade direta com o consumo.

Posteriormente, com recurso à Teoria dos Jogos, apresentamos situações de interação estratégica entre ambas as gerações. A correspondência ótima dos jovens intersetada com a dos idosos origina uma superfície de equilíbrio de Nash, que uma vez alcançada, ninguém tem incentivos a desviar (Nash, 1950a, 1950b).

A superfície de EN, relativa à preocupação intergeracional, atinge maiores valores quando os jovens dão maior importância ao consumo do que os idosos. Neste caso verificou-se que a preocupação intergeracional de EN aumenta proporcionalmente com a taxa de juro, e quando a degradação assume valores baixos alcança-se um EN sustentável com a preocupação intergeracional a tomar, também, valores baixos, numa situação de equilíbrio.

Quando ambas as gerações valorizam por igual o consumo, depreende-se que já há alguma concordância entre eles, isto é, os parâmetros exógenos de consumo, de ambas as gerações, anulam-se por serem coincidentes. Ou seja, há uma dupla coincidência de vontades e a superfície de equilíbrio de Nash é mais facilmente atingida.

No caso em que os idosos valorizam mais o consumo do que os jovens, verifica-se que, ao invés das outras superfícies de EN, esta tem um declive diretamente proporcional à taxa de desconto intertemporal, e inversamente proporcional à taxa de juro. No entanto, quando a degradação ambiental excede o parâmetro do consumo, a superfície de EN passa a ter uma relação positiva com a taxa de juro. Deste modo, exige-se um nível consideravelmente elevado de preocupação intergeracional, para que exista desenvolvimento sustentável. Sempre que a degradação ambiental, causada pelo consumo aumenta, a preocupação intergeracional também terá de aumentar, para equilibrar o nível de *stock* ambiental no período seguinte. Este é um resultado válido e interessante, não só porque corrobora a importância da degradação imediata do consumo, mas também porque evidencia o facto de a preocupação intergeracional ser a ponte de equilíbrio para situações de degradação extrema.

Com a aplicação deste novo cenário, evitava-se o conflito intergeracional sugerido por Udalov, pois as contribuições, quer de idosos, quer de jovens, poderão ser positivas, aumentando a possibilidade de atingir sustentabilidade ambiental. No entanto, o facto de toda a sociedade se preocupar com a qualidade ambiental futura, poderia aumentar

a percentagem de condescendência dos indivíduos, diminuindo as preocupações, por pensarem que todos agem em concordância, remetendo-nos para o *free-riding*. Assim, de forma a combater este fenómeno indesejado, teríamos de baixar o prémio de deserção, como demonstramos, recorrendo à Teoria dos Jogos evolucionista, de modo a comprometer a sociedade a cooperar entre todos. Não só para beneficiar os presentes, mas também, para deixar herança ambiental para os próximos, que terão os mesmos direitos, do que os presentes, a usufruir do nosso planeta. Posto isto, a preocupação intergeracional seria fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental, colocada em causa pela degradação provocada pelo consumismo.

Se as causas das alterações climáticas são antropogénicas, então, terá de ser a sociedade humana a reverter esta situação indesejada, segundo os diagnósticos presentes em Hardin (1968), que remetem para o problema da sobre-exploração de recursos. No entanto, a solução terá de tomar proporções globais.

O Teorema de Coase (1960), que remete para internalizar as externalidades, o imposto de Pigou (1920) e o princípio do poluidor-pagador são soluções viáveis. No entanto, as soluções de curto, médio e longo prazo passam, inevitavelmente, por uma maior preocupação intergeracional, num contexto de modelos OLG. Ou seja, a preocupação dinástica é crucial e pode ser o fator-resolução do problema global / holístico.

Esta dissertação é, assim, um modo de empoderamento das gerações vindouras, pois o seu conhecimento e disseminação permite, aos jovens, decidir conscientemente o seu próprio futuro e, também, o da humanidade, considerando as alterações climáticas, as suas causas antropogénicas, bem como a Economia.

13. Limitações da Análise e Perspetivas Futuras

Esta dissertação apresenta algumas limitações que podem ser consideradas como uma oportunidade para uma investigação futura. Primeiro, simulou-se um modelo determinístico linear e, numa situação futura, pretende-se abordar este tema com choques estocásticos. Por outro lado, restringimo-nos a simulações contingentes aos valores do modelo no ortante positivo e calculamos a superfície / correspondência de equilíbrio de Nash. Futuramente, considera-se relevante o cálculo da trajetória de ajustamento para *steady state*.

Outra limitação prende-se com o facto de assumirmos a mesma preocupação intergeracional, variável de interesse, tanto para os jovens, como para os idosos. Será uma extensão, válida e interessante, estender a diferentes parâmetros de preocupação intergeracional para ambas as gerações. Por exemplo, a preocupação intergeracional, poderia ser modelada como um parâmetro de aprendizagem ao longo do jogo, isto é, com Teoria dos Jogos evolucionista. Os agentes aprenderiam a jogar cada vez melhor, com alterações na variável de interesse, levando por certo, à reversão do ecocídio.

Ademais, há uma outra dimensão oculta na vaga das alterações climáticas, referente aos princípios da subsidiariedade, da permanência, e da precaução. Isto é, o facto de as alterações climáticas, serem, também, associadas a uma crise de biodiversidade, que está para além do âmbito desta dissertação, mas que é um ponto que estamos conscientes de que deverá ser, posteriormente, abordado, fazendo referência a *The Economics Biodiversity: the Dasgupta Review* (2021).

Secção V – Elementos Pós-textuais

14. Referências Bibliográficas

Allais, M. (1947). *Economie et Intérêt*. Imprimerie Nationale. <https://pt.book.xyz/book/8486973/15ef25>

Andreoni, J. (1990). Impure Altruism and Donations to Public Goods: A Theory of Warm-Glow Giving. *The Economic Journal*, 100(401), 464–477. <https://doi.org/10.2307/2234133>

Aumann, R. J. (1995). Backward Induction and Common Knowledge of Rationality. *Games and Economic Behavior*, 8(1), 6–19. [https://doi.org/10.1016/S0899-8256\(05\)80015-6](https://doi.org/10.1016/S0899-8256(05)80015-6)

Babu, P. G., Kumar, K. S. K., & Murthy, N. S. (1997). An Overlapping Generations Model with Exhaustible Resources and Stock Pollution. *Ecological Economics*, 21(1), 35–43. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00089-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00089-4)

Baumeister, R. F. (1998). The Self. Em *Advanced social psychology: The state of the science* (pp. 139–175). Oxford University Press.

Becker, G., & Barro, R. (1986). *A Reformulation of the Economic Theory of Fertility* (NBER Working Paper N.º 1793). National Bureau of Economic Research, Inc. <https://econpapers.repec.org/paper/nbrnberwo/1793.htm>

Becker, G. S. (1976). Altruism, Egoism, and Genetic Fitness: Economics and Sociobiology. *Journal of Economic Literature*, 14(3), 817–826.

Becker, G. S. (1996). *Accounting for Tastes*. Harvard University Press.

Blanchard, O., & Fischer, S. (1989). *Lectures on Macroeconomics* (F First Edition). The MIT Press.

Brekke, K. A., & Johannsson-Stenman, O. (2008). The Behavioural Economics of Climate Change. *Oxford Review of Economic Policy*, 24(2), 280–297.

Busch, J. (2015). *Climate Change and Development in Three Charts*. Center for Global Development | Ideas to Action. <https://www.cgdev.org/blog/climate-change-and-development-three-charts>

Caleiro, A. B., De Sousa, M. R., & de Oliveira, I. A. (2019). Global Development and Climate Change: A Game Theory Approach. Em T. Sequeira & L. Reis (Eds.), *Climate*

- Change and Global Development: Market, Global Players and Empirical Evidence* (pp. 17–35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02662-2_2
- Carapeto, C., Alves, F. L., & Caeiro, S. (1998). *Educação Ambiental*. Universidade Aberta. <https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/10616>
- Carraro, C., & Siniscalco, D. (1993). Strategies for the International Protection of the Environment. *Journal of Public Economics*, 52(3), 309–328. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(93\)90037-T](https://doi.org/10.1016/0047-2727(93)90037-T)
- Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics*, 3, 1–44.
- Coleman, J. S., & Fararo, T. J. (Eds.). (1992). *Rational Choice Theory: Advocacy and Critique*. Sage Publications.
- Cournot, A. A. (1838). *Researches Into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. Macmillan.
- De Sousa, M. R. (2022). Alterações Climáticas: Desafio Global de Longo Prazo, Soluções Locais e Globais do Curto ao Longo Prazo. Em M. Collares-Pereira, *Desenvolvimento Sustentável – Verdade e Consequências*. Documenta.
- DeCanio, S. J., & Fremstad, A. (2013). Game Theory and Climate Diplomacy. *Ecological Economics*, 11.
- Diamond, P. A. (1965). National Debt in a Neoclassical Growth Model. *The American Economic Review*, 55(5), 1126–1150.
- Ferreira, P. M. (2017). *Alterações Climáticas e Desenvolvimento*. <https://2013-2021sinergiased.org/index.php/revista/item/186-aprendizagens-no-dialogo-entre-o-local-e-o-global-que-caminhos-para-as-escolas>
- Fudenberg, D., & Tirole, J. (1991). *Game Theory* (~<https://pt1lib.org/book/460925/4d9edf>). The MIT Press.
- Gardiner, S. M. (2006). A Perfect Moral Storm: Climate Change, Intergenerational Ethics and the Problem of Moral Corruption. *Environmental Values*, 15(3), 397–413.
- Giocoli, N. (2008). Reaction Curves. *Famous Figures and Diagrams in Economics*, 137–144.
- Godelier, M. (1999). *The Enigma of the Gift* (N. Scott, Trad.; 2nd edition). University of Chicago Press.

- Goodwin, N., Harris, J., Nelson, J., Roach, B., Torras, M., & Joshi Rajkarnikar, P. (2006). *Macroeconomics in Context*. Copyright. <https://doi.org/10.4324/9781003251521>
- Gore, T. (2015). *Extreme Carbon Inequality: Why the Paris climate deal must put the poorest, lowest emitting and most vulnerable people first*.
- Guterres, A. (2017, maio 30). “CLIMATE ACTION: MOBILIZING THE WORLD”. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2017/05/secretary-generals-climate-remarks-at-nyu-stern/>
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859), 1243–1248.
- Harrington, L. J., Frame, D. J., Fischer, E. M., Hawkins, E., Joshi, M., & Jones, C. D. (2016). Poorest Countries Experience Earlier Anthropogenic Emergence of Daily Temperature Extremes. *Environmental Research Letters*, 11(5), 055007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/055007>
- Heal, G. (2017). The Economics of the Climate. *Journal of Economic Literature*, 20.
- Howarth, R. B., & Norgaard, R. B. (1992). Environmental Valuation under Sustainable Development. *The American Economic Review*, 82(2), 473–477.
- IPCC. (1992). *Climate Change: The 1990 and 1992 IPCC Assessments, IPCC First Assessment Report Overview and Policymaker Uummaries and 1992 IPPC Supplement*. IPCC.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis Summary for Policymakers, Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- IPCC. (2023). *Synthesis Report of the IPCC Sixth AssessmentT Report*. IPCC.
- John, A., & Pecchenino, R. (1994). An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment. *THE ECONOMIC JOURNAL*, 23.
- John, A., Pecchenino, R., Schimmelpfennig, D., & Schreft, S. (1995). Short-lived Agents and the Long-lived Environment. *Journal of Public Economics*, 58(1), 127–141. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(94\)01459-2](https://doi.org/10.1016/0047-2727(94)01459-2)
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago.
- Lakatos, I. (1976). *Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery* (J. Worrall & E. Zahar, Eds.; Reissue edition). Cambridge University Press.
- Ljungqvist, L., & Sargent, T. J. (2000). *Recursive Macroeconomic Theory*. MIT Press.

- Mariani, F., Pérez-Barahona, A., & Raffin, N. (2010). Life Expectancy and the Environment. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(4), 798–815. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2009.11.007>
- Mill, J. S. (1848). *Principles of Political Economy* (Vol. 5). McMaster University Archive for the History of Economic Thought. <https://ideas.repec.org/b/hay/hetboo/mill1848-5.html>
- Mira, N. (2011). *Microeconomia*. Edições Sílabo.
- Nash, J. F. (1950a). Equilibrium Points in n-Person Games. *Proceedings of the National Academy of Science*, 48–49.
- Nash, J. F. (1950b). The Bargaining Problem. *Econometrica*, 18(2), 155–162. <https://doi.org/10.2307/1907266>
- Nobel Foundation. (2018). *The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 2018*. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/press-release/>
- Nordhaus, W. (1977). Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem. *American Economic Review*, 67(1), 341–346.
- Nordhaus, W. (2015). Climate Clubs: Overcoming Free-Riding in International Climate Policy. *American Economic Review*, 105(4), 1339–1370. <https://doi.org/10.1257/aer.15000001>
- Nordhaus, W. (2018). Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(3), 333–360. <https://doi.org/10.1257/pol.20170046>
- Ono, T. (2005). The Political Economy of Environmental Taxes with an Aging Population. *Environmental & Resource Economics*, 30(2), 165–194. <https://doi.org/10.1007/s10640-004-1517-0>
- Ono, T., & Maeda, Y. (2001). Is Aging Harmful to the Environment? *Environmental & Resource Economics*, 20(2).
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. Macmillan and Co.
- Pittel, K., & Rübbelke, D. (2012). Transitions in the Negotiations on Climate Change: From Prisoner's Dilemma to Chicken and Beyond. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 12(1), 23–39.

- Pittel, K., & Rübhelke, D. T. G. (2008). Climate Policy and Ancillary Benefits: A Survey and Integration into the Modelling of International Negotiations on Climate Change. *Ecological Economics*, 68(1), 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.02.020>
- Popper, K. (1934). *The Logic of Scientific Discovery* (2nd edition). Routledge.
- Robinson, D., & Goforth, D. (2006). *The Topology of the 2x2 Games: A New Periodic Table*. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=199446>
- Sahlins, M. D. (1972). *Stone Age Economics*. Aldine-Atherton.
- Samuelson, P. A. (1958). An Exact Consumption-Loan Model of Interest with or without the Social Contrivance of Money. *Journal of Political Economy*, 66(6), 467–482. <https://doi.org/10.1086/258100>
- Soroos, M. S. (1994). Global Change, Environmental Security, and the Prisoner's Dilemma. *Journal of Peace Research*, 31(3), 317–332. <https://doi.org/10.1177/0022343394031003006>
- Stavins, R. N. (2011). The Problem of the Commons: Still Unsettled after 100 Years. *American Economic Review*, 101(1), 81–108.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review* (1.^a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>
- Stokey, N. L., Lucas, R. E., & Prescott, E. C. (1989). *Recursive Methods in Economic Dynamics*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjnr76>
- Thaler, R. H. (2016). *Misbehaving: The Making of Behavioral Economics* (Reprint edition). W. W. Norton & Company.
- Tingley, D., & Tomz, M. (2014). Conditional Cooperation and Climate Change. *Comparative Political Studies*, 47(3), 344–368. <https://doi.org/10.1177/0010414013509571>
- Tubb, A. (2011). Does Population Ageing Affect Government Environmental Expenditure? *Committee for Economic Development of Australia*, 34.
- Udalov, V. (2014). Political-Economic Aspects of Renewable Energy: Voting on the Level of Renewable Energy Support. Em *EIIW Discussion paper* (N.º disbei202; EIIW Discussion Paper). Universitätsbibliothek Wuppertal, University Library. <https://ideas.repec.org/p/bwu/eiwdp/disbei202.html>

Udalov, V. (2018). Analysis of Individual Renewable Energy Support: An Enhanced Model. Em *EIIW Discussion paper* (N.º disbei245; EIIW Discussion Paper). Universitätsbibliothek Wuppertal, University Library. <https://ideas.repec.org/p/bwu/eiiwdp/disbei245.html>

Udalov, V. (2019). *Behavioural Economics of Climate Change: New Empirical Perspectives*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03532-7>

UNEP. (2020, novembro 5). *Concentração Global de CO2 Bate Recorde Mesmo Durante Crise do COVID-19*. UNEP. <http://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/concentracao-global-de-co2-bate-recorde-mesmo-durante-crise-do>

Von Neumann, J. (1928). Zur Theorie der Gesellschaftsspiele. *Mathematische Annalen*, 100(1), 295–320. <https://doi.org/10.1007/BF01448847>

Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior* (Anniversary edition). Princeton University Press.

Walras, L. (1899). Eléments d'Economie Politique Pure. *Revue d'Histoire du XIXe siècle* - 1848, 23(115). https://www.persee.fr/doc/r1848_1155-8806_1926_num_23_115_1068_t1_0818_0000_2

Wilensky, U. (2002). *NetLogo PD Basic Evolutionary model*. Northwestern University. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PDBasicEvolutionary>

15. Apêndices

15.1 A.1 - Nova função de utilidade (U) com preocupação intergeracional (η)

Introdução da variável η (preocupação intergeracional)

$$\begin{aligned}
 V_t &= \ln c_t^1 + \ln Env_t + \frac{1}{1+\delta} (\ln c_{t+1}^2 + \ln Env_{t+1}) \\
 V' = e^V &\Leftrightarrow V' = e^{\ln c_t^1 + \ln Env_t + \frac{1}{1+\delta} (\ln c_{t+1}^2 + \ln Env_{t+1})} \Leftrightarrow V' \\
 &= (c_t^1 * Env_t) (c_{t+1}^2 * Env_{t+1})^{\frac{1}{1+\delta}} \\
 U_t &= (c_t^1 * Env_t) (c_{t+1}^2 * [Env_{t+1}]^\eta)^{\frac{1}{1+\delta}} \Leftrightarrow U_t = \ln c_t^1 + \ln Env_t \\
 &\quad + \frac{1}{1+\delta} (\ln c_{t+1}^2 + \eta \ln Env_{t+1}). \blacksquare
 \end{aligned}$$

15.2 A.2 - Jovens com η

. Maximização da utilidade dos jovens

$$\max U_t^{young} = \ln c_t^1 + \ln Env_t + \frac{1}{1+\delta} (\ln c_{t+1}^2 + \eta \ln Env_{t+1})$$

Sujeito a

$$\begin{aligned}
 c_t^1 &= w_t - s_t - m_t \\
 c_{t+1}^2 &= (1 + r_{t+1})s_t - m_{t+1} \\
 r_{t+1} &= \alpha p_{t+1} K_{t+1}^{\alpha-1} L_{t+1}^\beta E_{t+1}^{1-\alpha-\beta} \\
 E_{t+1} &= F E_{t+1}^\gamma (\sigma m_t R E_{t+1})^{1-\gamma} \\
 Env_{t+1} &= Env_t - \omega c_t + \pi m_t
 \end{aligned}$$

Inserindo as restrições acima referidas, a função de utilidade correspondente dos indivíduos jovens pode ser derivada como:

$$\begin{aligned}
U_t^{young} &= \ln(w_t - s_t - m_t) + \ln Env_t \\
&+ \frac{1}{1 + \delta} \ln \left[\left(1 + \alpha p_{t+1} K_{t+1}^{\alpha-1} L_{t+1}^\beta (FE_{t+1}^Y (\sigma m_t RE_{t+1})^{1-\gamma})^{1-\alpha-\beta} \right) \right. \\
&\left. * (w_t - c_t^1 - m_t) - m_{t+1} \right] + \frac{1}{1 + \delta} \eta \ln(Env_t - \omega c_t + \pi m_t)
\end{aligned}$$

. Condições de primeira ordem (CPO):

- m_t

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_t^{young}}{\partial m_t} &= 0 \\
\Leftrightarrow -\frac{1}{w_t - s_t - m_t} + \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{(1 - \gamma)(1 - \alpha - \beta) \frac{s_t}{m_t} r_{t+1} - (1 + r_{t+1})}{c_{t+1}^2} \right) \\
&+ \frac{1}{1 + \delta} \eta \pi \left(\frac{1}{Env_t - \omega c_t + \pi m_t} \right) = 0 \\
\Leftrightarrow -\frac{1}{c_t^1} + \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{(1 - \gamma)(1 - \alpha - \beta) \frac{s_t}{m_t} r_{t+1} - (1 + r_{t+1})}{c_{t+1}^2} \right) + \frac{\eta}{1 + \delta} * \frac{\pi}{Env_{t+1}} &= 0
\end{aligned}$$

- Env_t

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_t^{young}}{\partial Env_t} = 0 &\Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} + \frac{1}{1 + \delta} \eta \left(\frac{1}{Env_t - \omega c_t + \pi m_t} \right) = 0 \\
&\Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} + \frac{\eta}{(1 + \delta) Env_{t+1}} = 0
\end{aligned}$$

- c_t^1

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U_t^{young}}{\partial c_t^1} = 0 &\Leftrightarrow \frac{1}{c_t^1} - \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{1 + r_{t+1}}{(1 + r_{t+1})(w_t - c_t - m_t) - m_{t+1}} \right) \\
&- \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{\eta \omega}{Env_{t+1}} \right) = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{c_t^1} - \frac{1}{1 + \delta} \left(\frac{1 + r_{t+1}}{c_{t+1}^2} + \frac{\eta \omega}{Env_{t+1}} \right) = 0
\end{aligned}$$

. Com a CPO da qualidade ambiental chegamos à Taxa Marginal de Substituição da qualidade ambiental presente pela futura ($TMS_{Env_{t+1};Env_t}$):

$$\frac{1}{Env_t} + \frac{\eta}{(1+\delta)Env_{t+1}} = 0 \Leftrightarrow -\frac{Env_{t+1}}{Env_t} = \frac{\eta}{(1+\delta)} \Leftrightarrow TMS_{Env_{t+1};Env_t} = \frac{\eta}{(1+\delta)}. \blacksquare$$

. Através da CPO do consumo, inserindo a restrição do ambiente ($Env_{t+1} = -\frac{Env_t \eta}{(1+\delta)}$) e em *steady state* ($c_t^1 = c_{t+1}^2 = \bar{c}$; $Env_t = Env_{t+1} = \overline{Env}$; $r_{t+1} = \bar{r}$), chegamos à condição de consumo por qualidade ambiental ($\frac{\bar{c}}{\overline{Env}}$):

$$\begin{aligned} \frac{1}{c_t^1} - \frac{1}{1+\delta} \left(\frac{1+r_{t+1}}{c_{t+1}^2} + \frac{\eta\omega}{Env_{t+1}} \right) &= 0 \Leftrightarrow \frac{1}{c_t^1} - \frac{1}{1+\delta} \left(\frac{1+r_{t+1}}{c_{t+1}^2} - \frac{(1+\delta)\omega}{Env_t \eta} \right) \\ &= 0 \Leftrightarrow \frac{1}{\bar{c}} - \frac{1}{1+\delta} \left(\frac{1+\bar{r}}{\bar{c}} - \frac{(1+\delta)\omega}{\overline{Env} \eta} \right) = 0 \Leftrightarrow \frac{\bar{c}}{\overline{Env}} \\ &= \left(\frac{\bar{r}-\delta}{1+\delta} \right) \frac{\omega}{\eta} \end{aligned}$$

Tendo em consideração que não faz sentido o consumo de um indivíduo apresentar valores negativos, acrescenta-se uma constante (μ^1), representativa do valor do consumo, para os jovens.

$$\left[\frac{\bar{c}}{\overline{Env}} \right]^{young} = \left(\frac{\bar{r}-\delta}{1+\delta} \right) \frac{\omega}{\eta} + \mu^1. \blacksquare$$

. Simulações Excel

Aqui seguem mais algumas simulações para reforçar a análise do consumo por qualidade ambiental dos jovens. As Figuras 35 e 36 representam mais dois casos em que os jovens dão pouca importância ao consumo ($\mu^1 = 1$). Nota-se que o aumento da preocupação intergeracional leva à estabilidade da superfície de equilíbrio de consumo por qualidade ambiental.

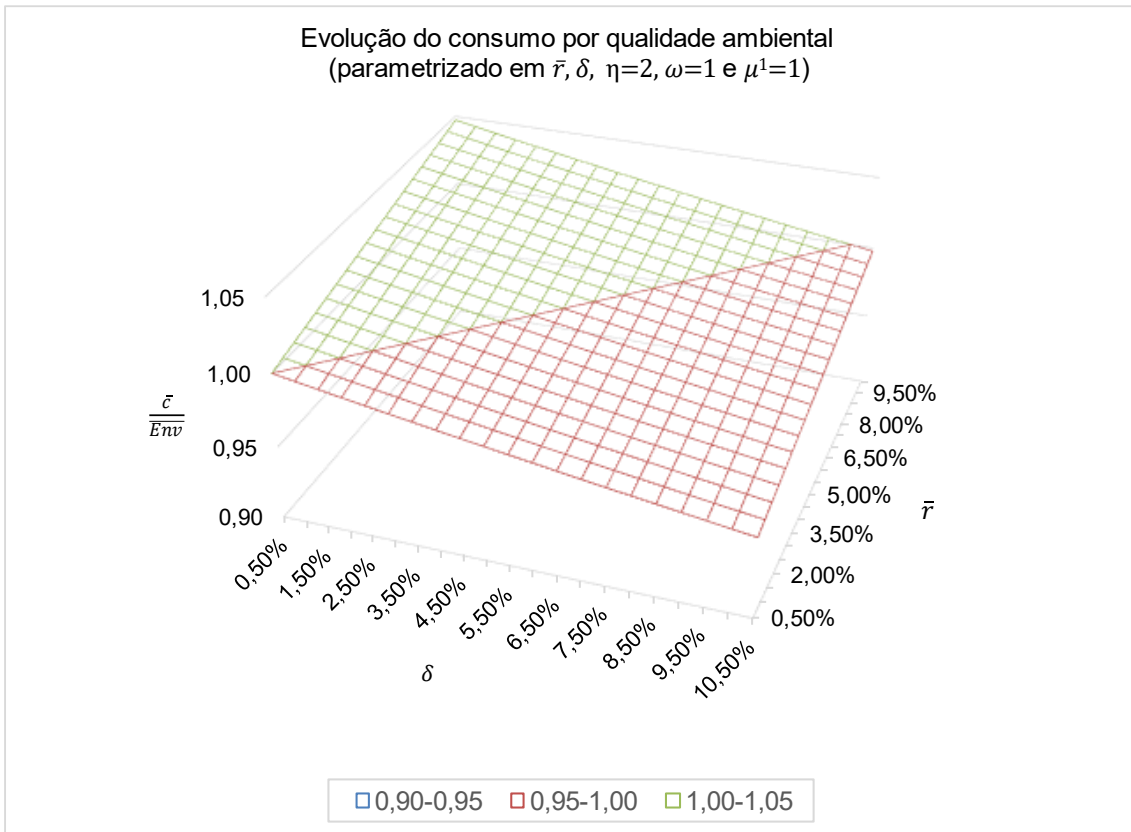


Figura 35: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 2$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 1$)
Fonte: Autor, 2023

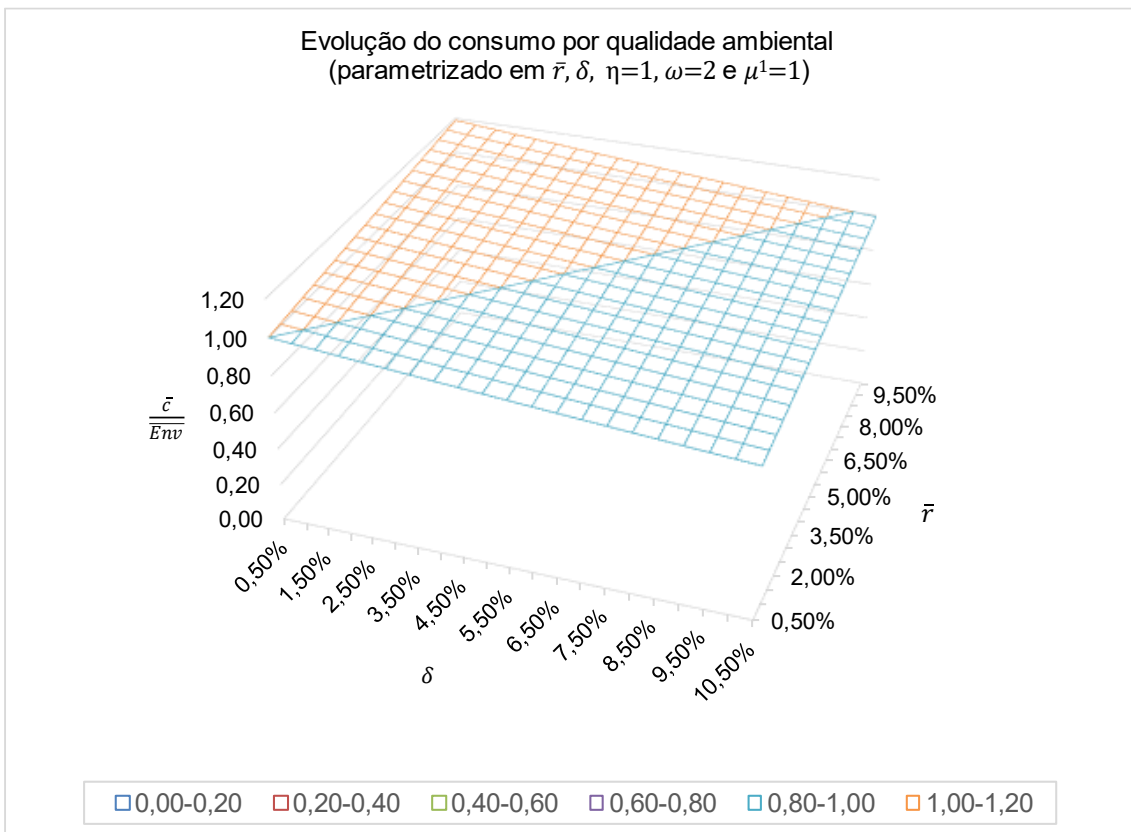


Figura 36: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 2$ e $\mu^1 = 1$)
Fonte: Autor, 2023

Os próximos gráficos (Figuras 37 à 43) representam os casos em que os jovens dão maior importância ao consumo ($\mu^1 = 10$) e a interpretação será a mesma, todavia com os valores do consumo por qualidade ambiental a aumentarem, consideravelmente. A conclusão mais relevante é, *mutatis mutandis*, que as superfícies de equilíbrio do consumo dos jovens, para parametrizações semelhantes, passam a oscilar, ligeira ou fortemente, em torno das 10 unidades. Este resultado reforça a análise e faz com que não seja necessário truncar uma das análises ao ortante positivo.

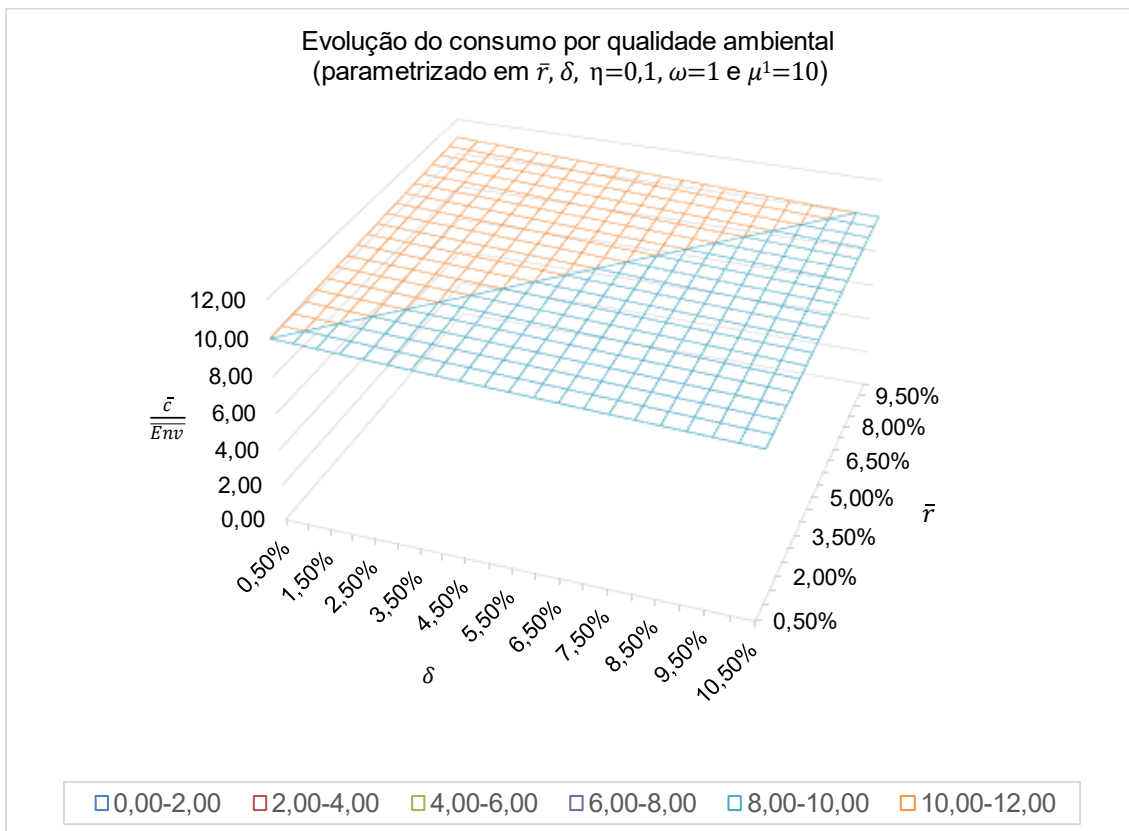


Figura 37: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 0,1$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 10$)
 Fonte: Autor, 2023

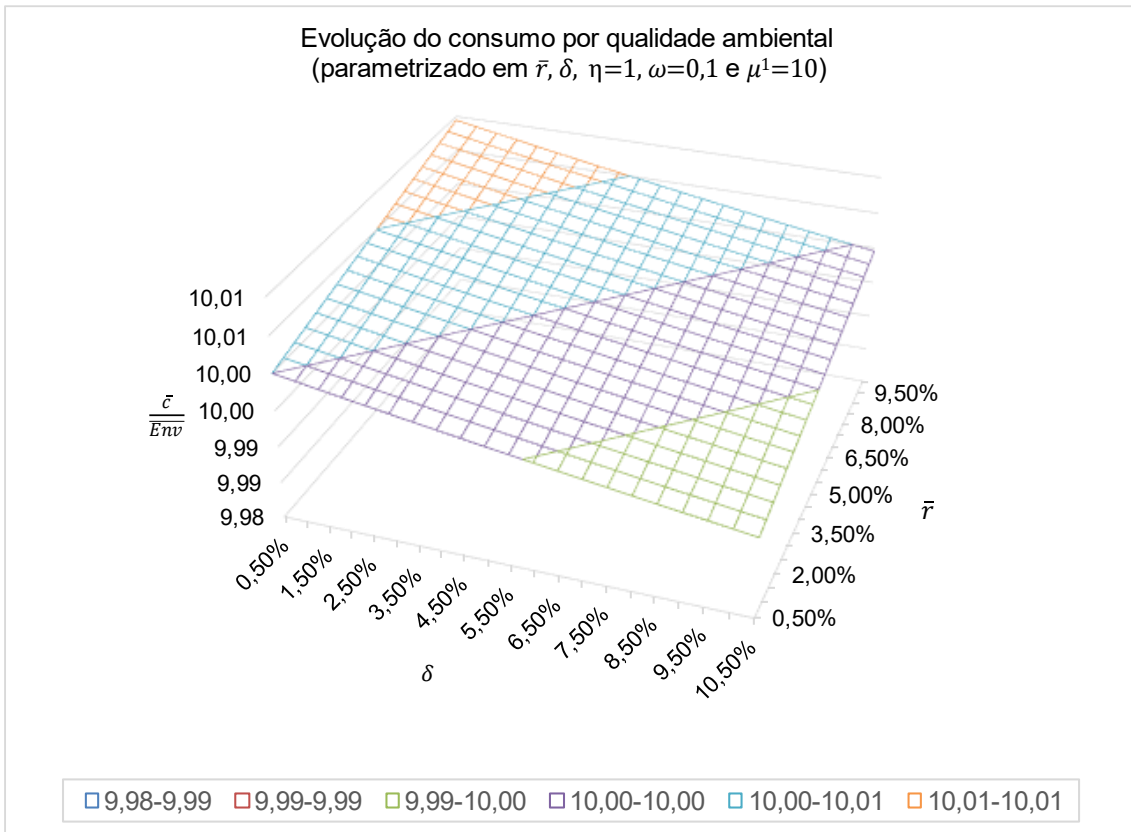


Figura 38: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 0,1$ e $\mu^1 = 10$)
Fonte: Autor, 2023

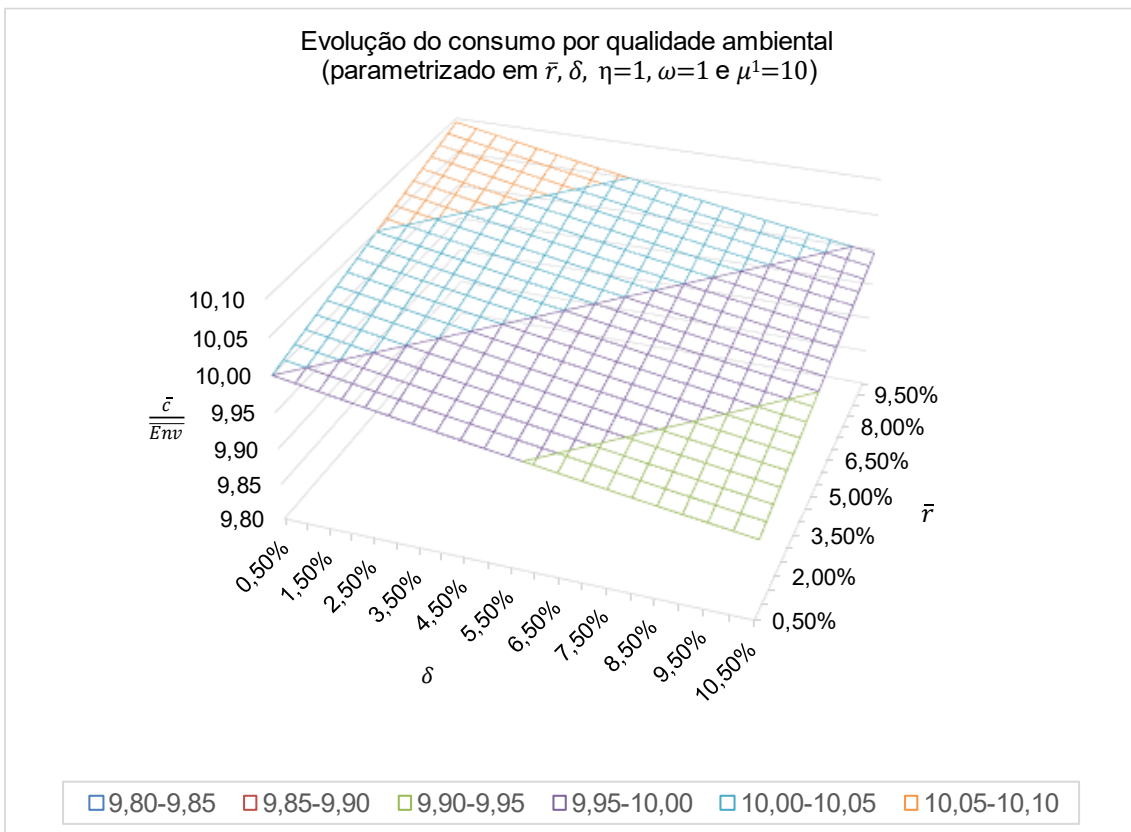


Figura 39: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 10$)
Fonte: Autor, 2023

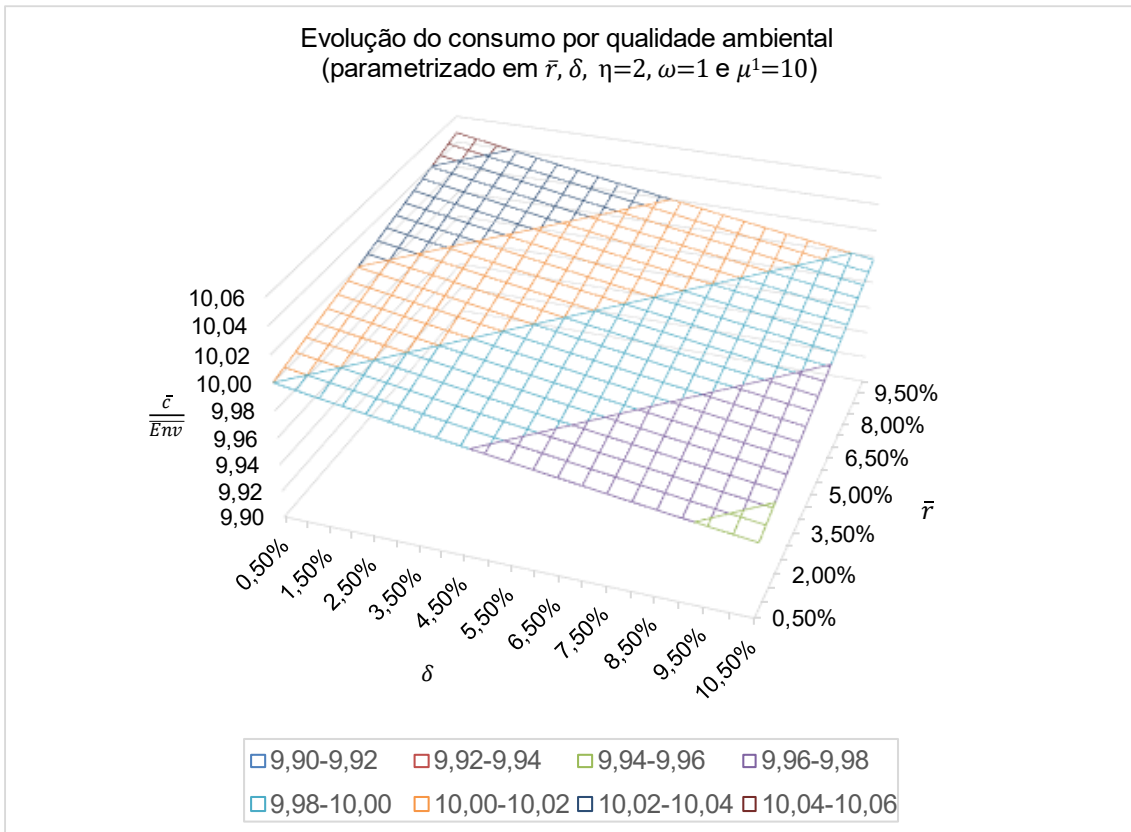


Figura 40: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 2$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 10$)
Fonte: Autor, 2023

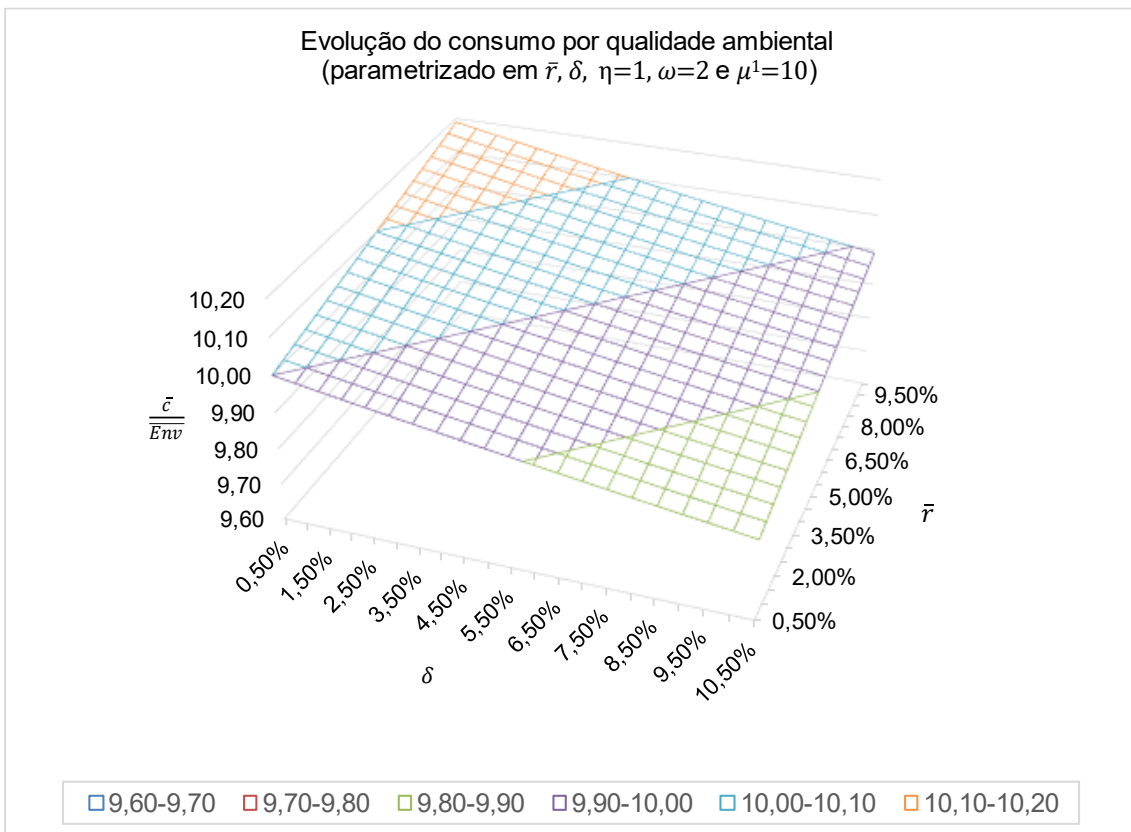


Figura 41: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 2$ e $\mu^1 = 10$)
Fonte: Autor, 2023

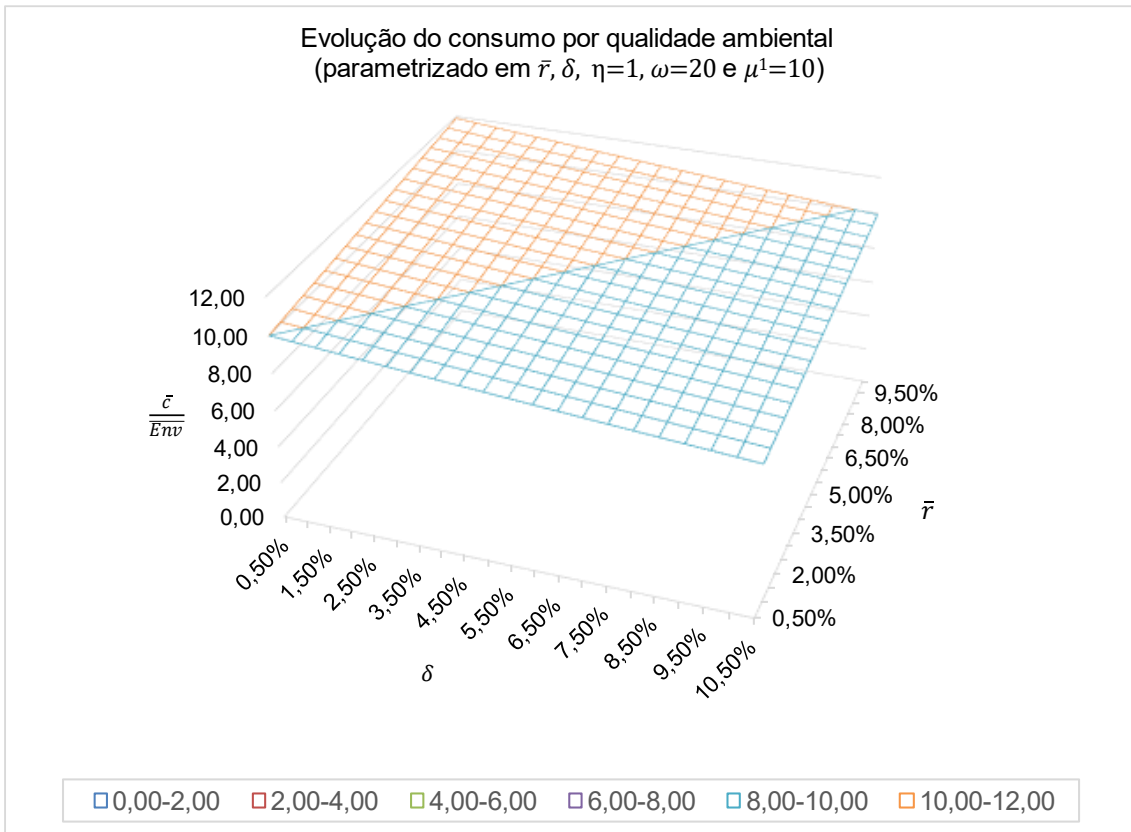


Figura 42: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 1$, $\omega = 20$ e $\mu^1 = 10$)
Fonte: Autor, 2023

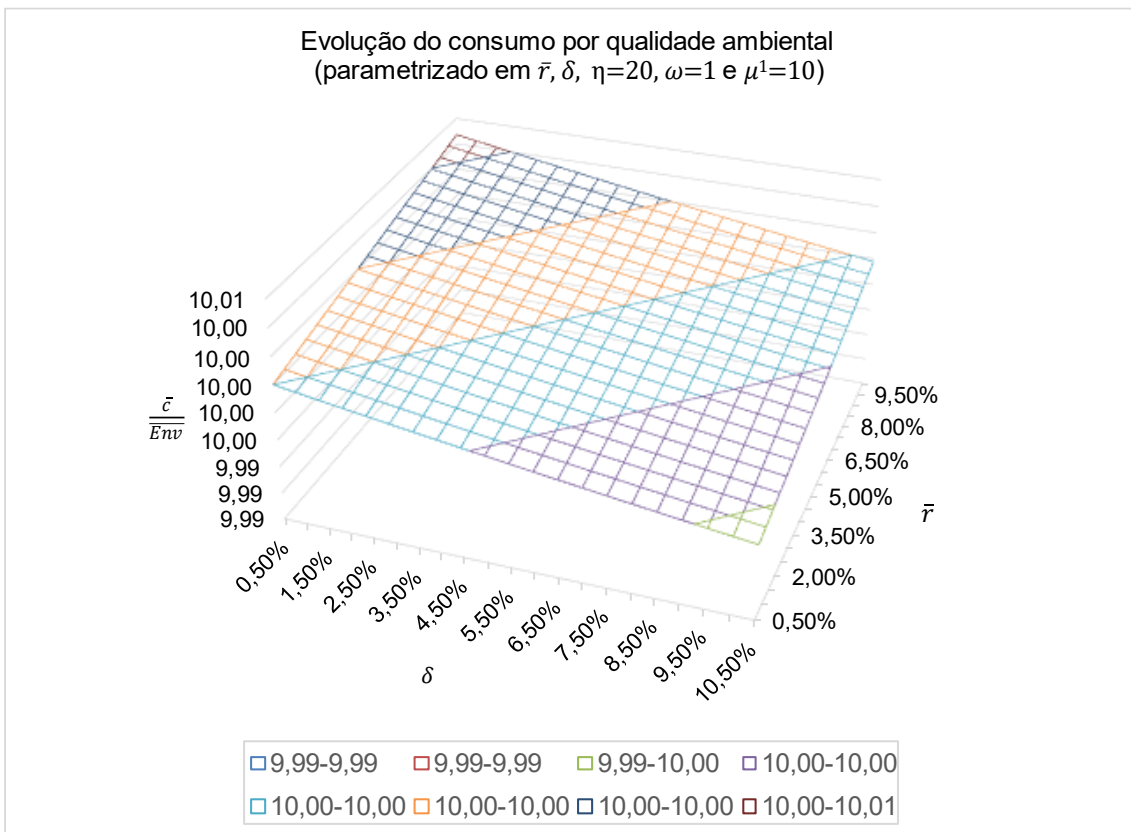


Figura 43: Evolução do consumo por qualidade ambiental ($\eta = 20$, $\omega = 1$ e $\mu^1 = 10$)
Fonte: Autor, 2023

15.3 A.3 - Idosos sem η

. Maximização da utilidade dos idosos

$$\max V_t^{old} = \ln c_t^2 + \ln Env_t$$

s. a.

$$c_t^2 = (1 + r_t)s_{t-1} - m_t$$

Inserindo a restrição acima na função objetiva, a função de utilidade dos aposentados é a seguinte:

$$V_t^{old} = \ln((1 + r_t)s_{t-1} - m_t) + \ln Env_t$$

. CPO:

- m_t

$$\frac{\partial V_t^{old}}{\partial m_t} = 0 \Leftrightarrow -\frac{1}{(1 + r_t)s_{t-1} - m_t} = 0 \Leftrightarrow -\frac{1}{c_t^2} = 0$$

- c_t^2

$$\frac{\partial V_t^{old}}{\partial c_t^2} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{c_t^2} = 0$$

- Env_t

$$\frac{\partial V_t^{old}}{\partial Env_t} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} = 0$$

15.4 A.4 - Idosos com η

. Maximização da utilidade dos idosos

$$\max U_t^{old} = \ln c_t^2 + \ln Env_t + \frac{\eta}{1 + \delta} \ln Env_{t+1}$$

Sujeito a

$$c_t^2 = (1 + r_t)s_{t-1} - m_t$$

$$Env_{t+1} = Env_t - \omega c_t + \pi m_t$$

Inserindo as restrições:

$$U_t^{old} = \ln[(1 + r_t)s_{t-1} - m_t] + \ln Env_t + \frac{\eta}{1 + \delta} \ln(Env_t - \omega c_t + \pi m_t)$$

. CPO:

- m_t

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_t^{old}}{\partial m_t} = 0 &\Leftrightarrow -\frac{1}{(1 + r_t)s_{t-1} - m_t} + \frac{\pi\eta}{(1 + \delta)(Env_t - \omega c_t + \pi m_t)} = 0 \\ &\Leftrightarrow -\frac{1}{c_t^2} + \frac{\pi\eta}{Env_{t+1}(1 + \delta)} = 0 \end{aligned}$$

- Env_t

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_t^{old}}{\partial Env_t} = 0 &\Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} + \frac{\eta}{(1 + \delta)(Env_t - \omega c_t + \pi m_t)} = 0 \\ &\Leftrightarrow \frac{1}{Env_t} + \frac{\eta}{Env_{t+1}(1 + \delta)} = 0 \end{aligned}$$

- c_t^2

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_t^{old}}{\partial c_t^2} = 0 &\Leftrightarrow \frac{1}{c_t^2} - \frac{\omega\eta}{(1 + \delta)(Env_t - \omega c_t + \pi m_t)} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{c_t^2} - \frac{\omega\eta}{Env_{t+1}(1 + \delta)} \\ &= 0 \end{aligned}$$

. A $TMS_{Env_{t+1}; Env_t}$ é igual à dos jovens

. Através da CPO do consumo, inserindo a restrição do ambiente e em *steady state* ($c_t^1 = c_{t+1}^2 = \bar{c}$; $Env_t = Env_{t+1} = \overline{Env}$), chegamos à condição de consumo por qualidade ambiental $\left(\frac{\bar{c}}{\overline{Env}}\right)$:

$$\frac{1}{c_t^2} - \frac{\omega\eta}{Env_{t+1}(1+\delta)} = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{\bar{c}} - \frac{\omega\eta}{\overline{Env}(1+\delta)} = 0 \Leftrightarrow \frac{\bar{c}}{\overline{Env}} = -\frac{1}{\omega}$$

Para os valores não chegarem a zero, acrescenta-se uma constante (μ^2)

$$\left[\frac{\bar{c}}{\overline{Env}}\right]^{old} = -\frac{1}{\omega} + \mu^2. \blacksquare$$

15.5 A.5 - Equilíbrios de Nash

Igualando as expressões relativas ao consumo por qualidade ambiental em *steady state* das duas gerações, em função de η , fica:

$$\begin{aligned} \left[\frac{\bar{c}}{\overline{Env}}\right]^{young} = \left[\frac{\bar{c}}{\overline{Env}}\right]^{old} &\Leftrightarrow \left(\frac{\bar{r}-\delta}{1+\delta}\right)\frac{\omega}{\eta} + \mu^1 = -\frac{1}{\omega} + \mu^2 \Leftrightarrow \eta \\ &= (-\omega + \mu^2 - \mu^1)\frac{\omega(\bar{r}-\delta)}{(1+\delta)} \Leftrightarrow \eta = (-\omega + \mu^*)\frac{\omega(\bar{r}-\delta)}{(1+\delta)} \\ &\mu^2 - \mu^1 = \mu^* \end{aligned} \quad (33)$$