Universidade de São Paulo
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto
Departamento de Economia
Programa de Pós-graduação em Economia
Área: Economia Aplicada

Preferências ambientais e políticas ótimas: uma aplicação de Desenho de Mecanismo

Gabriela Henrique Zangiski

Orientador: Jefferson Donizeti Pereira Bertolai

Ribeirão Preto

2022

Prof. Dr. Carlos Gilberto Carlotti Junior
Reitor da Universidade de São Paulo
Prof. Dr. André Lucirton Costa
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto
Prof. Dra. Roseli Basso-Silva
Chefe do Departamento de Economia
Prof. Dr. Luciano Nakabashi
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada

Gabriela Henrique Zangiski

Preferências ambientais e políticas ótimas: uma aplicação de Desenho de Mecanismo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia. Área de Concentração: Economia Aplicada, da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Universidade of São Paulo – USP

Orientador: Jefferson Donizeti Pereira Bertolai

Ribeirão Preto

2022

Ficha Catalográfica

Gabriela Henrique Zangiski
Preferências ambientais e políticas ótimas: uma aplicação de Desenho de Mecanismo – Ribeirão Preto, 2022
43 p. : il.; 30 cm.
Orientador: Jefferson Donizeti Pereira Bertolai

Dissertação de Mestrado – Universidade of São Paulo – Faculdade de Economia, Admnistração e Contabilidade – FEA/USP – Campus Ribeirão Preto; Departamento de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia; Área de Concentração: Economia Aplicada, 2022.

1. Política Ambiental. 2. Desenho de Mecanismo. 3. Informação Assimétrica
I. Orientador: Prof. Dr. Jefferson Donizeti Pereira Bertolai.
II. Universidade of São Paulo – USP – Campus Ribeirão Preto. III. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. IV. Preferências ambientais e políticas ótimas: uma aplicação de Desenho de Mecanismo

Gabriela Henrique Zangiski

Preferências ambientais e políticas ótimas: uma aplicação de Desenho de Mecanismo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia. Área de Concentração: Economia Aplicada, da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Ribeirão Preto, de de 2022

Jefferson Donizeti Pereira Bertolai(Orientador)
Universidade de São Paulo

Prof. Dr.
Universidade

Prof. Dr.
Universidade

Ribeirão Preto
2022

Dedicatória

Este trabalho é dedicado àqueles que enxergaram em mim a capacidade de abrir caminhos que ainda não foram percorridos.

Agradecimentos

Ao olhar para trás, nesse ponto da minha trajetória, me deparo com um imenso mar de gratidão a todos os que foram, de alguma maneira, responsáveis por me trazer até aqui.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me feito da forma como sou: por cada um dos meus atributos que, bem ou mal, usei para chegar até aqui. E por todas ocasiões em que a "sorte" me protegeu e me fez enxergar as oportunidades certas. Agradeço à minha família, por todos os sacrifícios feitos para que eu pudesse priorizar minha carreira quando era preciso.

Agradeço profundamente aos meus professores, principalmente aos que mais acreditaram em mim. À Kênia e à Terciane, por quem tenho grande admiração e sempre terei por modelos, agradeço por terem me segurado pela mão, e me mostrado o caminho quando dei meus primeiros passos na academia. Ao Lucas e ao Humberto, agradeço por estarem continuando esse trabalho, me mostrando os próximos passos que preciso trilhar.

Agradeço aos meus amigos que me estenderam a mão nos meus dias mais escuros. Em especial, Richard, Marcelo, Edilson, Milena e Giovana. A infeliz coincidência desse período com a elaboração dessa dissertação não poderia ter sido superada sem a ajuda vocês. Ao Marcelo, devo um duplo agradecimento: sem as suas contribuições, o fundo matemático deste trabalho estaria em total estado de calamidade. Finalmente, agradeço imensamente ao Marcos por ter colocado sua inteligência ímpar ao meu socorro quando precisei.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (Portaria Nº 206, de 04/09/2018)

O mistério do destino humano é que somos fatais, mas temos a liberdade de cumprir ou não o nosso fatal: de nós depende realizarmos o nosso destino fatal.

Clarice Lispector

Abstract

Environmental preferences and optimal policies: a Mechanism Design application

This study is motivated to understand incentives for environmental preservation and, to this end, employs the tool of Mechanism Design and quasi-linear preferences to induce disclosure of the truth about agents' environmental preference, so as to enable a social decision consistent with such preferences. In this way, the revelation of private information can be employed in the discussion regarding environmental conservation. The optimal policies obtained through this tool in the first and second best cases do not have any direct dominance relation. However, a case was shown where there is a cut-off that determines that agents with higher environmental preference will make more effort when their type is known, while agents that do not derive as much utility from a more conserved environment will have more preservation effort prescribed in the case where types are unknown. By adding multiple agents to the model, the policy prescribed for each individual becomes dependent not only on its type, but also on the types of the other agents. Finally, the free rider problem may be better understood by advancing the literature through the inclusion of moral hazard and non-compulsory participation in the mechanism analyzed by this study.

Key-words: Environmental Policy; Mechanism Design; Asymmetric Information.

JEL: D82, Q38.

Resumo

Preferências ambientais e políticas ótimas: uma aplicação de Desenho de Mecanismo

Este estudo tem como motivação compreender incentivos para preservação ambiental e, para tanto, emprega o ferramental de Desenho de Mecanismo e preferências quase-lineares para induzir revelação da verdade sobre a preferência ambiental dos agentes, de modo a permitir uma decisão social consistente com tais preferências. Desta maneira, a revelação da informação privada pode ser empregada na discussão a respeito da conservação do meio ambiente. As políticas ótimas obtidas por meio deste ferramental nos casos de *first* e *second best* não possuem qualquer relação de dominância direta. Entretanto, mostrou-se um caso em que existe um *cut-off* que determina que agentes com maior preferência ambiental farão maior esforço quando seu tipo é conhecido, enquanto que agentes que não auferem tanta utilidade de um meio ambiente mais conservado terão maior esforço de preservação prescrito no caso em que os tipos são desconhecidos. Ao adicionar múltiplos agentes no modelo, a política prescrita para cada indivíduo passa a depender não apenas de seu tipo, mas também dos tipos dos demais agentes. Por fim, o problema do carona poderá ser melhor compreendido ao avançar na literatura através da inclusão de risco moral e participação não-compulsória no mecanismo analisado por este estudo.

Palavras-chave: Política Ambiental; Desenho de Mecanismo; Informação Assimétrica.

JEL: D82, Q38.

Sumário

1 Introdução

A degradação ambiental pode atuar como um fator limitante ao desenvolvimento, uma vez que o bem-estar da sociedade e dos indivíduos depende de recursos finitos. Diante disto, o desenvolvimento sustentável foi estabelecido como uma prioridade global na *Earth Summit*, realizada no Rio de Janeiro em 1992 e baseia-se em três pilares: o desenvolvimento econômico, o desenvolvimento social e a proteção ambiental (Poulopoulos, 2016). Com isto, fica clara a necessidade de induzir os indivíduos a agir de maneira ecológica e sustentável, em prol de seu próprio bem-estar e do bem-estar das gerações futuras, o que pode ser feito pelos governos.

Há diversas razões pelas quais as decisões econômicas envolvendo o meio ambiente são problemáticas. O crescimento populacional pressiona os recursos naturais, uma vez que sua disponibilidade permanece constante ou decrescente ao longo do tempo. Assim, há potencial conflito sobre a administração, extração, alocação e uso de recursos como terra, água e florestas. Estes conflitos podem envolver indivíduos, grupos e governos. Por conta da dificuldade em administrar estes recursos, muitos deles permanecem com grandes problemas não solucionados pelas autoridades. Destacam-se as questões envolvendo qualidade do ar, qualidade e quantidade de recursos hídricos despendidos, perda de biodiversidade e perda de capital natural (Dinar et al., 2008a). Finalmente, as preferências dos indivíduos e sua disposição a pagar por políticas ambientais são, de maneira geral, desconhecidos pelas autoridades.

Portanto, fica evidente que existe um problema de informação assimétrica no que diz respeito à elaboração de políticas ambientais. Além disso, a análise do comportamento estratégico entre agentes e governo se torna essencial no estudo das relações entre a economia e o meio ambiente, uma vez que os recursos naturais são bens de uso comum e, consequentemente, as escolhas dos agentes são interdependentes.

Desta maneira, a aplicação do ferramental de Desenho de Mecanismo à modelagem de questões envolvendo o meio ambiente e os recursos naturais emerge da existência interdependência estratégica e da informação privada. Assim como os *outcomes* dos indivíduos estão relacionados nesta questão, existe também frequentemente um problema de informação incompleta e imperfeita nas relações estratégicas envolvendo recursos ambientais. Portanto, o Desenho de Mecanismo possui especial relevância no alcance de objetivos sociais (Dinar et al., 2008a).

Diante disto, objetivo desta pesquisa é desenvolver um mecanismo teórico através do qual possam ser analisados os efeitos previstos pela Teoria Econômica para a interação entre indivíduos com diferentes preferências pela preservação ambiental e o governo, que por sua vez, será modelada utilizando o ferramental usual de Desenho de Mecanismo. Outros autores também utilizam interações estratégicas para estudar os direitos de propriedade sobre águas internacionais (Munro, 2009), os direitos de pastagem na África Subsaariana (Goodhue & McCarthy, 2008), as situações onde duas ou mais regiões dividem um rio (Ambec & Ehlers, 2008), entre outras situações.

Contudo, nos modelos de recursos comuns, geralmente os indivíduos auferem utilidade do uso destes recursos, mas não auferem desutilidade diante da degradação ambiental *per se*, sem diferir entre si neste quesito. Entretanto, não é razoável ou realista supor que nenhum indivíduo se importa com a conservação dos recursos comuns. Pelo contrário, é possível notar que alguns indivíduos ativamente tomam ações em prol da preservação ambiental. Desta maneira, esta pesquisa pode contribuir com a formulação de políticas públicas voltadas à preservação ambiental, ao considerar uma sociedade na qual há heterogeneidade de preferência ambiental.

Além desta introdução, este estudo se divide em mais quatro partes. A seguir, será feita uma revisão de literatura sobre Desenho de Mecanismo e as principais aplicações de Teoria dos Jogos nas questões que concernem ao meio ambiente. Em seguida, a seção 3 apresenta o modelo básico com um único agente e o governo. A seção 4 faz um avanço, considerando-se a presença de mais agentes. Por fim, na seção final encontram-se as principais conclusões deste estudo.

2 Revisão de Literatura

A abordagem de Desenho de Mecanismo é um desenvolvimento teórico através do qual busca-se identificar uma instituição (ou mecanismo) cuja implementação culmine na coincidência dos *outcomes* predito e desejado (Maskin, 2008). O *outcome* desejado, em termos de alocação de recursos, é tipicamente avaliado em termos de objetivos que incluem eficiência paretiana, igualdade ou justiça, ou ainda objetivos mais gerais, que podem ser representados por uma função de bem-estar de Bergson–Samuelson, que permite trade-offs entre eficiência e igualdade (Mookherjee, 2008).

Desta forma, o planejador ou governo precisa desenhar um mecanismo para a interação econômica dos agentes, isto é, um jogo que produza um *outcome* que se adapta às mudanças nos parâmetros ou no ambiente e que coincidam com o *outcome* desejado por este planejador, ou que satisfaça um critério normativo de eficiência ou equidade (Mookherjee, 2008).

Maskin (2008) e Mookherjee (2008) apontam a ausência de informações como o principal obstáculo à implementação de soluções pelo governo. Em particular, as preferências dos indivíduos são, geralmente, desconhecidas. Desta maneira, o mecanismo desenhado deve gerar a informação necessária ao ser executado. No entanto, surge ainda outro problema: os indivíduos podem possuir incentivos para revelar uma informação falsa a respeito de suas preferências, a fim de induzir o governo a produzir um *outcome* que lhes traga maior benefício. Desta maneira, é preciso que o mecanismo desenhado atenda à restrição de Compatibilidade de Incentivos (Maskin, 2008).

A restrição de Compatibilidade de Incentivos é a condição que faz com que cada tipo de jogador prefira tomar a ação a ele designada a tentar se passar pelo outro tipo de jogador. Portanto, em equilíbrio, quando esta restrição é válida, cada tipo de jogador tem incentivo para escolher a estratégia prescrita para si em vez de escolher a estratégia prescrita para os outros tipos de jogador (Tadelis, 2013).

À luz do que foi apresentado pela literatura no que se refere ao Desenho de Mecanismo, pode-se notar que este ferramental é imprescindível para a solução de problemas econômicos envolvendo questões concernentes ao meio ambiente. O aspecto de bem público dos recursos naturais e as externalidades associadas a estas questões fazem com que sua administração seja desafiadora, principalmente em decorrência do problema do carona, de maneira que, novamente, o uso de Desenho de Mecanismo com a finalidade de induzir a cooperação entre os agentes se mostra bastante útil no alcance de objetivo de interesse comum (Dinar et al., 2008a).

De acordo com Ostrom (1990), a Tragédia dos Comuns e o Dilema dos Prisioneiros estão entre os modelos mais influentes no uso de Desenho de Mecanismo em questões relacionadas ao meio ambiente. A tragédia dos comuns foi popularizada por Hardin (1968), e caracteriza uma situação na qual os bens são rivais, isto é, o bem pode ser utilizado apenas por um indivíduo por vez, e não excludentes, ou seja, não é possível impedir os indivíduos de usar este bem. Entre os exemplos mais utilizados para ilustrar a tragédia dos comuns, encontram-se as áreas de pesca e os pastos para gado. A tragédia dos comuns pode ser utilizada, ainda, para análise do problema da chuva ácida e como uma metáfora ao problema da superpopulação, por exemplo (Ostrom, 1990).

Analisando a situação dos pastos, Hardin (1968) conclui que haverá sobreuso dos recursos, uma vez que cada indivíduo levará ao pasto animais enquanto isto for benéfico para si. No entanto, Hardin (1968) não foi o primeiro a notar este problema. De acordo com Ostrom (1990), esta questão foi pensada por William Forster Lloyd, H. Scott Gordon e até mesmo por Aristóteles.

O modelo de Hardin (1968) foi formalizado em Dawes (1973) e em Dawes (1975) como o Dilema dos Prisioneiros, situação na qual dois agentes precisam escolher entre cooperar e não cooperar simultaneamente. O resultado é que não haverá cooperação e o *outcome* previsto não coincidirá, portanto, com o resultado ótimo no sentido de Pareto (Ostrom, 1990).

Ostrom (1990) destaca, ainda, a relevância desse jogo em mostrar como as estratégias racionais individuais levam a *outcomes* coletivos irracionais e, desta maneira, em desafiar a crença de que a racionalidade humana pode produzir resultados racionais. Em uma discussão mais recente da literatura, argumenta-se que as definições de equilíbrio mais simples como o Equilíbrio de Nash podem não ser apropriadas para descrever conflitos reais, por conta de seus pressupostos restritivos.

O principal problema é que considera-se que os jogadores tomam decisões independentemente dos demais, ignorando o fato de que pode haver contra interações. Assim, o Equilíbrio de Nash falha em predizer equilíbrios óbvios em jogos do tipo Dilema dos Prisioneiros e Jogo da Galinha em situações nas quais os jogadores conhecem os contra-movimentos críveis de seus oponentes (Madani, 2013).

No core dos modelos de jogos relacionados meio ambiente, encontra-se o *problema do carona*: se um indivíduo não pode ser excluído dos benefícios resultantes da ação dos demais, ele é motivado a não contribuir para a geração destes benefícios. Se todos os participantes de um jogo possuem esta mesma motivação, nenhum deles coopera para o objetivo comum e o benefício não será produzido (Ostrom, 1990).

De acordo com Ostrom (1990), as soluções geralmente apontadas para o problema das tragédias dos comuns são a privatização ou o uso de forças coercitivas do governo. No entanto, nenhuma destas ferramentas pode ser apontada como a solução ideal para todas as situações em que algum destes problemas ocorre. Entre as justificativas para esta afirmação, destacam-se a existência de custos administrativos dos direitos de uso e propriedade dos bens, bem como a necessidade de informações muitas vezes não disponíveis (Ostrom, 1990).

Além disso, a Teoria dos Jogos mostra que, sob soluções não cooperativas, cada agente maximiza seu próprio *payoff*, levando em consideração que os demais agentes devem fazer o mesmo. A falta de cooperação, por sua vez, é causada pela estrutura de incentivos, que por sua vez, é o que causa problemas como o Dilema dos Prisioneiros, a Tragédia dos Comuns e o problema do carona (Dinar et al., 2008a).

A cooperação, por outro lado, usualmente não é um equilíbrio justamente em decorrência da possibilidade carona, ou de situações em que um dos jogadores pode alcançar uma melhora paretiana em outro equilíbrio, em relação ao equilíbrio onde há cooperação (Dinar et al., 2008a).

Segundo Baliga e Maskin (2003), uma escola que segue o pensamento de Pigou soluciona as externalidades impondo mecanismos de taxação à produção de externalidades negativas. Em oposição a esta escola, a teoria desenvolvida a partir do Teorema de Coase argumentam que não é necessário realizar intervenções governamentais mesmo na presença de externalidades, pois, definidos os direitos de propriedade, os agentes podem barganhar até atingir uma solução eficiente no sentido paretiano.

Esta posição depende, no entanto, de que as externalidades sejam excluíveis no sentido de que o agente que as provoca tem poder de decisão sobre quem será afetado pela externalidade produzida. Portanto, esse teorema não pode ser aplicado a bens públicos, tais como a conservação do meio ambiente (Baliga & Maskin, 2003).

Vale mencionar ainda, algumas aplicações mais específicas em Teoria dos Jogos aos problemas ambientais, para fins de ilustração. O primeiro deles refere-se à distribuição dos direitos de pesca em águas internacionais, analisado por Munro (2009). Por conta da interação estratégica dos agentes envolvidos e do problema de recursos comuns, o ferramental econômico que mais naturalmente pode ser usado para solucionar esta questão é a Teoria dos Jogos.

Este autor analisa modelos que pressupõem que os agentes são racionais e as águas internacionais são recursos comuns, de modo que nenhum agente racional terá incentivo para investir no crescimento dos recursos pesqueiros, mas apenas utilizá-los, de maneira que os governos que dividem estes recursos caem em uma situação do tipo Dilema dos Prisioneiros. Assim, Munro (2009) mostra que frequentemente os *policy makers* ignoram as condições de estabilidade para que haja cooperação e que os regimes de regulação funcionem. Desta maneira, as consequências são a pesca excessiva, colocando os recursos naturais em situação ameaçadora.

Outra aplicação de Teoria dos Jogos à questão ambiental é a distribuição dos direitos de pastagem na África Subsaariana, caracterizada pela mobilidade dos rebanhos por conta do regime de chuvas irregular. Goodhue e McCarthy (2008) mostram que, em muitos casos, múltiplos grupos podem contar com diferentes direitos de propriedade e atuar em uma mesma área.

No modelo analisado pelos autores, dois pastores levam seus respectivos rebanhos de tamanhos distintos para pastar, e seu lucro é dado pelo peso ganho por seus animais. Ambos escolhem os períodos das estações em que passarão em dois pastos, que diferem apenas na quantidade de chuvas recebidas, a fim de maximizar seu lucro, considerando a decisão do outro pastor. Por fim, o peso dos animais é crescente na quantidade de chuvas e decrescente na quantidade de animais em cada pasto, a partir de certo ponto.

Dependendo das condições geográficas da área de pasto, o regime tradicional de propriedade difusa pode ser preferível. Além disso, pesquisas empíricas mostram que há evidências de cooperação entre pastores na ausência de regulação formal em algumas áreas (Benin & Pender, 2006; McCarthy et al., 2003; McCarthy & Vanderlinden, 2004).

Já na África do Sul, existe um problema de alocação de recursos hídricos. Para a solução desta questão, foram exploradas por Dinar et al. (2008b) as abordagens de mediação pelo governo e negociação cooperativa entre as comunidades locais. Neste modelo, os fazendeiros racionais maximizadores escolhem o quanto irrigar suas plantações a partir da água da bacia considerada como recurso comum. Eles escolhem também qual sistema de irrigação irão usar e as culturas que produzirão. Em uma segunda etapa, os autores assumem também que os fazendeiros são tomadores de preço, e concluem que, em situações nas quais os fazendeiros conseguem melhorar sua situação econômica, eles agirão de maneira cooperativa. Os resultados da pesquisa mostram também que nenhuma das abordagens de uso para a água da bacia domina a outra, de modo que, conforme as condições locais, uma destas abordagens pode ser preferível.

Ainda se tratando da questão dos recursos hídricos, Ambec e Ehlers (2008) exploram um jogo que modela a situação em que duas ou mais regiões, sejam elas cidades, países ou propriedades, compartilham um rio. O modelo considera n agentes alocados ao longo do rio, que auferem um benefício monetário em função do uso da água até um ponto de saciedade. Por fim, o fluxo de água do rio aumenta ao longo de seu curso, de maneira que cada agente possui um montante distinto de água disponível.

A não regulação do uso destes recursos implica em sobreutilização, de maneira que compensações financeiras pelo consumo da água podem representar ganhos de eficiência. Os resultados da pesquisa de Ambec e Ehlers (2008) mostram ainda que, para duas regiões, os acordos de regulação dependem da expectativa de cumprimento pela outra parte. Para três regiões, um acordo é sempre viável, independentemente das expectativas de cumprimento. Por fim, para mais de três partes, os acordos dificilmente serão factíveis, em decorrência do problema do carona.

Ainda sobre a questão dos direitos de propriedade sobre a água, Fragnelli e de Agostini (2006) discutem um sistema de tarifas que respeite algum critério de justiça e que seja capaz de prover a quantidade de água necessária para uma determinada comunidade em certo período, com enfoque na situação italiana. No sistema considerado pelos autores, cada usuário se compromete com uma determinada previsão para seu consumo de água no início de um ano, sabendo que a tarifa anunciada será crescente no volume de água previsto para uso. Ao final do ano, penalidades são impostas aos usuários que consumiram além de sua previsão, sendo que as penalidades também são crescentes no volume de água que excede a previsão. Este sistema tem o objetivo de encorajar declarações verdadeiras e desincentivar o sobreuso do recurso.

Os autores, no entanto, se deparam com a impossibilidade da construção de um sistema de tarifas que cumpra os critérios de justiça e desencoraje o desperdício de recursos hídricos, pois um aumento nas tarifas pode induzir alguns agentes a reduzir o uso para fins não essenciais, como lavagem de veículos, ao mesmo tempo que pode induzir outros agentes a reduzir o uso de água para fins essenciais (Fragnelli & de Agostini, 2006).

Por fim, uma aplicação notável de Teoria dos Jogos refere-se aos boicotes dos consumidores à algumas marcas como protesto por ações ecologicamente ou socialmente incorretas. Pressupondo que há informação perfeita para as firmas e consumidores, e que os consumidores insatisfeitos se comportam como um grupo coeso, Delacote (2008) conclui que o percentual consumidores participando do boicote em relação ao total de consumidores do produto aumenta a probabilidade de seu sucesso.

Contudo, existe um custo de boicotar a empresa, decorrente da utilidade obtida do consumo do bem. Desta forma, este trade-off faz com que os boicotes tenham baixa probabilidade de sucesso: os consumidores com baixo custo de oportunidade de boicotar geralmente representam um percentual muito baixo dos consumidores do bem a ser boicotado (Delacote, 2008).

Além disso, em competição perfeita, o boicote tem mais chances de ser bem sucedido do que em um ambiente de monopólio. Isso é possível porque a ausência de barreiras à entrada no mercado permite a entrada de uma empresa com tecnologias favoráveis à preservação ambiental, que produza substitutos para o produto a ser boicotado. Desta forma, o custo de oportunidade dos consumidores de realizar o boicote se reduz à medida que o bem substituto se aproxima do bem a ser boicotado (Delacote, 2008).

Diante das aplicações e discussões apresentadas, observamos que mesmo com as aplicações mais recentes de Teoria dos Jogos, há ainda, especialmente na área da Economia do Meio Ambiente, discussões acerca da necessidade de intervenção governamental *versus* deixar com que o mercado encontre um equilíbrio por si só. Desta maneira, ainda se faz bastante necessário o uso de Desenho de Mecanismo para acrescentar à estas discussões resultados teóricos acerca dos problemas relacionados ao meio ambiente.

Além disso, não existe na literatura, a saber, um modelo que seja capaz de prever as interações entre agentes preferências heterogêneas em relação à preservação ambiental, bem como o efeito de possíveis intervenções governamentais diante deste cenário, com o objetivo de induzir à preservação ambiental como *outcome* desejado. Por conseguinte, o modelo desenvolvido nesta pesquisa visa contribuir com a literatura neste sentido.

3 Modelo com um agente

Seja uma sociedade na qual existe um único agente e um governo. Suponha que o agente possui preferência ambiental tipo θ que possui distribuição acumulada $F(\theta)$, distribuição de probabilidade $f(\theta)$ e suporte em $\left[\underline{\theta}, \bar{\theta}\right]$, tal que $-\infty < \underline{\theta} < \bar{\theta} < \infty$ e que $\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}$ é não-decrescente em θ. Quanto maior o valor de θ, mais o indivíduo preocupa-se com a preservação do meio ambiente.

O agente realiza um esforço e em prol da conservação ambiental, que tem para ele custo $c(e)$. Este custo pode ser entendido como um gasto monetário incorrido com a finalidade de consumir bens com menor impacto ambiental, ou ainda, como custo de oportunidade do tempo despendido pelo agente em ações pró-conservação. A função $c(e)$ é crescente, estritamente convexa e diferenciável no esforço e, com $c''(e) > 0$. Além disso, ela satisfaz as condições $c'(0) = 0$ e $\lim_{e \to \infty} c'(e) = \infty$.

A preservação ambiental é produzida a partir do esforço e. De acordo com seu tipo θ, o agente aprecia a preservação resultante e a partir da função $v(e, \cdot)$. Esta função é duas vezes continuamente diferenciável, crescente em seus dois argumentos e respeita a propriedade de *Single-Crossing*: $v_{e\theta} > 0$. Além disso, $v_{\theta e\theta}(e, \theta) \geq 0$, $v_{\theta ee}(e, \theta) \leq 0$ e $v_{ee}(e, \theta) \leq 0$. Finalmente, o agente também recebe do governo um pagamento monetário m. Assim, sua utilidade tem a forma quase-linear

$$U(e, m|\theta) = v(e, \theta) + m - c(e).$$

Note que $U(e, m|\theta)$ é diferenciável e, portanto, contínua, uma vez que a soma de funções diferenciáveis é uma função diferenciável.

3.1 Modelo com tipos observáveis

Suponha inicialmente que o governo consegue observar o tipo θ do indivíduo. Ele escolherá para cada agente uma política ambiental ótima $\Big(m(\theta), e(\theta)\Big)$. Assim, define-se

$$u(\theta) := v\Big(e(\theta), \theta\Big) + m(\theta) - c\Big(e(\theta)\Big).$$

Ao fazer esta escolha, o governo visará minimizar seus dispêndios. Neste modelo, não estamos explicitando a existência de uma restrição orçamentária para ao governo. No entanto, existe um custo de oportunidade ao usar os recursos arrecadados da sociedade via taxação, medido pelo preço-sombra $\lambda > 0$ dos recursos públicos. Esse custo deve ser considerado pois, ao impor taxação, o governo causa distorções na economia, reduzindo o excedente total. Desta forma, ao não considerar o preço-sombra dos recursos públicos, a análise de otimalidade deste gasto pode estar incorreta. Assim, a função objetivo do governo deve visar maximizar bem-estar dos agentes não apenas via função de utilidade, mas também considerando o custo da política a ser implementada.

A escolha dessa política ambiental é feita ex-ante: o governo designa uma política ótima para cada tipo e, ao adotar determinado nível de esforço, o agente estará relevando seu θ. Assim, o governo opera, neste modelo, sob o "véu da ignorância" de Rawls. Deste modo, estamos tratando de valores esperados. Com isto, o problema primitivo do governo é

$$\max_{e(\cdot),m(\cdot)} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} u(\theta)f(\theta)d\theta - (1+\lambda)\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} m(\theta)f(\theta)d\theta.$$

Por outro lado, o governo quer escolher uma política $\Big(m(\theta), e(\theta)\Big)$ que seja capaz de gerar, pelo menos, um nível k^* de preservação ambiental. O nível mínimo de preservação exigida k^* é exogenamente determinado, e não decorre das preferências da sociedade. Assim, é preciso incluir a restrição $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta \geq k^*$.

Também precisaremos de uma restrição de participação. Caso não pariticipe do mecanismo, o agente não receberá pagamento e não terá que fazer nenhum esforço. Assim, sua *outside option* é $v(0,\theta)$, de modo que, para cada $\theta \in \Big[\underline{\theta}, \overline{\theta}\Big]$, devemos atender a

$$v\Big(e(\theta),\theta\Big) + m(\theta) - c\Big(e(\theta)\Big) \geq v(0,\theta).$$

Seja $v(0,\theta) = 0, \forall\theta$. Temos então que, para todo tipo no suporte, é preciso atender a $u(\theta) \geq 0$. Note que, para cada θ, teremos um multiplicador correspondente $\alpha(\theta)$, pois esta restrição precisa ser atendida para todos os tipos. Com isso, o lagrangeano do problema do governo é

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}(m,e,\phi) &= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} u(\theta)f(\theta)d\theta - (1+\lambda)\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} m(\theta)f(\theta)d\theta + \phi\left(\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta - k^*\right) \\
&\quad + \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \alpha(\theta)u(\theta)f(\theta)d\theta \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg(u(\theta) - (1+\lambda)m(\theta) + \phi e(\theta) + \alpha(\theta)u(\theta)\Bigg)f(\theta)d\theta \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg(v\Big(e(\theta),\theta\Big) + m(\theta) - c\Big(e(\theta)\Big) - m(\theta) - \lambda m(\theta) + \phi e(\theta) \\
&\quad + \alpha(\theta)v\Big(e(\theta),\theta\Big) + \alpha(\theta)m(\theta) - \alpha(\theta)c\Big(e(\theta)\Big)\Bigg)f(\theta)d\theta \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg((1+\alpha)v\Big(e(\theta),\theta\Big) + (\alpha-\lambda)m(\theta) + \phi e(\theta) - (1+\alpha)c\Big(e(\theta)\Big)\Bigg)f(\theta)d\theta.
\end{aligned}$$

Maximizando ponto a ponto, temos as seguintes condições de otimalidade:

$$(1+\alpha)v_e\Big(e(\theta),\theta\Big)+\phi-(1+\alpha)c'\Big(e(\theta)\Big)=0, \tag{3.1}$$

$$\alpha-\lambda\geq 0, \tag{3.2}$$

$$\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta-k^*\geq 0, \tag{3.3}$$

$$v\Big(e(\theta),\theta\Big)+m(\theta)-c\Big(e(\theta)\Big)\geq 0, \tag{3.4}$$

$$\alpha(\theta)\geq 0,\forall\theta\in\Big[\underline{\theta},\overline{\theta}\Big], \tag{3.5}$$

$$\phi\geq 0, \tag{3.6}$$

$$\phi\left[\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta-k^*\right]=0, \tag{3.7}$$

$$\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}}\alpha(\theta)\Big[v\Big(e(\theta),\theta\Big)+m(\theta)-c\Big(e(\theta)\Big)\Big]f(\theta)d\theta=0. \tag{3.8}$$

em que (3.2) vale em desigualdade porque existe uma restrição implícita de não-taxação neste mecanismo $m(\theta)\geq 0$ para todo $\theta\in\Big[\underline{\theta},\overline{\theta}\Big]$, e não estamos assumindo solução interior.

Por ora, vamos trabalhar com os casos em que a restrição de participação é inativa, isto é, $\alpha(\theta)=0$ para todo $\theta\in\Big[\underline{\theta},\overline{\theta}\Big]$ e (3.4) é sempre satisfeita com desigualdade estrita. Trataremos do caso em que esta restrição é ativa no Apêndice I. Além disso, nos restringiremos aos casos em que a restrição de preservação ambiental é ativa, uma vez que situações nas quais políticas ambientais não são necessárias não possuem relevância para esta pesquisa. Com isto, rearranjando as equações acima, temos

$$v_e\Big(e(\theta),\theta\Big)=c'\Big(e(\theta)\Big)-\phi, \tag{3.9}$$

$$\lambda \leq 0, \tag{3.10}$$

$$\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta = k^*. \tag{3.11}$$

Note que, como $\lambda > 0$, a única forma de satisfazer a condição (3.10) é permitindo que a expressão valha com igualdade. Portanto, o pagamento ótimo será a solução de canto $m(\theta) = 0$ para todo $\theta \in \left[\underline{\theta}, \overline{\theta}\right]$. Já as condições (3.9) e (3.11) nos dão a solução para o esforço ótimo $e^*(\theta)$ uando os tipos dos agentes são observados pelo governo. Logo, a política ambiental de first best será da forma $\left(e^*(\theta), 0\right)$.

Por fim, note que, caso a restrição de preservação ambiental fosse inativa, teríamos que $\phi = 0$ e precisaríamos atender somente à condição $v_e\left(e(\theta), \theta\right) = c'\left(e(\theta)\right)$. Ou seja, o benefício marginal de realizar esforço do agente seria igual ao seu custo marginal para realizar esse esforço.

3.2 Modelo com tipos não observáveis

Suponha que agora o valor de θ é desconhecido pelo governo. Desta maneira, o agente precisa anunciar seu tipo para que o governo escolha uma política ambiental (e, m). Assim, usando o Princípio da Revelação, podemos considerar apenas mecanismos de revelação direta, de forma que a partir deste anúncio $\hat{\theta}$, o governo deve escolher um mecanismo ótimo que determina o pagamento $m(\hat{\theta})$ e o esforço $e(\hat{\theta})$ a ser realizado pelo agente. Este esforço, por sua vez, pode ser observado pelo governo. A partir deste mecanismo, $u(\hat{\theta}|\theta)$ é a utilidade indireta do agente com tipo θ quando ele revela o tipo $\hat{\theta}$:

$$u(\hat{\theta}|\theta) = v\left(e(\hat{\theta}), \theta\right) + m(\hat{\theta}) - c\left(e(\hat{\theta})\right).$$

Será ótimo para o agente revelar seu tipo verdadeiro quando

$$u(\theta|\theta) \geq u(\hat{\theta}|\theta) \ \forall \hat{\theta} \in [\underline{\theta}, \overline{\theta}], \tag{3.12}$$

ou, de maneira equivalente,

$$\theta \in \underset{\hat{\theta} \in [\underline{\theta}, \overline{\theta}]}{\operatorname{argmax}} \, u(\hat{\theta}|\theta).$$

Note que $u(\theta) = u(\theta|\theta)$. Usando o Teorema do Envelope segue que, em quase todo ponto,

$$u'(\theta) = v_\theta\left(e(\theta), \theta\right). \tag{3.13}$$

Aplicando o Teorema Fundamental do Cálculo, obtemos

$$u(\theta) = u(\underline{\theta}) + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} v_\theta\Big(e(x), x\Big)dx. \tag{3.14}$$

Por fim, segue a restrição de participação nos diz que devemos atender a $u(\theta) \geq 0$. Note que, por (3.13), obtida por meio do Teorema do Envelope, a função de utilidade do agente é crescente no tipo. Logo, ao atendermos a restrição de participação para o agente com tipo mais baixo, ela será satisfeita para os demais. Assim, vamos impor também a condição $u(\underline{\theta}) = 0$. Com isto,

$$u(\theta) = \int_{\underline{\theta}}^{\theta} v_\theta\Big(e(x), x\Big)dx. \tag{3.15}$$

Proposição 1: *Compatibilidade de Incentivos é atendida se, e somente se, (i) $e(\theta)$ é não decrescente e (ii) a Condição de Envelope é satisfeita.*

Demonstração:

($\Longrightarrow$) *Queremos demonstrar que, se a Compatibilidade de Incentivos é válida, então a Condição de Envelope (3.14) será atendida e a política ótima $e(\theta)$ será não-decrescente. A equação (3.12) define Compatibilidade de Incentivos: para um agente com tipo θ, revelar seu tipo verdadeiro deve dar a ele utilidade maior ou pelo menos igual a revelar qualquer tipo $\hat{\theta}$ no suporte. Perceba que, como as derivadas segundas de $v(e, \theta)$ e de $c(e)$ estão bem definidas, as funções $v(e, \theta)$ e $u(\theta)$ são continuamente diferenciáveis. Desta forma, podemos aplicar o Teorema do Envelope para obter (3.13) para quase todo ponto. Finalmente, ao aplicar o Teorema Fundamental do Cálculo, obtemos (3.14), como era desejado.*

Assim, da Compatibilidade de Incentivos, obtivemos a Condição de Envelope. Agora, vamos mostrar que também podemos obter a propriedade $e(\theta)$ não-decrescente. Tome $\hat{\theta} > \theta$. Então, a partir da Compatibilidade de Incentivos, podemos obter o seguinte para cada θ:

$$u(\theta|\theta) \geq \ u(\hat{\theta}|\theta), \ \ \forall \hat{\theta} \in [\underline{\theta}, \overline{\theta}].$$

Logo,

$$\begin{aligned} v\Big(e(\theta), \theta\Big) + m(\theta) - c\Big(e(\theta)\Big) &\geq v\Big(e(\hat{\theta}), \theta\Big) + m(\hat{\theta}) - c\Big(e(\hat{\theta})\Big) \\ u(\theta) &\geq v\Big(e(\hat{\theta}), \theta\Big) + m(\hat{\theta}) - c\Big(e(\hat{\theta})\Big) \\ &= u(\hat{\theta}) + v\Big(e(\hat{\theta}), \theta\Big) - v\Big(e(\hat{\theta}), \hat{\theta}\Big). \end{aligned}$$

Portanto,

$$u(\hat{\theta}) - u(\theta) \leq v\Big(e(\hat{\theta}), \hat{\theta}\Big) - v\Big(e(\hat{\theta}), \theta\Big).$$

Através de um processo análogo, podemos obter

$$u(\theta) - u(\hat{\theta}) \leq v\Big(e(\theta), \theta\Big) - v\Big(e(\theta), \hat{\theta}\Big).$$

Rearranjando,

$$u(\hat{\theta}) - u(\theta) \geq v\Big(e(\theta), \hat{\theta}\Big) - v\Big(e(\theta), \theta\Big).$$

Assim,

$$v\Big(e(\theta), \hat{\theta}\Big) - v\Big(e(\theta), \theta\Big) \leq u(\hat{\theta}) - u(\theta) \leq v\Big(e(\hat{\theta}), \hat{\theta}\Big) - v\Big(e(\hat{\theta}), \theta\Big).$$

Defina então a função $g(e) := v(e, \hat{\theta}) - v(e, \theta)$ *e note que* $g\Big(e(\theta)\Big) \leq g\Big(e(\hat{\theta})\Big)$ *e que* $g'(e) = v_e(e, \hat{\theta}) - v_e(e, \theta)$. *Como, por Single-Crossing,* $v_{e\theta}(e, \hat{\theta}) > 0$, *então* $g'(e) > 0$. *Segue da monotonicidade de* g *que*

$$g\Big(e(\theta)\Big) \leq g\Big(e(\hat{\theta})\Big) \iff e(\theta) \leq e(\hat{\theta}).$$

Uma vez que obtivemos $g\Big(e(\theta)\Big) \leq g\Big(e(\hat{\theta})\Big)$, *podemos concluir que* $e(\theta) \leq e(\hat{\theta})$. *Isto é,* $e(\theta)$ *é não-decrescente, como queríamos demonstrar. O caso em que* $\hat{\theta} < \theta$ *é análogo.*

($\Longleftarrow$) *Agora, suponha que a Condição de Envelope é atendida e* $e(\theta)$ *é não-decrescente. Queremos demonstrar que a Compatibilidade de Incentivos é satisfeita. Mais uma vez, tome primeiro o caso em que* $\theta > \hat{\theta}$. *Temos que*

$$\begin{aligned}
u(\hat{\theta}|\theta) &= v(e(\hat{\theta}), \theta) + m(\hat{\theta}) - c(e(\hat{\theta})) \\
&= v(e(\hat{\theta}), \hat{\theta}) + m(\hat{\theta}) - c(e(\hat{\theta})) + (v(e(\hat{\theta}), \theta) - v(e(\hat{\theta}), \hat{\theta})) \\
&= u(\hat{\theta}|\hat{\theta}) + (v(e(\hat{\theta}), \theta) - v(e(\hat{\theta}), \hat{\theta})) \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\hat{\theta}} v_\theta(e(x), x)dx + (v(e(\hat{\theta}), \theta) - v(e(\hat{\theta}), \hat{\theta}))
\end{aligned}$$

em que a última desigualdade segue que (3.14).

Queremos provar que $u(\theta|\theta) - u(\hat{\theta}|\theta) \geq 0$. *Abrindo o lado esquerdo desta expressão, temos*

$$\begin{aligned}
u(\theta|\theta) - u(\hat{\theta}|\theta) &= \int_{\underline{\theta}}^{\theta} v_\theta(e(x), x)dx - \left[\int_{\underline{\theta}}^{\hat{\theta}} v_\theta(e(x), x)dx + (v(e(\hat{\theta}), \theta) - v(e(\hat{\theta}), \hat{\theta}))\right] \\
&= \int_{\hat{\theta}}^{\theta} v_\theta(e(x), x)dx - (v(e(\hat{\theta}), \theta) - v(e(\hat{\theta}), \hat{\theta})) \\
&= \int_{\hat{\theta}}^{\theta} v_\theta(e(x), x)dx - \int_{\hat{\theta}}^{\theta} v_\theta(e(\hat{\theta}), x)dx \\
&= \int_{\hat{\theta}}^{\theta} [v_\theta(e(x), x) - v_\theta(e(\hat{\theta}), x)]dx
\end{aligned}$$

Da propriedade de Single-Crossing, sabemos que $v_\theta\Big(e(\theta), \theta\Big)$ *é crescente em* $e(\theta)$*. Além disso,* $e(\theta)$ *é não-decrescente por hipótese. Logo, ao integrar em nos tipos a partir de* $\hat{\theta}$*, devemos ter que*

$$\int_{\hat{\theta}}^{\theta} [v_\theta(e(x), x) - v_\theta(e(\hat{\theta}), x)]dx \geq 0.$$

Logo, a Compatibilidade de Incentivos é atendida:

$$u(\theta|\theta) - u(\hat{\theta}|\theta) \geq 0.$$

O caso em que $\theta < \hat{\theta}$ *é análogo, enquanto que o caso em que* $\theta = \hat{\theta}$ *é trivial.* □

Desta maneira, após escolher o mecanismo ótimo, basta provar que $e(\theta)$ é uma função crescente em seu argumento. Com isto, dado que a Condição de Envelope será imposta no problema do governo, a Compatibilidade de Incentivos estará assegurada. Neste cenário em que há problema informacional, o governo possui o seguinte problema primitivo:

$$\max_{e(\cdot), m(\cdot)} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} u(\theta)f(\theta)d\theta - (1+\lambda)\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} m(\theta)f(\theta)d\theta.$$

Note que este problema e o problema apresentado no caso anterior são, essencialmente, o mesmo. A diferença é que, agora, é preciso satisfazer a restrição de Compatibilidade Incentivos, pois caso contrário, os tipos podem não ser mais verdadeiramente revelados pelos agentes sob a política ambiental $\Big(e(\theta), m(\theta)\Big)$ designada pelo governo. Desta forma, as condições de otimalidade dos dois problemas são comparáveis.

Usando a mesma restrição de preservação ambiental mínima, o lagrangeano do problema do governo será

$$\begin{aligned}\mathcal{L}\Big(e(\cdot), m(\cdot), \phi\Big) &= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} u(\theta)f(\theta)d\theta - (1+\lambda)\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} m(\theta)f(\theta)d\theta + \phi\left[\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta - k^*\right] \\ &= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg(u(\theta) - (1+\lambda)m(\theta) + \phi e(\theta)\Bigg)f(\theta)d\theta - \phi k^*\end{aligned}$$

onde ϕ pode ser entendido como o preço-sombra da preservação ambiental.

Substituindo a equação (3.14) e $m(\theta)$ obtida através da utilidade na função objetivo do governo, teremos o seguinte lagrangeano:

$$\begin{aligned}
\hat{\mathcal{L}}\Big(e(\cdot),\phi\Big) &= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg(-(1+\lambda)u(\theta) + (1+\lambda)v\Big(e(\theta),\theta\Big) - (1+\lambda)c\Big(e(\theta)\Big) + u(\theta) \\
&\quad + \phi e(\theta)\Bigg) f(\theta)d\theta - \phi k^* \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg(\lambda u(\theta) + (1+\lambda)v\Big(e(\theta),\theta\Big) - (1+\lambda)c\Big(e(\theta)\Big) + \phi e(\theta)\Bigg) f(\theta)d\theta - \phi k^* \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg[\lambda \Bigg(\int_{\underline{\theta}}^{\theta} v_\theta\Big(e(x),x\Big)dx \Bigg) + (1+\lambda)v\Big(e(\theta),\theta\Big) - (1+\lambda)c\Big(e(\theta)\Big) \\
&\quad + \phi e(\theta)\Bigg] f(\theta)d\theta - \phi k^*).
\end{aligned}$$

Integrando por partes, temos

$$\begin{aligned}
\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \int_{\underline{\theta}}^{\theta} v_\theta\Big(e(x),x\Big)dx f(\theta)d\theta &= \int_{\underline{\theta}}^{\theta} v_\theta\Big(e(x),x\Big)dx F(\theta)\Big]_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} - \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} v_\theta\Big(e(\theta),\theta\Big)F(\theta)d\theta \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} v_\theta\Big(e(\theta),\theta\Big)d\theta - \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} v_\theta\Big(e(\theta),\theta\Big)F(\theta)d\theta \\
&= \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Big(1 - F(\theta)\Big) v_\theta\Big(e(\theta),\theta\Big)d\theta.
\end{aligned}$$

Inserindo este resultado no lagrangeano do governo,

$$\begin{aligned}
\hat{\mathcal{L}}(e,\phi) = \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg[\lambda \Bigg(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)} \Bigg) v_\theta\Big(e(\theta),\theta\Big) + (1+\lambda)v\Big(e(\theta),\theta\Big) - (1+\lambda)c\Big(e(\theta)\Big) + \\
\phi e(\theta)\Bigg] f(\theta)d\theta - \phi k^*.
\end{aligned}$$

Por fim, maximizando ponto a ponto,

$$\lambda \Bigg(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)} \Bigg) v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big) + (1+\lambda)v_e\Big(e(\theta),\theta\Big) - (1+\lambda)c'\Big(e(\theta)\Big) + \phi = 0.$$

Rearranjando os termos, temos a seguinte condição:

$$\Bigg(\frac{\lambda}{1+\lambda} \Bigg) \Bigg(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)} \Bigg) v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big) + v_e\Big(e(\theta),\theta\Big) + \frac{\phi}{1+\lambda} = c'\Big(e(\theta)\Big). \tag{3.16}$$

Além disso, também é preciso atender

$$\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta = k^*.$$

Resta mostrar, finalmente, que $e(\theta)$ é crescente em seu argumento. Tomando a derivada total de (3.16), temos

$$\left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right)\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)v_{\theta ee}\Big(e(\theta),\theta\Big)e'(\theta)+\left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right)\left[\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)'v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big)\right.$$
$$\left.+\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)v_{\theta e\theta}\Big(e(\theta),\theta\Big)\right]+v_{ee}\Big(e(\theta),\theta\Big)e'(\theta)+v_{e\theta}\Big(e(\theta),\theta)\Big)=c''\Big(e(\theta)\Big)e'(\theta).$$

Rearranjando os termos, encontramos a seguinte expressão:

$$e'(\theta)=\frac{\left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right)\left[\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)'v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big)+\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)v_{\theta e\theta}\Big(e(\theta),\theta\Big)\right]+v_{e\theta}\Big(e(\theta),\theta)\Big)}{c''(e(\theta))-\left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right)\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)v_{\theta ee}\Big(e(\theta),\theta\Big)-v_{ee}\Big(e(\theta),\theta\Big)}.$$

Por hipótese, sabemos que $c''\Big(e(\theta)\Big)>0$, que $\frac{\lambda}{1+\lambda}>0$, que $v_{ee}\Big(e(\theta),\theta\Big)\leq 0$ e que $v_{\theta ee}\Big(e(\theta),\theta\Big)\leq 0$. Além disso, é sempre verdadeiro que $\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}>0$. Logo, temos um denominador estritamente positivo. Quanto ao numerador, observe que $v_{e\theta}\Big(e(\theta),\theta\Big)>0$ pela hipótese de *Single-Crossing*, enquanto que, novamente, é sempre verdadeiro que $\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}>0$. Além disso, por hipótese, $v_{\theta e\theta}\Big(e(\theta),\theta\Big)\geq 0$. Portanto, para que o numerador seja estritamente positivo e, desta forma, a política de esforço seja crescente no tipo dos agentes, é necessário que

$$\left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right)\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)'+1\geq 0, \tag{3.17}$$

ou, equivalentemente,

$$\left|\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right|\leq 1+\frac{1}{\lambda}. \tag{3.18}$$

Vamos supor que esta condição é atendida. Note que, por exemplo, a distribuição uniforme atende a este critério. Resta mostrar agora que existe um valor real ϕ^* para multiplicador de Lagrange que atende à condição (3.16) e compõe a solução do problema do governo.

Proposição 2: *existe um único ϕ^* tal que a condição (3.16) é satisfeita.*

Demonstração: *Defina a seguinte função:*

$$h(\phi,\theta,e):=\lambda\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)v_{\theta e}(e,\theta)+(1+\lambda)v_e(e,\theta)-(1+\lambda)c'(e)+\phi$$

e note que $h(\phi,\theta,e)$ é contínua em todos os seus argumentos. Defina agora $e(\theta,\phi)$ sendo o nível de esforço que faz com que $h\Big(\phi,\theta,e(\phi,\theta)\Big)=0$. Tome, então, $\phi\geq 0$ e $\theta\in\Big[\underline{\theta},\overline{\theta}\Big]$ arbitrários. Note que $h(\phi,\theta,0)>0$, pois, para todo e, $v_{\theta e}(e,\theta)>0$, $v_e(e,\theta)\geq 0$ e, ainda, $c'(0)=0$. Além disso, $\lim_{e\to\infty}h(\phi,\theta,e)=-\infty$, $v_{\theta ee}(e,\theta)\leq 0$ e $v_{ee}(e,\theta)\leq 0$. Desta forma, pelo Teorema do Valor Intermediário, concluímos que existe $e(\phi,\theta)$ tal que $h\Big(\phi,\theta,e(\phi,\theta)\Big)=0$, para todo $\phi\geq 0$ e $\theta\in\Big[\underline{\theta},\overline{\theta}\Big]$.

Agora, perceba que quando $\phi=0$, devemos ter que $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}}e(0,\theta)\leq k^*$, pois estamos interessados apenas em um valor de k^* tal que a restrição do problema seja ativa. Por outro lado, se $\phi\to\infty$, então, para todo θ, $e(\theta,\phi)\to\infty$, pois $\lim_{e\to\infty}c'(e)=\infty$ e $h(\phi,\theta,e)$ é crescente em e. Como o suporte $\Big[\underline{\theta},\overline{\theta}\Big]$ é compacto, $\forall m\in\mathbb{R}$, existe $\phi>0$ tal que $e(\phi,\theta)\geq m$, $\forall\theta$. Desta maneira, para todo m real, e, em especial para $m=k^*+\varepsilon$ com $\varepsilon>0\in\mathbb{R}$, existe $\phi>0$ tal que $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}}e(\phi,\theta)f(\theta)d\theta\geq m$. Desta maneira, podemos mais uma vez aplicar o Teorema do Valor Intermediário para concluir que existe ϕ^* tal que $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}}e(\phi^*,\theta)f(\theta)d\theta=k^*$. Portanto, basta definirmos $e(\theta):=e(\phi^*,\theta)$.

Por fim, a unicidade segue diretamente da convexidade estrita de $c(e)$: $h(\phi,\theta,e)$ será estritamente decrescente em e, de modo que $e(\phi,\theta)$ é único para cada par (ϕ,θ). Além disso, a convexidade estrita de $c(e)$ implica que $e(\phi,\theta)$ é monótono em ϕ e, portanto, $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}}e(\phi^*,\theta)f(\theta)d\theta$ também é monótona em ϕ. Assim, a unicidade de ϕ^* é garantida. □

3.3 Perdas decorrentes do problema informacional

Defina ϕ_{FB} como o multiplicador de Lagrange que resolve o problema com tipos conhecidos, isto é, de *first best* e ϕ_{SB} o multiplicador de Lagrange que resolve o problema com tipos desconhecidos, isto é, de *second best*. No caso em que não há problema informacional, isto é, no *first best*, a condição de otimalidade era dada por (3.9):

$$v_e\Big(e(\theta),\theta\Big)+\phi_{FB}=c'\Big(e(\theta)\Big).$$

Enquanto que, quando há problema informacional, ou seja, no *second best*, a condição de otimalidade é dada pela equação (3.16). Rearranjando, temos

$$\lambda\Big(1-F(\theta)\Big)v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big)+f(\theta)(1+\lambda)v_e\Big(e(\theta),\theta\Big)\Big)+f(\theta)\phi_{SB}=f(\theta)(1+\lambda)c'\Big(e(\theta)\Big).$$

Nos dois casos, o custo marginal de realizar o esforço $e(\theta)$ deve ser igual ao benefício marginal do esforço, dado tal tipo, mais um termo relacionado ao preço-sombra da preservação ambiental. Assim, a condição de *first best* é uma mera internalização de externalidades. Entretanto, primeira diferença a se notar entre esses dois resultados, no entanto, é que, em decorrência do problema informacional, no *second best* o custo e o benefício marginais do esforço estão ponderados $f(\theta)$ e impulsionados pelo preço-sombra dos recursos públicos: a próxima unidade de esforço custa $1+\lambda$.

Na situação com problema informacional, essa ponderação também é feita pela massa de indivíduos na população que tem tipo θ, medida por $f(\theta)$. Esse termo também multiplica ϕ, que pode ser entendido como o benefício da redistribuição dos esforços entre os indivíduos. Finalmente, na condição de *second best*, o termo $\lambda\Big(1-F(\theta)\Big)v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big)$ aperece somando no lado esquerdo da expressão. $\Big(1-F(\theta)\Big)v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big)$ representa a renda informacional marginal que o governo precisa dar aos agentes com tipo maior que θ. Ao multiplicar essa expressão por λ, estamos analisando o custo, em termos de recursos públicos, que o governo tem com o pagamento dessa renda informacional.

Podemos, ainda, definir a função $g\Big(e(\theta)\Big)$ da seguinte forma:

$$g\Big(e(\theta)\Big) := v_e\Big(e(\theta),\theta\Big) - c'\Big(e(\theta)\Big).$$

Com isto, podemos reescrever a condição para o caso sem problema informacional como $g\Big(e(\theta)\Big) + \phi_{FB} = 0$ e, para o caso com problema informacional, como

$$(1+\lambda)g\Big(e(\theta)\Big) + \phi_{SB} + \lambda\left(\frac{1-F(\theta)}{f(\theta)}\right)v_{\theta e}\Big(e(\theta),\theta\Big) = 0.$$

Podemos, então, observar mais claramente os termos que estão na condição de *second best*, mas não na de *first best*, e sabemos que o último termo é estritamente positivo. Todavia, nada pode-se afirmar a respeito da comparação entre ϕ_{FB} e ϕ_{SB}. Adicionalmente, as políticas ótimas derivadas das duas condições devem satisfazer à restrição $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta = k^*$. Desta maneira, não se pode inferir que $e(\theta)$ é maior no caso com ou no caso sem problema informacional. Tal conclusão dependerá das formas assumidas pelas funções de custo e benefício dos agentes, de maneira que esta relação entre as políticas de *first* e *second best* podem ser melhor compreendidas através de um exemplo.

3.4 Exemplo

Nesta seção, vamos explorar um exemplo para as formas funcionais de $v(e,\theta)$ e $c(e)$, a fim de aprofundar a compreensão do modelo. Seja $v(e,\theta) = e\theta$, $c(e) = \frac{1}{2}e^2$, $k^* = 1$ e, para o caso com tipos não observáveis, $\lambda = 1$. Além disso, suponha que $\theta \sim U[0,1]$ e perceba que esta distribuição atende à (3.18) para qualquer $\lambda > 0$. Neste caso, quando não há problemas informacionais, ao aplicar a condição de otimalidade obtemos

$$\theta + \phi = e(\theta).$$

Inserindo esse resultado na restrição $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta)f(\theta)d\theta = 1$, temos

$$\int_0^1 (\theta+\phi)d\theta = \frac{1}{2} + \phi = 1.$$

Desta maneira, o valor do multiplicador no *first best* é um meio:

$$\frac{1}{2} + \phi^*_{FB} = 1 \implies \phi^*_{FB} = \frac{1}{2}.$$

Usando na solução encontada para $e(\theta)$, vemos que a política ótima de *first best* será igual a

$$e^*_{FB}(\theta) = \theta + \phi^*_{FB} \implies e^*_{FB}(\theta) = \theta + \frac{1}{2}.$$

Por outro lado, se o tipo for desconhecido, ao aplicarmos a condição de otimalidade, obtemos o seguinte:

$$\frac{1-\theta}{2} + \theta + \frac{\phi}{2} = e(\theta).$$

Inserindo essa expressão na restrição, como anteriormente, encontramos o valor do multipicador de Lagrange:

$$\int_0^1 \left(\frac{1-\theta}{2} + \theta + \frac{\phi}{2} \right) d\theta = \frac{3}{4} + \frac{\phi}{2} = 1.$$

Assim, $\phi^*_{SB} = \frac{1}{2}$. Plugando esse resultado na solução encontrada para $e(\theta)$ a partir da condição de otimalidade, segue que

$$e^*_{SB}(\theta) = \frac{1-\theta}{2} + \theta + \frac{\phi^*_{SB}}{2} = \frac{\theta}{2} + \frac{3}{4}.$$

Agora, podemos comparar as políticas ótimas escolhidas pelo governo nos dois cenários. Note que $e^*_{FB} > e^*_{SB}$ se, e somente se,

$$\theta + \frac{1}{2} > \frac{\theta}{2} + \frac{3}{4} \iff \theta > \frac{1}{2}.$$

Desta maneira, para estas formas funcionais, o multiplicador de Lagrange é o mesmo com ou sem restrição informacional. No entanto, a política ótima escolhida pelo governo difere entre os casos: o esforço a ser realizado por um agente com tipo θ é maior na situação com informação perfeita, se $\theta > \frac{1}{2}$. Para indivíduos com preferência ambiental acima desse *cut-off*, o esforço ótimo designado pelo governo será maior quando a informação é imperfeita.

Este exemplo ilustra a ausência de dominância direta para todos os agentes entre as duas políticas. Logo, mesmo ao considerar funções custo e benefício genéricas e multiplicador de Lagrange idêntico nos dois casos, pode-se afirmar que uma destas políticas nem sempre recomendará esforço maior do que a outra. No entanto, uma vez que a preservação média obtida através da implementação do mecanismo é a mesma para as duas políticas, vê-se que a política de *first best* domina estocásticamente em segunda ordem a política de *second best*.

4 Modelo com n agentes

Suponha agora uma sociedade com um governo e n agentes i.i.d., cada um com sua própria preferência ambiental θ_i, onde o vetor $\theta := (\theta_1, ..., \theta_n)$. Seus tipos são retirados da mesma distribuição de probabilidade, conforme descrita na seção anterior. Deste modo, o vetor θ é retirado de uma distribuição n-variada. As funções de custo e valorização da preservação também são como descritas na seção anterior, exceto pelo fato de que, agora, cada agente aufere utilidade do esforço realizado por si próprio e pelos demais, mas arca com o custo apenas do próprio esforço. Isto é, definindo agora $\mathbf{e} := (e_1, ..., e_n)$ e $\mathbf{m} := (m_1, ..., m_n)$, para o agente i,

$$U_i(\mathbf{e}, m_i|\theta_i) = v_i(\mathbf{e}, \theta_i) + m_i - c_i(e_i).$$

Nesta economia, a preservação ambiental é gerada a partir da soma do esforço realizado por cada agente, isto é, o nível de conservação ambiental é dado pela função $k(\mathbf{e}) := \sum_{i=1}^n e_i$. Alternativamente, poderíamos definir formatos diferentes para a função $k(\mathbf{e})$, como por exemplo, a função que toma o menor elemento do vetor de esforços dos agentes, ou então uma função que faz outras combinações lineares desses esforços, dando diferentes pesos a diferentes agentes. Diferentes maneiras de capturar a complementaridade que existe entre os agentes são capazes de gerar efeitos distintos. Optou-se por esta forma funcional devido à sua simplicidade, de maneira que a agenda de pesquisa pode avançar ao avaliar outros formatos para a função de preservação ambiental.

4.1 Modelo com tipos observáveis

Agora, A restrição passa a ser $\sum_{i=1}^n \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e_i(\theta) \prod_{i=1}^n f(\theta_i) d\theta_1 \dots d\theta_n \geq k^*$[1]. Além disso, também temos a restrição de participação para cada agente e cada tipo. Com n agentes cujos tipos são conhecidos pelo governo, supondo que o governo dá a todos eles o mesmo peso, temos o seguinte lagrangeano:

$$\begin{aligned} L\Big(\mathbf{e}(\cdot), \mathbf{m}(\cdot), \phi, \alpha(\cdot)\Big) = &\sum_{i=1}^n \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} u_i(\theta) \prod_{i=1}^n f(\theta_i) d\theta_1 \cdots d\theta_n \\ &- (1+\lambda) \sum_{i=1}^n \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} m_i(\theta) \prod_{i=1}^n f(\theta_i) d\theta_1 \cdots d\theta_n \\ &+ \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \alpha(\theta) u_i(\theta) \prod_{i=1}^n f(\theta_i) d\theta_1 \dots d\theta_n. \end{aligned}$$

[1] Caso tivéssemos escolhido $k(\mathbf{e} = \min\{e_1, ..., e_n\}\}$, a restrição de preservação ambiental seria $\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \min\{e_1, ..., e_n\} \prod_{i=1}^n f(\theta) d\theta_1 \dots d\theta_n \geq k^*$.

Novamente, ao considerar os casos em que a restrição de preservação ambiental é ativa e a restrição de participação é inativa, condições de primeira ordem deste problema serão muito similares àquelas do problema com apenas um único agente:

$$\sum_{i=1}^{n} v_{e_j}\Big(\mathbf{e}(\theta), \theta_i\Big) = c_{e_j}\Big(e_j(\theta)\Big) - \phi \tag{4.1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e_i(\theta) \prod_{i=1}^{n} f(\theta_i) d\theta_1 \dots d\theta_n = k^*$$

Também como anteriormente, a dupla $\Big(\mathbf{e}^*(\theta), \mathbf{0}\Big)$ constituída por um $\mathbf{e}^*(\theta)$ que satisfaça essas condições e o vetor de pagamentos nulo é a política ambiental ótima sob uma situação sem assimetria de informação.

4.2 Modelo com tipos não observáveis

Suponha agora que o vetor de tipos θ é desconhecido pelo governo. Fazendo um processo análogo ao que foi feito para o caso com um único agente, obtemos o seguinte lagrangeano do governo:

$$\begin{aligned}\hat{\mathcal{L}}(\mathbf{e}, \phi) = \sum_{i=1}^{n} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \Bigg[\lambda \left(\frac{1 - F(\theta_i)}{f(\theta_i)}\right) v_{\theta_i}\Big(\mathbf{e}(\theta), \theta_i\Big) + (1 + \lambda) v\Big(\mathbf{e}(\theta), \theta_i\Big) \\ -(1 + \lambda) c\Big(e_i(\theta)\Big) + \phi e_i(\theta)\Bigg] \prod_{i=1}^{n} f(\theta_i) d\theta_1 \dots d\theta_n - \phi k^*\end{aligned}$$

Maximizando ponto a ponto, temos as seguintes condições de otimalidade:

$$\left(\frac{\lambda}{1 + \lambda}\right) \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1 - F(\theta_i)}{f(\theta_i)}\right) v_{\theta_i e_j}\Big(\mathbf{e}(\theta), \theta_i\Big) + \sum_{i=1}^{n} v_{e_j}\Big(\mathbf{e}(\theta), \theta_i\Big) - c_{e_j}\Big(e_i(\theta)\Big) + \frac{\phi}{1 + \lambda} = 0 \tag{4.2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e_i(\theta) \prod_{i=1}^{n} f(\theta_i) d\theta_1 \dots d\theta_n - k^* = 0 \tag{4.3}$$

Desta forma, temos agora que a política ótima precisa satisfazer simultaneamente (4.2) e (4.3).

4.3 Perdas decorrentes do problema informacional

Com n agentes na economia, para cada agente i, as condições de otimalidade do *first* e do *second best* são, respectivamente, dadas por (4.1) e (4.2):

$$\sum_{i=1}^{n} v_{e_i}\Big(\mathbf{e}(\theta), \theta_i\Big) + \phi_{FB} = c_{e_j}\Big(e_j(\theta)\Big)$$

$$\left(\frac{\lambda}{1+\lambda}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1-F(\theta_i)}{f(\theta_i)}\right)v_{\theta_i e_j}\Big(\mathbf{e}(\theta),\theta_i\Big)+\sum_{i=1}^{n}v_{e_j}\Big(\mathbf{e}(\theta),\theta_i\Big)-c_{e_j}\Big(e_i(\theta)\Big)+\frac{\phi}{1+\lambda}=0$$

Agora, as políticas $e_i(\theta)$ são interdependentes: a valoração de um agente j à preservação ambiental estará presente na condição de otimalidade para o agente i. Como a função $v(\mathbf{e},\theta_i)$ é crescente em todos os seus argumentos e como $v_{\theta_i e_j}(\mathbf{e},\theta_i)>0$, estamos acrescentando termos estritamente positivos nas condições de otimalidade dos dois casos. Todavia, o acréscimo na condição da situação com problema informacional é ainda maior, pois o somatório dos termos $v_{\theta_i e_j}(\mathbf{e},\theta_i)>0$ só está presente nesse segundo caso. Ainda assim, novamente não podemos comparar os valores dos multiplicadores de Lagrange e, portanto, estabelecer uma relação direta de dominância entre as políticas de *first* e *second best*. Esta relação será ilustrada em maior detalhe na seção seguinte.

A interpretação permanece análoga: a primeira condição é uma mera internalização de externalidades, enquanto que na segunda condição, temos a ponderação pela massa da população em cada tipo e pelo preço-sombra dos recursos públicos, além da renda informacional. As únicas diferenças são o acréscimo na renda informacional e o maior benefício que precisa ser, quando somado ao multiplicador de Lagrange, igual ao custo da realização do esforço para o agente j com tipo θ_j. Além disso, a renda informacional agora leva em consideração a externalidade presente nesta economia. Desta forma, agora não basta que cada agente iguale, grosso modo, benefício e custo marginais de seu esforço, dado seu tipo. É preciso considerar também o benefício marginal auferido pelos demais agentes a partir do esforço realizado pelo agente j.

4.4 Retomando o Exemplo

Vamos reformular o exemplo do capítulo que trata do modelo com um único agente, a fim de que analisemos os resultados para uma economia bastante similar, mas agora com $n=2$. Seja então $v_i(\mathbf{e},\theta_i)=(e_1+e_2)\theta_i$, $c_i(e_i)=\frac{1}{2}e_i^2$ e, $k^*=4$. Suponha ainda que $\lambda=1$ para o caso com tipos não observáveis, e que $\theta_i\sim_{i.i.d.}U[0,1]$. Com isto, quando não há problema informacionais, as condições de otimalidade de *first best* são da forma

$$\theta_i+\theta_j+\phi=e_i(\theta).$$

Assim, temos que satisfazer a seguinte restrição:

$$\int_0^1\int_0^1\Big(\theta_1+\theta_2+\phi_{FB}\Big)d\theta_1 d\theta_2+\int_0^1\int_0^1\Big(\theta_1+\theta_2+\phi_{FB}\Big)d\theta_1 d\theta_2=4.$$

Obtemos, portanto, $\phi_{FB}^*=1$ e

$$\mathbf{e}_{FB}^*(\theta)=\Big(\theta_1+\theta_2+1,\theta_1+\theta_2+1\Big).$$

Com tipos desconhecidos, as condições de otimalidade serão da forma

$$e_i(\theta_i) = \frac{1 + \theta_i + 2\theta_j + \phi_{SB}}{2}.$$

Portanto, a restrição a ser satisfeita é

$$\int_0^1 \int_0^1 \left(\frac{1 + \theta_i + 2\theta_j + \phi_{SB}}{2} \right) + \int_0^1 \int_0^1 \left(\frac{1 + \theta_i + 2\theta_j + \phi_{SB}}{2} \right) = 4,$$

de onde concluímos que $\phi_{SB} = \frac{3}{2}$ e

$$\mathbf{e}^*_{FB} = \left(\frac{5}{4} + \frac{\theta_1}{2} + \theta_2, \frac{5}{4} + \frac{\theta_2}{2} + \theta_1 \right).$$

Mais uma vez, a política de *first best* estará impondo um esforço maior aos agentes apenas com tipo $\theta_i > 1/2$, enquanto que a política de *second best* impõe maior esforço aos demais tipos.

Note que, diferentemente do caso com n agentes, o esforço escolhido para o agente i não depende unicamente do seu próprio tipo. Assim, na presença de múltiplos agentes, existe interdependência na escolha da política ótima. Adicionalmente, perceba que o nível de preservação ambiental exigido pelo governo deve ser, proporcionalmente ao número de agentes, maior. De fato, se fosse escolhido $k^* = n$, o caso com um único agente permaneceria inalterado, mas o caso com n agentes apresentaria uma restrição inativa, pois obteríamos $\phi_{FB} = 0$ e um multiplicador negativo para o *second best*.

4.5 Risco Moral e o Problema do Carona

Diante dos resultados das seções anteriores, é preciso adicionar o problema de risco moral e dar aos agentes a possibilidade de realizar um nível de esforço diferente daquele prescrito pelo governo para seu tipo, a fim de compreender melhor os efeitos do problema do carona sobre esta economia. A partir do momento em que o governo não for mais capaz de verificar se a ação designada para cada agente foi mesmo realizada, e nem de usar poder de coerção para tanto, os agentes podem esperar que os demais a realizem e que a meta social de preservação k^* seja atingida. Mas, se esta for a escolha realizada por todos os agentes, a meta k^* não será atingida. Desta forma, o governo precisará estabelecer também um mecanismo de punição para estimular os agentes a agirem conforme a política prescrita.

Existem diversas possibilidades para esse mecanismo de punição. A que talvez seja a mais natural, é usar o pagamento monetário m_i, uma vez que nas políticas ótimas anteriores o governo escolhia $m(\theta_i) = 0$ para todo $\theta_i \in \left[\underline{\theta}, \overline{\theta}\right]$. Com isto, introduzimos um jogo sequencial nesta economia: primeiro, o governo escolhe o nível de esforço ótimo $\mathbf{e}^*(\theta)$ e um pagamento $\mathbf{m}^*(\theta)$, estabelecendo uma espécie de contrato social com os agentes: o pagamento $\mathbf{m}^*(\theta)$ só é recebido quando a restrição $\sum_{i=1}^{n} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e_i(\theta) \prod_{i=1}^{n} f(\theta_i) d\theta_1 \ldots d\theta_n = k^*$ é atendida.

Após a otimização do governo, os agentes escolhem um nível de esforçon a ser realizado. Após isso, o governo observa $\sum_{i=1}^{n} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e_i(\theta) \prod_{i=1}^{n} f(\theta_i) d\theta_1 \ldots d\theta_n$ e, caso $\sum_{i=1}^{n} \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \cdots \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e_i(\theta) \prod_{i=1}^{n} f(\theta_i) d\theta_1 \ldots d\theta_n \geq k^*$, então os agentes recebem o pagamento $m^*(\theta)$. Este processo é descrito na Figura 1:

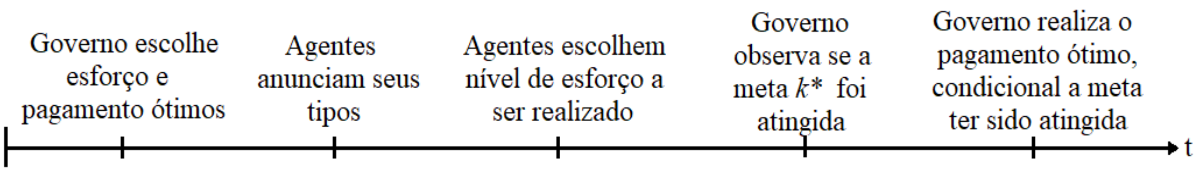

Figura 1 – Cronologia do modelo com risco moral

Note que, agora, estamos procurando um equilíbrio de Nash. Isto é, cada agente i escolherá um nível de esforço e_i^* tal que

$$e_i^*(\theta) \in \underset{e_i \in \mathbb{R}_+}{\operatorname{argmax}}\, v(e_{-i}^* + e_i, \theta) + m_i(\theta_i) - c(e_i^*).$$

Conclusão

O crescimento econômico gera uma forte pressão sobre os recusos naturais. Entretanto, a conservação ambiental também impacta diretamente o desenvolvimento econômico. Desta maneira, torna-se imprescindível elaborar políticas que contribuam para a preservação do meio ambiente. No entanto, existem inúmeras dificuldades envolvendo essa questão, dentre as quais destaca-se a assimetria informacional. Em especial, as preferências dos indivíduos são, em geral, desconhecidas pelos *policy makers*.

Diante disso, este estudo visou contribuir com a literatura relacionando a revelação da informação privada à discussão da conservação do meio ambiente. Teve-se como objetivo compreender os incentivos para preservação ambiental diante de uma economia em que os indivíduos possuem preferências ambientais heterogêneas e desconhecidas pelo governo. Para tanto, empregou-se o ferramental de Desenho de Mecanismo para induzir revelação da verdade sobre a tal preferência, de maneira a permitir uma decisão social consistente com as preferências dos agentes sobre o meio ambiente.

O uso de preferências quase-lineares levou à elaboração de políticas ambientais para os casos sem e com problema informacional, sendo esta última compatível com incentivos. Mostrou-se que a relação entre as políticas de *first* e *second best* não será, necessariamente, de dominância estrita. Em particular, foi descrita uma economia com um *cut-off*: o esforço prescrito no *first best* é maior para tipos com maior preferência ambiental, enquanto que o esforço prescrito no *second best* é maior para os agentes com preferências ambientais mais baixas.

Assim, quando os agentes não podem revelar falsas preferências, aqueles que dão mais valor a um meio ambiente bem conservado terão que fazer maior esforço para tanto, enquanto que, quando existe a possibilidade de subestimar ou superestimar sua preferência ambiental a fim de arcar com menor custo de esforço, os agentes que não fazem tanta questão de ter o meio ambiente preservado terão que realizar maior esforço de conservação.

Esta conclusão aplica-se ao modelo com um único agente, e também ao modelo com múltiplos agentes. A distinção entre estas duas situações consiste no fato de que quando existe mais de um agente na economia, a política ótima prescrita para um determinado agente depende da sua própria preferência ambiental, e também da preferência ambiental dos demais.

Além disso, em todas as situações analisadas, o pagamento ótimo a ser realizado pelo governo é nulo. Não foi exigida a satisfação da Restrição de Participação para os agentes e considerou-se que o governo observa se os agentes realizaram, de fato, o esforço prescrito. Desta forma, retirar a compulsoriedade da participação e introduzir risco moral nesse modelo pode representar um avanço significativo na agenda de pesquisa, especialmente para compreender mais profundamenta o problema do carona no contexto do papel da informação privada na elaboração de políticas ambientais.

Apêndice I: Restrição de Participação ativa

No modelo com um único agente com tipo observável, as equações (3.1) a (3.8) estabelecem as condições de otimalidade para a resolução do problema do governo. Analisamos apenas os casos nos quais a Restrição de Preservação é ativa, pois os demais fogem ao interesse dessa pesquisa. Assim, (3.6) vale com desigualdade estrita, (3.3) vale em igualdade e (3.7) é atendida.

No entanto, consideramos que a Restrição de Participação era ativa, de maneira que (3.4) vale com desigualdade estrita, enquanto que (3.5) assume valor nulo para todo tipo. Assim, (3.8) é atendida e restou trabalhar com versões simplificadas de (3.1), (3.2) e (3.3).

Agora, analisaremos o caso em que a Restrição de Participação é ativa para pelo menos algum tipo θ. Então, $\alpha\Big(\theta\Big) > 0$. Assim, de (3.1) e de (3.2) segue que é necessário atender

$$v_e\Big(e(\theta), \theta\Big) = c'\Big(e(\theta)\Big) - \frac{\phi}{1+\alpha(\theta')}$$

e, de (3.4),

$$v\Big(e(\theta), \theta\Big) = c\Big(e(\theta)\Big),$$

além de (3.3) em igualdade:

$$\int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} e(\theta) f(\theta) d\theta - k^* = 0.$$

Essas três condições nos dão a solução do problema no caso em que a Restrição de Participação é ativa.

Finalmente, note que das duas primeiras destas condições, na política ótima $e^*(\theta)$, temos que

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\theta}\Big(v\Big(e^*(\theta), \theta\Big) - c\Big(e^*(\theta)\Big)\Big) &= v_e\Big(e^*(\theta), \theta\Big)\dot{e}^*(\theta) + v_\theta\Big(e^*(\theta), \theta\Big) - c'\Big(e^*(\theta)\Big)\dot{e}^*(\theta) \\ &= \frac{\phi}{1+\alpha(\theta)}\dot{e}^*(\theta) + v_\theta\Big(e^*(\theta), \theta\Big). \end{aligned}$$

Sob (3.18) ajeitada, todos os termos do lado direito da expressão são estritamente positivos. Logo, temos uma expressão que é crescente no tipo θ dos agentes. Assim, ao atender a Restrição de Participação para o tipo mais baixo, estamos também atendendo a esta restrição para os demais tipos. Ou ainda, quando atendemos a esta restrição para um determinado θ', estamos atendendo-a para todo $\theta \in \left[\underline{\theta}, \overline{\theta}\right]$ tal que $\theta \geq \theta'$.

Bibliografia

Ambec, S. & Ehlers, L. (2008). Cooperation and equity in the river sharing problem. *Game Theory Policy Mak. Nat. Resour. Environ. Routledge Publishers*, 112–131.

Baliga, S. & Maskin, E. Mechanism design for the environment. Em: *Handbook of environmental economics*. Vol. 1. Elsevier, 2003, pp. 305–324.

Benin, S. & Pender, J. (2006). Collective action in community management of grazing lands: the case of the highlands of northern Ethiopia. *Environment and Development Economics*, *11*(1), 127–149.

Dawes, R. (1975). Formal Models of Dilemmas in Social Decision-Making. Human Judgement and Decision Processes. M. Kaplan and S. Schwartz.

Dawes, R. M. (1973). The commons dilemma game: An n-person mixed-motive game with a dominating strategy for defection. *ORI Research Bulletin*, *13*(2), 1–12.

Delacote, P. Contributions of game theory to the analysis of consumer boycotts. Em: *Game Theory and Policy Making in Natural Resources and the Environment*. Routledge, 2008, pp. 286–297.

Dinar, A., Albiac, J., Sánchez-Soriano, J. et al. (2008a). *Game theory and policymaking in natural resources and the environment* (Vol. 10). Routledge London.

Dinar, A., Farolfi, S., Patrone, F. & Rowntree, K. (2008b). To negotiate or to game theorize: evaluating water allocation mechanisms in the Kat Basin, South Africa. *Game Theory and Policymaking in Natural Resources and the Environment*, 85–111.

Fragnelli, V. & de Agostini, R. (2006). A Fair Tariff System for Water Management. *Zaragoza*, *10*, 12.

Goodhue, R. E. & McCarthy, N. Traditional grazing rights in sub-Saharan Africa and the role of policy. Em: *Game theory and policy making in natural resources and the environment*. Routledge, 2008, pp. 62–84.

Hardin, G. (1968). TheTragedyoftheCommons.

Madani, K. (2013). Modeling international climate change negotiations more responsibly: Can highly simplified game theory models provide reliable policy insights? *Ecological Economics*, *90*, 68–76.

Maskin, E. S. (2008). Mechanism design: How to implement social goals. *American Economic Review*, *98*(3), 567–76.

McCarthy, N., Kamara, A. B. & Kirk, M. (2003). Co-operation in Risky Environments: Evidence from Southern Ethiopia. *Journal of African Economies*, *12*(2), 236–270.

McCarthy, N. & Vanderlinden, J.-P. (2004). Resource management under climatic risk: a case study from Niger. *Journal of Development Studies*, *40*(5), 120–142.

Mookherjee, D. (2008). The 2007 nobel memorial prize in mechanism design theory. *The Scandinavian Journal of Economics*, 237–260.

Munro, G. R. (2009). Game theory and the development of resource management policy: the case of international fisheries. *Environment and Development Economics*, *14*(1), 7–27.

Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge university press.

Poulopoulos, S. Introduction to environment and development. Em: *Environment and Development*. Elsevier, 2016, pp. 1–43.

Tadelis, S. (2013). *Game theory: an introduction*. Princeton university press.

—