



Cooperação global e mudanças climáticas: uma análise a partir da Teoria dos jogos.

Erika Mayumi Ogawa¹
Cristiane Gomes Barreto²

RESUMO:

Essa pesquisa emerge do preocupante cenário das mudanças climáticas globais, cujas ferramentas de mitigação são traçadas em acordos e protocolos internacionais. O objetivo é analisar as decisões e estratégias de grupos de países em relação às suas políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas globais em diferentes cenários, a partir da abordagem da Teoria dos Jogos. Essa ferramenta permite estudar os desafios da ação coletiva e a estrutura subjacente das estratégias quanto às políticas de mudanças climáticas. A primeira etapa da pesquisa é o levantamento de dados como, normas do Acordo de Paris, valores do custo de mitigação e adaptação, em seguida será modelar o jogo, que contará com três jogadores. Em seguida, é feito o cálculo matemático e nessa etapa são identificados os *payoffs* de cada país para reduzir as emissões. As estratégias são analisadas no *software* GAMBIT, cuja avaliação busca identificar se existem estratégias dominantes de cooperação, bem como, um ou mais equilíbrios de Nash entre países nos acordos internacionais sobre mudanças climáticas e avaliar as escolhas que possam incentivar a cooperação com benefícios nacionais e globais. Para tanto, foram selecionados, como jogadores, os Estados Unidos, China e Brasil. Os resultados poderão acenar potencialidades e deficiências no Acordo de Paris, evidenciando por exemplo, a necessidade de incentivos para a cooperação caso seja encontrado o equilíbrio de Nash, ou seja, um equilíbrio não-cooperativo. Considerando a retirada dos Estados Unidos do Acordo será possível avaliar o impacto disso nos benefícios esperados globalmente e, em especial, para os países analisados: Brasil e China.

Keywords: Tragédia dos Comuns; Acordo de Paris; GAMBIT.

¹ Graduada (Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Brasil). Ogawa.erikajp@gmail.com

² Doutora em Política e Gestão Ambiental pelo CDS-UnB (Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasil). crisgbarreto@gmail.com.

Um dos problemas ambientais que mais preocupa os atores internacionais é a questão das mudanças climáticas, que está interligada ao aquecimento global causado pela alta quantidade de poluentes emitidos no ar. As consequências sobre o aumento de temperatura da Terra podem acarretar em sérios impactos aos sistemas biofísicos e socioeconômicos. Dada a dimensão dos impactos previstos pelas mudanças climáticas globais, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC) têm reunido diversos atores internacionais para a discussão de estratégias em torno dessas questões.

O Protocolo de Kyoto é um dos acordos internacionais resultantes da UNFCCC, ratificado por 182 países em 1997, na terceira sessão da conferência das partes (*Conference of Parties* – COP 3) em Kyoto, Japão. Nessa ocasião foram propostas alternativas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 2008 e 2012, no qual 37 países e a Comunidade Europeia se comprometeram em reduzir as emissões a uma média de 5% dos níveis de 1990. Na COP 8, ocorrida em dezembro de 2012 em Doha, Qatar, ficou acordada uma prorrogação no Protocolo que estabelecia um segundo período de comprometimento entre as partes. Durante o segundo período (2013-2020), as partes diminuiriam a emissão dos GEE em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990 (UNFCCC, 2017).

Em 2010, o Japão declinou do segundo comprometimento alegando o enfrentamento de possíveis restrições que, por outro lado, não afetariam outras economias concorrentes. Essa posição foi seguida pela Nova Zelândia, Rússia, Ucrânia e outros países. Cinco anos após vigorar o Protocolo de Kyoto, 37 países superaram a meta de redução de 5% das emissões de GEE até 2012. Contudo, as emissões globais aumentaram em mais de 16% (Schiemeier, 2012). Países desenvolvidos como a Alemanha e a Dinamarca reduziram as suas emissões em 21% em relação aos níveis de 1990, enquanto Portugal, aumentou as suas emissões em 27% (Schiemeier, 2012).

Uma das questões atribuídas ao descompasso do Protocolo de Kyoto foi o endereçamento das responsabilidades em duas categorias: um conjunto de países ricos com responsabilidades ambiciosas e um conjunto de economias menos desenvolvidas - incluindo a China - sem responsabilidades (Schiemeier, 2012). Esses “progressos desiguais” resultam de um raciocínio enviesado de estratégias individuais para uma questão cujos custos e benefícios são globais. Além disso, as negociações são governadas pelo consenso e pequenos grupos de países podem frequentemente bloquear o progresso das negociações.

Na “lógica da ação coletiva”, Olson (1999) afirma que indivíduos racionais e egoístas não agem no sentido de assegurar interesses comuns a menos que sejam coagidos ou induzidos por meio de incentivos. Na ausência de autoridade coercitiva internacional no caso das mudanças climáticas, a

cooperação demanda uma percepção das partes em relação aos benefícios resultantes da cooperação e devem compartilhar uma visão de responsabilidade comum. Nesse sentido, a Teoria dos Jogos é uma ferramenta que permite estudar os desafios da ação coletiva e a estrutura subjacente das estratégias quanto às políticas de mudanças climáticas nacionais. Em se tratando de externalidades globais como as mudanças climáticas, os tratados devem valorizar mecanismos estratégicos em que os ganhos individuais e coletivos (nacionais e globais) sejam maximizados na mesma proporção (Stern, 2006).

Tendo em vista o fim do Protocolo de Kyoto em 2020, o Acordo de Paris foi aprovado pelos 197 países parte da UNFCCC para reduzir emissões de GEE a partir de 2020. O compromisso demanda a participação de todos os países signatários e tem como meta principal limitar o aumento da temperatura de 1,5 a 2°C acima dos níveis pré-industriais. Para que comece a vigorar, necessita da ratificação de pelo menos 55 países responsáveis por 55% das emissões de GEE. No que diz respeito ao financiamento climático, o Acordo de Paris determina que os países desenvolvidos deverão investir 100 bilhões de dólares por ano em medidas de combate à mudança do clima e adaptação, em países em desenvolvimento. Como forma de garantir a adesão da maior parte das nações, ficou acordada uma adesão com metas voluntárias, arbitradas pelos governos (UNFCCC, 2017).

Essa estratégia de política descentralizadora adotada pelo Acordo de Paris pode não resolver o problema do clima na urgência que essa questão demanda, contudo, essa abordagem poderá conduzir gradualmente a uma cooperação internacional sem precedentes (Keohane & Victor, 2016).

Por isso, algumas medidas de estratégias devem ser adotadas pelos atores internacionais em busca de minimizar os impactos causados pelo aquecimento global. Para que a cooperação resulte da melhor estratégia em relação a esse objetivo, usaremos um modelo do Equilíbrio de Nash, baseado na Teoria dos Jogos.

Metodologia

Está em elaboração um modelo de interações que representará a realidade prevista para o Acordo de Paris. Dessa forma, a sequência metodológica prevista para esta pesquisa obedecerá a ordem de Vermae e Kaushal (2016) com adaptações.

Como primeiro passo da pesquisa, foram levantadas detalhadamente as normas que regem o Acordo, bem como, os valores de investimento, os custos de mitigação e de adaptação, entre outros valores que possam entrar nas formulações matemáticas. Os valores levantados nessa etapa vão permitir o cálculo dos *payoffs*, que são as recompensas acessadas pelas partes nas situações a serem

avaliadas (Axelrod, 1985). Dessa forma, apenas os dados já disponíveis na literatura serão considerados na formulação matemática.

Poderão ser utilizados como fontes de dados, os custos de cada estratégia (mitigação e adaptação) existentes no Relatório Stern (Stern, 2006), no Relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD (Dellink *et al.*, 2010), no Relatório do IPCC sobre mitigação da mudança climática (IPCC, 2014) ou outras estimativas disponíveis. Poderão ser incorporados também os dados do Produto Mundial Bruto (PMB), os pisos de investimento estabelecidos no Acordo, dentre outros dados.

Para a modelagem do jogo, deverão ser obedecidos pelo menos, os seguintes pressupostos: i) o modelo deve permitir interações; ii) envolver mais de um agente; iii) permitir a racionalidade; e iv) priorizar o comportamento estratégico (Leoneti, 2012).

Para o desenvolvimento do modelo, o Acordo de Paris deverá ser avaliado quanto a dimensão dos investimentos, dos apoios recebidos, o caráter de envolvimento das partes (obrigatória ou voluntária), as metas de redução e o agrupamento ou divisão entre países signatários e suas responsabilidades. Esses aspectos afetarão a formulação dos *payoffs*.

Como jogadores, os países signatários poderão ser analisados individualmente ou, ainda, agrupados de acordo com o seu perfil de desenvolvimento socioeconômico de forma compatível ao Acordo. Uma modelagem possível seria considerar como primeiro grupo os países desenvolvidos, como segundo, os países em desenvolvimento e, por último, os países subdesenvolvidos. Esses grupos, que atuariam como jogadores serão usados em alguns cenários, com diferentes combinações, na modelagem dos jogos. Para uma primeira rodada, foram selecionados: Estados Unidos, China e Brasil. Estes dois primeiros países respondem a cerca de 45% de todas as emissões de GEE.

Serão admitidos os pressupostos do modelo, a partir das regras de incentivos e dos resultados esperados pela adesão e cooperação das partes. Por exemplo, todos os países se comportariam como jogadores racionais. Além disso, é esperado que as partes escolham uma estratégia que maximize os seus ganhos individuais. O modelo poderá também ser definido como um jogo simultâneo, quando as partes devem tomar decisões desconhecendo as decisões dos outros, ou um jogo sequencial, quando as decisões ocorrem sucessivamente. Quando os jogadores não podem estabelecer compromissos garantidos, trata-se de um jogo não-cooperativo. Do contrário, tem-se um jogo cooperativo (Axelrod, 1985). Jogos em que as recompensas são relacionadas de forma inversa, ou seja, o ganho de um implica necessariamente na perda equivalente do outro, tem-se jogos de soma zero. Dessa forma, todos os pressupostos de interesses, incentivos, benefícios e racionalidade serão definidos previamente para a

construção de um modelo que mais se assemelhe como arquétipo ao Acordo de Paris. Poderão ser tomados como base os pressupostos de Verma e Kaushal (2016) que também usaram estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

A depender da disponibilidade de dados, outros modelos alternativos poderão ser formulados, considerando coalisões entre países ou grupos de países e, ainda, considerando a cooperação e não-cooperação de jogadores de grande significância como Estados Unidos e China.

O passo final na construção do modelo será o estabelecimento das possibilidades de escolhas de estratégias de cada jogador.

A partir do modelo, será feita a formulação matemática do problema. Usaremos como base as formulações de *payoffs* de Verma e Kaushal (2016) com as adaptações necessárias ao Acordo de Paris. Serão formulados, também, cálculos para os incentivos, sejam eles decorrentes da cooperação ou da não-cooperação dos países desenvolvidos para a redução da emissão dos GEE e para o financiamento das medidas de adaptação dos países em desenvolvimento.

Com os dados levantados na primeira etapa e as fórmulas desenvolvidas nesta etapa, serão calculados os *payoffs* de cada situação.

De posse dos *payoffs* do modelo do jogo, essas informações serão lançadas no *software* GAMBIT (versão 15, McKelvey, 2016) que simula os possíveis resultados de escolha de decisão de cada jogador (grupo), apontando as estratégias dominantes e os equilíbrios de Nash. A partir daí pode-se comparar qual seria a melhor escolha em termos de estratégia(s) que tenha(m) como melhor alternativa os ganhos individuais e globais.

Por fim, está prevista a interpretação dos resultados fornecidos pelo GAMBIT, que identificará o(s) equilíbrio(s) de Nash nos jogos modelados. Serão conhecidas as melhores estratégias e se estas convergem quanto aos ganhos nacionais e globais.

Resultados e Discussão

Até o momento 168 países das 197 partes ratificaram o Acordo de Paris, que entrou em vigor em 4 de novembro de 2016. Diferente do Protocolo de Kyoto, o Acordo de Paris prevê a cooperação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. A partir das regras de funcionamento do Acordo, foi elaborada a modelagem do jogo, no qual se prevê duas estratégias principais para os jogadores (países): a adesão ou cooperação com o Acordo; ou a não-adesão. Considerando o conjunto de três jogadores com duas estratégias, obtêm-se uma matriz ou um modelo extensivo de oito possibilidades (figura 1).

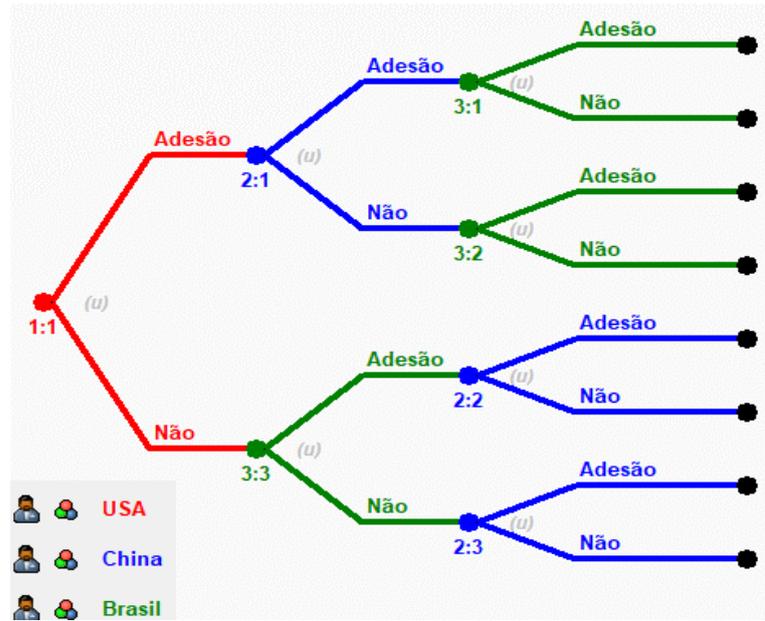


Figura 1 – Modelagem extensiva para os jogadores (países) e as suas estratégias em relação ao Acordo de Paris. Elaboração pelas autoras a partir do *software* Gambit.

Trata-se de trabalho em progresso, para o qual espera-se conhecer, a partir dos modelos e jogos executados, as possibilidades de ganhos individuais e globais pela cooperação ou não-cooperação dos países num cenário que reflita o Acordo de Paris, como medida de controle das mudanças climáticas globais. Foram selecionados os Estados Unidos (USA), China e Brasil para as simulações. Estes dois primeiros países são os maiores emissores de gases efeito estufa (GEE), com 12,5 M Kt CO₂ eq GEE para China e 6,3 M Kt CO₂ eq GEE para os USA, que juntos correspondem a 45% das emissões. O próximo passo é definir os custos e *payoffs* de cada estratégia diante dos custos de cooperação e não-cooperação relativos ao Acordo de Paris. Para tanto, serão consultados os custos de mitigação e adaptação referente às estratégias adotadas pelas partes, bem como, os ganhos no caso da adesão de cada parte.

A partir disso, serão conhecidas as estratégias dominantes e se elas coincidem com a otimização dos ganhos globais, indicando assim, vantagens globais resultantes da cooperação. Alternativamente, serão conhecidos os resultados de cenários com diferentes estratégias e com diferentes jogadores, especialmente, tendo em vista as últimas decisões do governo norte-americano com relação ao corte nos investimentos de mitigação e adaptação (não-cooperação).

CONCLUSÕES

A emissão de carbono pelas diferentes nações reflete a tragédia dos comuns mais preocupante dos dias atuais. Como modelo simplificado da teoria dos jogos, essa tragédia demanda ações coletivas, que conciliem os interesses individuais e globais.

Com esta pesquisa, espera-se simular algumas negociações do Acordo de Paris, com o uso da teoria dos jogos para conhecer as potencialidades ou deficiências no Acordo de Paris, evidenciando por exemplo, a necessidade de incentivos para a cooperação.

Considerando a retirada dos Estados Unidos do Acordo será possível avaliar o impacto disso nos benefícios esperados globalmente e, em especial, para os países analisados: Brasil e China.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, especificamente no âmbito do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica – PROCAD, projeto NOVAS FRONTEIRAS NO OESTE: Relação entre Sociedade e Natureza na Microrregião de Ceres em Goiás (1940-2013) e ao CDS- UnB (Centro de Desenvolvimento Sustentável- Universidade de Brasília) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

Axelrod, R. (1985). 'The evolution of cooperation'. New York: Basic Books.

Borges, Fernando H.; Tachibana, Wilson K. A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente dos negócios: uma abordagem histórica. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005.

Correa, Esmeralda; Comim, Flávio. (2012) Impactos Potenciais Da Mudança Climática No Desenvolvimento Humano. ANPEC - Associação Nacional dos Centros de Pósgraduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics] in its series Anais do XXXVI Encontro Nacional de Economia. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2008/artigos/200807211226430.pdf>.

Dellink, R., G. Briner and C. Clapp (2010), "Costs, Revenues, and Effectiveness of the Copenhagen Accord Emission Pledges for 2020", OECD Environment Working Papers, No. 22, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5km975plmzg6-en>

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Keohane, R.O. & David G. Victor. (2016). Cooperation and discord in global climate policy. *Nature Climate Change* 6, 570–575 (2016). doi:10.1038/nclimate2937

Kutasi, G. (2012) 'Climate Change In Game Theory Context' *Interdisciplinary Environmental Review*, Vol. 13, No. 1, pp.42–63

Leoneti, A.B. (2012) Teoria dos Jogos e Sustentabilidade na Tomada de Decisão: Aplicação a Sistemas de Tratamento de Esgoto. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Paulo.

McKelvey, Richard D., McLennan, Andrew M., and Turocy, Theodore L. (2016). *Gambit: Software Tools for Game Theory*, Version 16.0.0. <http://www.gambit-project.org>.

Olson, M. (1999). *A Lógica da Ação Coletiva*. São Paulo: EDUSP, 1999.

Robert O. Keohane & David G. Victor. (2016). Cooperation and discord in global climate policy. *Nature Climate Change* 6, 570–575 (2016). doi:10.1038/nclimate2937

Schiermeier, Q. (2012). The Kyoto Protocol: Hot air. *Nature* 491, 656–658 (28 November 2012) | doi:10.1038/491656a

Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Disponível em: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm Acessado em: 02 de abril de 2017.

UNFCCC (2017). UN Climate Change Newsroom. Disponível em: <http://newsroom.unfccc.int/>

Verma, Shalini; Kaushal, R.K. (2016). A Game Theoretic Approach For Global Cooperation in Climate control. *Journal of Environmental Engineering and Studies* Volume 1 Issue 3: 1-16.