



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**COOPERAÇÃO GLOBAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA  
AVALIAÇÃO A PARTIR DA TEORIA DOS JOGOS.**

ERIKA MAYUMI OGAWA

**Brasília- DF**

**2018**

ERIKA MAYUMI OGAWA

**COOPERAÇÃO GLOBAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA  
AVALIAÇÃO A PARTIR DA TEORIA DOS JOGOS.**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Gomes Barreto

**Brasília- DF**

**2018**

ERIKA MAYUMI OGAWA

**COOPERAÇÃO GLOBAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA  
AVALIAÇÃO A PARTIR DA TEORIA DOS JOGOS.**

**Banca examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Gomes Barreto  
Orientadora

---

Prof. Dr. Andrei Domingues Cechin  
Avaliador

**Brasília- DF**

**2018**

**Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, gratidão por todo o apoio e amor durante a elaboração deste trabalho.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e meus irmãos, por apoiar e acreditar em mim. Gratidão ao meu Pai, Mauro Ogawa, que sempre acreditou no meu potencial para enfrentar os obstáculos. A minha Mãe, Sandra Satiko, pelos ensinamentos e apoio, que se fizeram presente mesmo com a distância física.

Agradeço a minha orientadora, Dra. Cristiane Barreto, pela paciência e atenção. Gratidão pelos incentivos e dedicação ao longo da minha vida acadêmica.

Ao meu amigo e namorado, Carlos py, por todo carinho e atenção e por sempre estar comigo nos diversos momentos da minha vida. E especiais agradecimentos a Isabel py e Cláudio py por todo o suporte que me deram em todos esses anos.

Agradeço a minhas companheiras e amigas, Nayane Martins e Aline Machado, por todo apoio e descontração durante todos esses anos dentro e fora da Universidade.

À Universidade de Brasília e a todo seu corpo docente que me proporcionaram conhecimento e caráter no processo de formação profissional.

## RESUMO

O presente trabalho busca analisar as estratégias dos Estados Unidos e China em diferentes cenários do Acordo de Paris utilizando a Teoria dos Jogos. Foram considerados os custos de mitigação e adaptação, e avaliadas as estratégias que melhor maximizem os benefícios globais e do país, tendo em vista o equilíbrio de Nash. Como métodos, foram pesquisados os custos previstos para o atendimento das metas de cada país, comprometidas no Acordo de Paris. Foram calculados os *payoffs* de cada país para diferentes cenários de cooperação ou não-cooperação das partes. Os resultados mostraram diferentes equilíbrios de Nash, mas uma estratégia dominante de cooperação mútua. O jogo aponta para uma maior probabilidade e estabilidade de estratégias se ambos os países optassem pela adesão ao Acordo de Paris. Com isso, este trabalho corrobora a importância do Acordo e os benefícios estratégicos para a sua adesão global.

**Palavras-Chaves:** Equilíbrio de Nash; Acordo de Paris; Teoria dos jogos, Estados Unidos, China, Estratégia Dominante.

## **ABSTRACT**

This work aims to analyze the strategies of the United States and China in different scenarios of the Paris Agreement using Game Theory. The mitigation and adaptation costs were considered in calculations of the game. The strategies that maximize the overall and country benefits were evaluated considering the Nash equilibrium. As methods, the costs predicted to meet the goals of each country, committed in the Paris Agreement, were investigated. Each country's payoffs were calculated for different cooperation or non-cooperation scenarios of the parties. The results showed four Nash equilibria, but a dominant strategy of mutual cooperation. The game points to a greater probability and stability of strategies if both countries opt for adherence to the Paris Agreement. This work corroborates the importance of the Agreement and the strategic benefits for its global membership.

**Keywords:** Nash equilibrium; Paris Agreement; Game Theory; Dominant Strategy; United States; China.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVO.....	14
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS .....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO: HISTÓRICO E CONCEITOS.....	15
3.1. NEGOCIAÇÕES SOBRE O CLIMA: DA CÚPULA DO RIO-92 AO ACORDO DE PARIS.....	15
3.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E COOPERAÇÃO GLOBAL .....	19
3.3. A TEORIA DOS JOGOS .....	22
3.3.1. JOGOS COOPERATIVOS E NÃO-COOPERATIVOS.....	23
3.3.2. O DILEMA DO PRISIONEIRO .....	24
3.3.3. EQUILÍBRIO DE NASH .....	26
3.4. A ECONOMIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	27
4. MÉTODOS .....	29
5. RESULTADOS .....	35
6. ANÁLISE DOS DADOS.....	39
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45



## Índice de Quadros

Quadro 1 – Representação matricial dos custos de mitigação (M) dos Estados Unidos (EUA) e China, estimados para o ano de 2002, diante das estratégias de cooperar ou não cooperar com o Acordo de Paris. Elaborado a partir dos dados de KEMP-BENEDICT <i>et al.</i> (2017).....	32
Quadro 2 – Valores globais projetados de gases de efeito estufa em GtCO <sub>2</sub> eq para cada cenário de combinações de estratégias. Elaborado a partir dos dados de KEMP-BENEDICT <i>et al.</i> (2017).....	33
Quadro 3 – Representação da quantidade incremental de gases de efeito estufa, emitidos em 2020 nos diferentes cenários para Estados Unidos (EUA) e China. Elaborado a partir dos dados de KEMP-BENEDICT <i>et al.</i> (2017). Valores em GtCO <sub>2</sub> eq. ....	33
Quadro 4 – Custo de adaptação incremental (A <sub>i</sub> ) para o ano de 2020, considerando os diferentes cenários para Estados Unidos (EUA) e China. Valores em US\$ milhões. ...	34
Quadro 5 – Quadro explicativo das Intenções de Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC) da China e dos Estados Unidos. ....	35
Quadro 6 – Matriz de possibilidades com os payoffs da China e Estados Unidos nos cenários de cooperação ou não-cooperação diante do Acordo de Paris.....	36
Quadro 7 - Co-benefícios com relação a meta INDC's e a política atual. ....	40
Quadro 8 - Co-benefícios com relação a política forte que condiz com o INDC's.....	41

## Índice de Figuras

Figura 1 – Linha do tempo dos eventos relacionados aos principais acordos climáticos internacionais. Elaboração: Autora. ....	17
Figura 2 – Matriz de possibilidades do Dilema do Prisioneiro. ....	25
Figura 3 – Modelo extensivo de interação entre os Estados Unidos (EUA) e China, considerando as estratégias de adesão ou não-adesão ao Acordo de Paris. ....	37
Figura 4 – Tela de resultado do Gambit 15.1 para um jogo de estratégias mistas com os <i>payoffs</i> da China e Estados Unidos relativos ao Acordo de Paris. ....	38
Figura 5 - Tela de resultado do Gambit 15.1 com a estratégia dominante com os <i>payoffs</i> da China e Estados Unidos relativos ao Acordo de Paris. ....	38
Figura 6 - Tela de resultado do Gambit 15.1 com as estratégias possíveis após primeira rodada, com os <i>payoffs</i> da China e Estados Unidos relativos ao Acordo de Paris. ....	39

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas ambientais que mais preocupa os atores internacionais na atualidade é a questão das mudanças climáticas, que está interligada ao aquecimento global causado pela alta quantidade de poluentes emitidos no ar (ZIMMERMANN, 2016). Essa preocupação decorre das consequências que o aumento de temperatura da Terra pode acarretar, gerando 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 (IPCC, 2014).

O aquecimento global é um assunto de interesse mundial, pois todos os países estão expostos aos efeitos causados, mesmo que em diferentes intensidades. Dentre esses efeitos destaca-se o aumento do nível do mar que poderá acarretar no desaparecimento de cidades, ilhas ou países situados, atualmente, a poucos metros acima do nível do mar. Outro efeito relevante do aquecimento global é a desorganização no sistema ecológico e físico que afetará diretamente os seres vivos, os serviços ecossistêmicos e a produção de matérias primas, causando caos no sistema econômico e social (IPCC, 2014).

De acordo com Correa-Macana e Comim (2012),

Em termos de bem estar humano, a mudança climática pode representar uma ameaça superior a qualquer outra mudança ambiental. Isso se deve a seu caráter irreversível, a sua escala espacial global e a sua combinação com fatores sociais e ecológicos que lhe atribuem certo grau de incerteza em relação à magnitude e tendência dos seus impactos. As evidências apresentam diversos riscos associados aos choques climáticos, como a mortalidade e morbidade por eventos extremos, deslocamentos de populações e aumento da incidência de malária e de doenças de veiculação hídrica (CORREA-MACANA e COMIN, 2012, p. 3).

Percebe-se assim que os impactos gerados pelas mudanças climáticas podem ser irreversíveis, globais e, de certa forma, imprevisíveis. Dada a abrangência das causas e consequências das mudanças climáticas, uma das

formas de lidar com essa questão passa pela negociação de acordos internacionais que preveem estratégias de mitigação e/ou adaptação ao aquecimento global. Esses acordos são, atualmente, a ferramenta central da governança internacional da mudança climática (IPCC, 2014).

Contudo, esses acordos preconizam, para uma efetiva mitigação, uma comprometida cooperação internacional (KEOHANE & VICTOR, 2016). Sem essa cooperação, o mais recente acordo, proposto em Paris no ano de 2015, estaria fadado a falhar, assim como aconteceu com o Protocolo de Kyoto.

Uma das questões atribuídas ao insucesso do Protocolo de Kyoto foi o endereçamento assimétrico das responsabilidades em duas categorias: um conjunto de países ricos com responsabilidades ambiciosas e um conjunto de economias menos desenvolvidas – incluindo o Brasil e 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, nesse caso, pequenos grupos de países podem bloquear o progresso das negociações (VIHMA, 2015).

Em 2010, o Japão afirmou que não aderiria ao segundo comprometimento do Protocolo porque isso colocaria restrições ao país que, por outro lado, não afetariam outras economias concorrentes. Essa posição foi seguida pela Nova Zelândia em 2012. Outras objeções ao segundo acordo foram colocadas pela Rússia, Ucrânia, Belarus, Cazaquistão, entre outros (KURIYAMA e ABE, 2018). Em 2012, sete anos após vigorar o Protocolo de Kyoto, 37 países superaram a meta de redução de 5% das emissões de gases de efeito estufa (GEE). 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).

Tais reações podem ser compreendidas segundo a “lógica da ação coletiva”, pela qual o economista e cientista social Mancur Olson (1999) esclarece que indivíduos racionais e centrados nos seus interesses não agem

voluntariamente no sentido de assegurar interesses comuns. O alcance do interesse coletivo só teria sucesso por meio da coação ou se induzidos por meio de incentivos. Do contrário, sem sanções aos países não participantes, emergiria o comportamento “*free-rider*” ou “caroneiros”, que são aqueles que se beneficiam do acordo sem ter participado ou contribuído com ele (OLSON, 1999). Atualmente, esse é um dos maiores desafios da política das mudanças climáticas (NORDHAUS, 2015).

Na ausência de uma autoridade coercitiva internacional no caso dos acordos de mudanças climáticas, para que haja cooperação faz-se necessária, também, uma percepção clara e aceitação das partes em relação aos benefícios resultantes dessa estratégia (cooperação). Para essa circunstância, os atores devem compartilhar uma visão de responsabilidade comum (NORDHAUS, 2015).

A maioria – e possivelmente todos – os países serão afetados pelas mudanças climáticas de forma adversa (IPCC, 2014). Apesar disso, a falta de sanções e o entendimento assimétrico sobre os ganhos e perdas relativos à adesão aos acordos climáticos internacionais, levam à sua instabilidade e, conseqüentemente, à sua falha.

Nesse sentido, a Teoria dos Jogos, como um campo de pesquisa que explora cenários de combinação de estratégias, pode auxiliar na construção de modelos que projetem as perdas e ganhos dos atores e da coletividade em função das suas estratégias (FORGÓ *et al.*, 2005). Seus modelos são ferramentas que permitem 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).

Com vistas a compreender a combinação das estratégias cooperativas e não cooperativas Kutasi (2012) modelou o comportamento de jogadores globais a partir da teoria dos jogos quanto a estratégias de mitigação e adaptação. Seus resultados demonstram várias possibilidades de modelos e

usos, sem no entanto representar as regras específicas dos cenários relacionados aos acordos internacionais. Kutasi (2012) também propõe a Teoria dos Jogos como importante ferramenta para análise de estratégias em circunstâncias incertas. Verma e Kaushal (2016) usaram dois tipos de modelos (não-cooperativo e cooperativo) para avaliar as estratégias econômicas de mitigação das mudanças climáticas sob um cenário regulatório do protocolo de Kyoto.

Este presente trabalho pretende demonstrar quais são as estratégias dominantes para os países, especificamente na situação pós-Kyoto e sob o marco regulatório estabelecido pelo Acordo de Paris a partir de 2020. O objetivo é avaliar as estratégias dos dois países mais emissores de GEE (Estados Unidos e China) que possam incentivar a ação em conjunto em prol de benefícios nacionais e globais.

A proposta desta pesquisa é simular os possíveis cenários diante das estratégias de atuação dos países mais poluentes. A retirada dos EUA do Acordo de Paris, assim como foi feito pelo mesmo em relação ao protocolo de Kyoto, levanta dúvidas com relação ao sucesso da política climática estabelecida na COP 21. Enquanto isso, a China que, na época do protocolo de Kyoto, não tinha compromissos formais e, portanto, não se via compelida a reduzir suas emissões, pode se tornar um importante protagonista e líder das políticas globais sobre o clima.

Com isso, a investigação sobre as possíveis ações estratégicas entre a China e os EUA e a aplicação da Teoria dos Jogos é necessária para melhor se compreender a atual situação das negociações climáticas globais e, também, demonstrar as melhores ações estratégicas no quadro de negociações (Eyckmans & Tulkens, 2003 *apud* Zhu-Gang et al., 2014).

Para tanto, serão descritas a seguir, as características do Acordo de Paris, os cálculos para os custos previstos para as diferentes estratégias e os pressupostos definidos para a modelagem. Por fim, a análise das estratégias será feita com ajuda de um *software* específico (GAMBIT - *Software Tools for Game Theory*) sobre a qual são discutidas as possibilidades de ação dos dois países perante o Acordo de Paris, previsto para iniciar em 2020.

## 2. OBJETIVO

### 2.1 GERAL

Este trabalho se propõe a analisar um conjunto de estratégias possíveis dos países mais poluidores em relação à adesão ao Acordo de Paris. Serão considerados os custos de mitigação e adaptação, e avaliados, por meio da Teoria dos Jogos, a estratégia que melhor maximize os benefícios globais e do país, tendo em vista o equilíbrio de Nash.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- A elaboração de uma revisão histórica e teórica sobre as negociações climáticas globais, cooperação internacional e aplicação da Teoria dos Jogos em modelos de políticas climáticas globais;
- A criação de um modelo de avaliação de estratégias relativas ao Acordo de Paris, incluindo a formulação de custos e benefícios (*payoffs*) dos países envolvidos; e
- A avaliação, por meio do Equilíbrio de Nash, da estratégia ou estratégias mais estáveis entre os países mais poluidores, em relação à adesão ou não-adesão ao Acordo de Paris.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO: HISTÓRICO E CONCEITOS

#### 3.1. NEGOCIAÇÕES SOBRE O CLIMA: DA CÚPULA DO RIO-92 AO ACORDO DE PARIS

A preocupação com a qualidade do ar, principalmente por afetar a qualidade de vida, vem ganhando atenção entre os países, principalmente nos centros urbanos, que, com a presença de fortes indústrias, servem como base para fonte poluidora. Ao longo dos anos, foram crescendo o número de morte de pessoas com causa ligadas à poluição do ar, e assim os países tiveram que começar a se preocupar essas questões (STEFFENS E STEFFENS, 2013).

Conforme Juliano (2011, p.2) “A preocupação com a regulação do meio ambiente é fenômeno recente, os primeiros tratados internacionais de proteção da natureza e de regulação da caça de certos animais datam do final do século XIX e início do século XX”.

Segundo Oliveira (2010, p.1): “Duas grandes Conferências marcaram a trajetória da questão ambiental, que foi a Conferência de Estocolmo (1972) e do Rio de Janeiro (1992) houve um aumento na consciência, por causa das atividades humanas em âmbito global”. A partir dessas conferências, entraram na agenda política temas como: biodiversidade, poluição, áreas protegidas e mudanças climáticas.

Como resultado da cúpula de 1992 no Rio de Janeiro (Eco-92 ou Rio-92), em 1994 foi criada a Conferência Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC). A partir de 1995, diversas conferências vêm sendo realizadas com o objetivo de propor e negociar com as nações, os meios de lidar com as mudanças climáticas. Cerca de uma ou duas vezes ao ano, a conferência entre as partes (*Conference of Parties* – COP) ocorrem em diferentes cidades do mundo.

Segundo Avelhani (2013, p. 42), a primeira conferência (COP 1) foi realizada em Berlim, Alemanha, em 1995. Foi nessa ocasião que se iniciaram os conflitos de interesses entre os países desenvolvidos com os países em desenvolvimento. Na COP 1 os Estados Unidos estavam relutantes contra a meta de redução do gás carbono, afirmando que não tinha ainda bases científicas suficientes para confirmar que a poluição estaria mais concentrada em países desenvolvidos.

A terceira COP ocorreu em dezembro de 1997, na cidade de Kyoto, Japão, e foi provavelmente a maior reunião da Convenção sobre Mudança Climática. Foi nessa ocasião que um sistema de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE's) foi proposto em formato de acordo internacional (GOMES, 2005).

Ficou estabelecido nesse acordo que os conjuntos dos países mais industrializados deveriam reduzir suas emissões em 5,2% em relação ao ano de 1990. Por outro lado, o conjunto de países em desenvolvimento poderia continuar a emitir gases de efeito estufa acima dos níveis identificados no ano de 1990 (DOMINGOS, 2007.).

O Protocolo de Kyoto foi ratificado por 182 países em 1997, na terceira sessão da conferência das partes (*Conference of Parties – COP 3*) em Kyoto, Japão (ver linha do tempo na Figura 1). Nessa ocasião foram propostas alternativas de redução das emissões de GEE. O Protocolo ficou aberto para assinaturas de 16 de março de 1998 a 15 de março de 1999, período em que recebeu 84 adesões. Ele só entrou em vigor a partir de 16 de fevereiro de 2005, quando uma quantidade mínima convencionada de “pelo menos 55 países da UNFCCC responsáveis por 55% das emissões de GEE” fizeram a sua adesão. As regras para a implementação do Protocolo foram discutidas na COP 7 em Marrocos, no ano de 2001. Os “acordos de Marrocos” detalharam compromissos dos países signatários para o período de 2008 a 2012. Esse foi o primeiro período de comprometimento (2008-2012), no qual 37 países e a Comunidade Europeia se comprometeram em reduzir as emissões a uma média de 5% dos níveis de 1990.



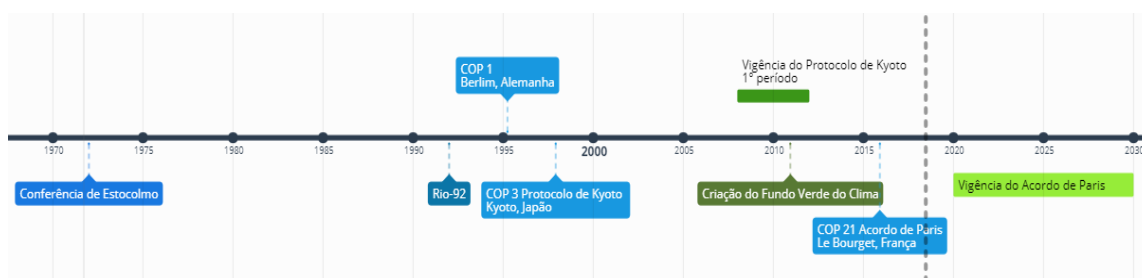


Figura 1 – Linha do tempo dos eventos relacionados aos principais acordos climáticos internacionais. Elaboração: Autora.

Em 2010, em Cancún, foi estabelecido na cúpula (COP 16) o Fundo Verde do Clima como um acordo não vinculado que tinha como objetivo auxiliar os países em desenvolvimento a conseguir atingir a meta de mitigação e adaptação para aqueles países mais vulneráveis. O que foi estabelecido na cúpula, primeiramente seria a meta de US\$ 30 Bilhões entre os anos de 2010 e 2012 e até 2020 os líderes mundiais se comprometeram a contribuir com US\$ 100 bilhões ao ano. A mobilização para arrecadar não necessariamente seria somente do setor público, mas também do setor privado.

Contudo, não ficou estabelecida uma obrigatoriedade dos países na contribuição e nem se estabeleceu um mínimo que necessita ser contribuído. Além disso, somente países desenvolvidos teriam a maior responsabilidade internacional para contribuir ao Fundo Verde do Clima. Com o estabelecimento do Acordo de Paris, o Fundo ganhou forças e, em abril de 2018, já tinha levantado cerca de US\$ 10,3 bilhões dos países desenvolvidos como a Suécia, EUA e Japão.

Na COP 18, 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 se comprometeram em diminuir pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990. Em dezembro de 2016, 75 países tinham ratificado o acordo de Doha (UNFCCC, 2017).

A COP 19, sediada em Varsóvia, na Polônia, no ano de 2013, seria uma conferência que tentaria dar continuidade para preparar um documento legal de emissões de redução mais eficiente que o Protocolo de Kyoto (CQNUMC, 2013

apud ROCHA, 2016). No ano de 2014, quando ocorreu a COP 20, em Lima no Peru, foi aprovado um documento final “Chamado de Lima para a Ação Climática” ou como “Rascunho Zero”, que foi um documento para criar base a um novo acordo de redução das emissões de efeito e também foram negociados que os países deveriam fornecer informações de suas intenções de contribuições nacionalmente determinadas (*Intended Nationally Determined Contributions* - iNDC), mais tarde ratificadas como NDC e que subsidiaram os compromissos relacionados ao futuro Acordo de Paris, em 2015 (ITAMARATY, 2014).

Tendo em vista o fim do Protocolo de Kyoto em 2020, no ano de 2015 em Paris, na França ocorreu a COP 21, na qual o Acordo de Paris foi aprovado pelos 195 países parte da UNFCCC para reduzir emissões de GEE a partir de 2020. O compromisso demanda a ação de todos os países signatários e tem como meta principal limitar o aumento da temperatura de até 1,5 a 2°C acima dos níveis pré-industriais. Como forma de garantir a adesão da maior parte das nações, ficou acordado um compromisso de redução com metas voluntárias, arbitradas pelos governos, que são as *Nationally Determined Contributions* - NDC (UNFCCC, 2017).

Para que começasse a vigorar, o Acordo de Paris demandou a ratificação de pelo menos 55 países responsáveis por 55% das emissões de GEE. No que diz respeito à transferência de recursos e tecnologias, o financiamento climático do Acordo de Paris determinou que os países desenvolvidos deveriam investir 100 bilhões de dólares por ano em medidas de combate à mudança do clima e adaptação, em países em desenvolvimento.

As negociações para a fase pós-Kyoto focaram numa nova forma de atribuição de responsabilidades, incluindo conjuntos de países anteriormente isentos de compromissos como o BASIC: Brasil, África do Sul, Índia e China, como partícipes ativos dotados de metas de redução (SOUZA & CORAZZA, 2017). Com isso, os mais de 190 países que compõem a Convenção-Quadro das Partes da ONU se comprometeram a empreender ações para conter o aumento da temperatura no mundo, limitada em 2°C.

Um das diferenças entre o Protocolo de Kyoto e o novo Acordo de Paris, seria a redistribuição dos custos relativos do esforço global para o enfrentamento para o clima, o que daria uma diferença “notável” em relação ao acordo anterior (ROCHA, 2015, p.18).

Outro aspecto que diferencia sobre o antigo acordo de Kyoto, conforme Rocha (2016) diz respeito aos

mecanismos de penalização por descumprimento das metas previstas não foram suficientes para garantir os resultados quantitativos e assegurar a adesão das Partes. Paris, portanto, modelou um regime *bottom-up* com elementos *top-down*: cada país apresenta voluntariamente suas NDCs, que agregadas servem à supervisão rígida do cumprimento do objetivo global de contenção de emissões (ROCHA, 2016, p. 19).

Apesar das inovações em relação ao Protocolo de Kyoto, alguns autores afirmam que a estratégia de descentralização política, adotada pelo Acordo de Paris, pode não resolver o problema do clima na urgência que essa questão demanda (KEOHANE & VICTOR, 2016). Na nova reconfiguração dos atores envolvidos do Acordo de Paris, não há uma concordância sobre a medida em que há cooperação ou conflito entre atores, lideranças e coalisões.

Será analisado a seguir, como a arquitetura da governança do Acordo de Paris pode se configurar sob o ponto de vista das possibilidades de cooperação e conflitos.

### 3.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E COOPERAÇÃO GLOBAL

A política internacional das mudanças climáticas compõe uma arena complexa que reúne atores estatais e não-estatais, instituições domésticas e internacionais, cientistas, políticos dentre diversos outros. Essa complexidade resulta em dilemas de cooperação e desafia a coordenação das ações entre as nações envolvidas nos tratados internacionais (HENRIQUE, 2009).

A diversidade de interesses se soma a essa complexidade na composição de atores, ampliando ainda mais os desafios de governança sobre a política do clima. Essa diversidade resulta da assimetria de possibilidades de

benefícios resultantes do Acordo de Paris entre os países. A avaliação que cada país faz em relação à economia das mudanças do clima é que vai levá-los a cooperar ou não com os acordos internacionais (LUTERBACHER & SPRINZ, 2001). Com isso, segundo Luterbacher & Sprinz (2001, p. 13) “as incertezas e os riscos por si só não levam necessariamente os atores para a cooperação”. Isso decorre de dois problemas principais:

- 1) Para uma cooperação internacional é necessária a criação de uma estrutura institucional que evite os *free-riders*.
- 2) A cooperação pode implicar na imposição de restrições mútuas aos atores.

Esses problemas poderiam levar a aversões comuns ou “*dilemma of common aversion*” (LUTERBACHER & SPRINZ, 2001, p. 13), e que implicam na falta de cooperação e, conseqüentemente, na ineficácia dos tratados. Contudo, há autores que sustentam que uma autoridade central ainda não seria suficiente para garantir a cooperação, pois ainda assim,

uma simples organização e regras não são suficientes para eliminar os dilemas de ação coletiva se não existirem as condições sociais adequadas que estabeleçam o monitoramento e o *enforcement* (HENRIQUE, 2009, p. 163)

Independente da autoridade central e das regras, da forma em que se estruturou, a política internacional de mudanças climáticas não favorece a cooperação e não garante a efetividade do novo acordo (SOUZA & CORAZZA, 2017). A sua atual combinação de interesses e incentivos e a fraca rede de cooperação multilateral resultam no que Keohane e Victor (2016, p. 1) chamaram de “hipocrisia organizada”, na qual há muita discussão e pouca ação. Sem incentivos claros ou sanções estabelecidas para os que abandonam os acordos climáticos, há muito estímulo para a ocorrência dos *free-riders* (WOOD, 2010). Essa é uma questão importante, que revela o aspecto competitivo das economias globais na arena das mudanças climáticas e para a qual, alguns autores endereçam as razões do insucesso do Protocolo de Kyoto (NORDHAUS, 2015).

De acordo com Waltz (2001 *apud* BITTERN COURT, 2014, p. 231) “os homens tendem a buscar seus interesses, mas esta busca não respeitam sempre as premissas racionais, e os homens não evitarão usar as armas que tiverem às mãos para tal, já que a sua natureza é egoísta, agressiva.” Com essa afirmação pode-se observar que com relação aos acordos propostos nas convenções, muitos veem a redução dos GEEs como um atraso ao desenvolvimento econômico e, com isso, muitos dos atores não concordam ou não cumprem os acordos, pois têm como objetivo principal a manutenção do desenvolvimento econômico do país sem limites impostos por questões ambientais.

Segundo Waltz (2001 *apud* BITTERN COURT, 2014, p. 232), “o estado diz respeito a sua forma de governo, concepções ideológicas, sendo que tal característica está propensa aos conflitos”. Nisso podemos observar a relação dos estados com o meio ambiente, alguns países já aderem a uma gestão sustentável como um sistema necessária para garantir o bem estar das gerações futuras, porém há outros países onde o mais importante seria desenvolver industrialmente e conseguir alcançar a elevados níveis econômicos.

É nesse contexto que as relações entre as autoridades internacionais são necessárias para encontrar formas de lidar com um problema que é causado por todos e para garantir a cooperação entre os países. Pois como afirma Avelhani (2013, p. 39): “a questão ambiental é considerada como uma preocupação comum da humanidade, já que as mudanças climáticas afetam o mundo todo, independentemente do lugar onde a natureza tenha sofrido maiores danos”.

Ainda que a nova abordagem, proposta pelo Acordo de Paris, possa conduzir gradualmente a uma cooperação internacional, proporcionada pela estratégia *bottom-up* de proposição das NDC, os atores ainda agem de forma independente, voltados para seu próprio benefício (KEOHANE & VICTOR, 2016). Dessa forma, predominam sobre a arena da política de mudanças climáticas, estratégias sobre os bens difusos semelhantes às do Dilema do

Prisioneiro (LUTERBACHER & SPRINZ, 2001, p. 13), um modelo da Teoria dos Jogos que pressupõe a maximização das vantagens próprias de cada ator.

Dessa forma, as análises sob os pressupostos e os modelos da Teoria dos Jogos pode auxiliar na melhor compreensão de como as estratégias e os incentivos funcionam na arena das mudanças climáticas. A seguir, serão apresentados os principais conceitos desse campo teórico.

### 3.3. A TEORIA DOS JOGOS

O campo da Teoria dos Jogos se desenvolveu a partir do matemático John Von Neumann (1903 - 1957), que procurou demonstrar soluções racionais para soluções racionais para conflitos, bem definidos, entre dois indivíduos cujos interesses são opostos (ALMEIDA, 2006). Assim, ao longo do tempo outros estudiosos como John Forbes Nash Jr., levaram as contribuições desse campo teórico à discussão sobre a análise econômica, o individualismo e interação social.

De acordo com a Almeida (2006, p.1):

A teoria dos jogos tem a finalidade de prever os movimentos dos outros jogadores, sejam eles concorrentes ou aliados, através dessa teoria os jogadores se posicionam da melhor forma para obter o resultado desejado. O objetivo da teoria dos jogos é entender a lógica na hora da decisão e ajudar a responder se é possível haver colaboração entre os jogadores, em quais circunstâncias o mais racional é não colaborar e quais estratégias devem ser adotadas para garantir a colaboração entre os jogadores. A teoria dos jogos, por meio da matemática, equaciona os conflitos, onde o foco são as estratégias utilizadas pelos jogadores. (ALMEIDA, 2006, p. 1).

A Teoria dos Jogos é frequentemente aplicada a partir de pressupostos, baseados em regras fornecidas, e que tenta prever o comportamento ou estratégias dos atores envolvidos (WOOD, 2010). Ela mostra que os resultados para as ações de indivíduos dependem de outros envolvidos, assim as decisões feitas por um grupo deve levar em consideração as possíveis decisões de outro, e isso pode ser observado com John Nash Jr., que em seus estudos ampliou a teoria para um grande número de agentes e comprovou a

existência de ao menos um ponto de equilíbrio em seus jogos de estratégia, buscando de maneira racional seus comportamentos e não permitindo a comunicação destes para evitar acordos, pois isso pode influenciar na tomada de decisão (FIGUEIREDO, 1994).

Com o tempo, a Teoria dos Jogos passou a ser utilizada em várias áreas como a biologia, ciências políticas, economia e também em contextos de guerra e em outras situações de conflitos com o intuito de prever estratégias dominantes. Seus modelos têm elementos em comum e algumas distinções que são tratadas a seguir.

### **3.3.1. JOGOS COOPERATIVOS E NÃO-COOPERATIVOS**

A corrente teórica dos jogos divide os seus modelos fundamentalmente em duas categorias: jogos cooperativos e jogos não-cooperativos. Nos jogos cooperativos, os atores/jogadores têm regras de cooperação a seguir, levando a uma competição entre coalisões e não entre atores individuais. Os modelos cooperativos são frequentemente aplicados para analisar problemas de alocação de custos, problemas de distribuição de água e oportunidades de conciliação, entre outros.

Nos jogos não-cooperativos, parte-se do pressuposto de que os atores não podem combinar estratégias prévias. Os modelos dos jogos não-cooperativos fornecem uma estrutura para analisar as situações de decisão e se aplicam principalmente para a compreensão do comportamento coletivo, redes de interação e negociações sobre tratados internacionais (WOOD, 2010).

Adicionalmente, na Teoria dos Jogos, os modelos não-cooperativos são usados em situações em que o comportamento cooperativo só pode ser alcançado por meio de acordos *self-enforcing*, feitos entre duas partes sem interferências de terceiros. Já, os jogos que permitem interferência externa, usam modelos cooperativos.

A situação-problema sobre as vantagens e decisões subjacentes ao Acordo de Paris pressupõe decisões individuais, considerando os países

signatários como atores ou jogadores, buscando a maximização dos seus benefícios, sem interferência de terceiros (WOOD, 2010; KEOHANE & VICTOR, 2016). Isso significa que o contexto do Acordo de Paris pode ser modelado para um jogo não-cooperativo.

Nesse sentido, o alcance de uma cooperação global com o objetivo de reduzir a emissão de GEE está relacionada a um dos modelos mais conhecidos da Teoria dos Jogos: o Dilema do Prisioneiro. Nesse caso, todos os países se beneficiariam coletivamente pela redução de suas emissões, mas do ponto de vista das estratégias individuais, cada país pode ser instigado a continuar a poluir (WOOD, 2010).

A seção a seguir apresenta um maior detalhamento sobre o modelo do Dilema do Prisioneiro.

### **3.3.2. O DILEMA DO PRISIONEIRO**

Em 1950, os matemáticos Merrill Flood e Melvin Dresher eram contratados pela *RAND (Research and Development) Corporation*, nos Estados Unidos, e se ocupavam por investigar as estratégias globais relacionadas a ataques nucleares. Esses pesquisadores ganharam notoriedade por terem desenvolvido, com base na Teoria dos Jogos, o modelo do Dilema dos Prisioneiros que seria uma alegoria que representaria a ação dos países em relação às estratégias nucleares (KUHN, 2017).

O Dilema dos Prisioneiros retrata uma situação em que, dois criminosos são presos por terem cometido um assalto em uma loja de joias e roubarem um carro na fuga, a polícia consegue capturar esses criminosos que são presos, porém as evidências que a polícia possui não são suficientes para incriminá-los pelo assalto na loja, e sim somente há evidências incompletas, então os policiais o colocam em celas separadas, para não haver qualquer tipo de acordo entre eles.

De acordo com Almeida (2006):



O dilema do prisioneiro é um jogo não cooperativo, mas poderia ser modelado como cooperativo se fosse permitido que os dois criminosos não somente se comunicassem como também fizessem compromissos obrigatórios (ALMEIDA, 2006, p.4).

Com esse pressuposto, um não sabe qual será a decisão do parceiro, e é nesse dilema que emerge o impasse de não confessar, ou ser acusado sozinho pela delação do parceiro, ou por fim, confessar pelo crime. Essas alternativas podem ser, também, compreendidas a partir da matriz de possibilidades, conforme ilustrado na Figura 2.

		Prisioneiro A	
		Colaborar (silêncio)	Trair (confessar)
Prisioneiro B	Colaborar	1 Ano 1 ano	12 anos Livre
	Trair	Livre 12 anos	6 anos 6 anos

Figura 2 – Matriz de possibilidades do Dilema do Prisioneiro.

Fonte: Elaborado pela autora. Números meramente ilustrativos.

De acordo com a matriz acima, o melhor resultado coletivo seria não confessar e o seu parceiro ficar calado. Contudo, do ponto de vista individual, podemos observar que em todas as opções o prisioneiro se sai melhor traindo o parceiro. Ambos irão chegar a essa conclusão racional e individual, que será trair o outro. Se os dois não confessassem, haveria um ganho para ambos, mas, como resultado final, a otimização dos ganhos não é o que acontece, e quando os dois confessam, pegam uma pena maior, do ponto de vista global (ALMEIDA, 2006).

A conclusão chave do Dilema do Prisioneiro é que, embora os atores/jogadores obtivessem um resultado melhor se colaborassem não delatando o parceiro, eles são incentivados a agir individualmente traindo e entregando o parceiro, o que leva ao final, à prisão de ambos.

Essa tendência geral é conhecida, na Teoria dos Jogos, como o resultado mais provável ou, ainda, o resultado estável. Essa noção nos leva a outro conceito que é o resultado de equilíbrio, no qual, uma vez em que os jogadores decidem por uma determinada estratégia, não há interesse na sua mudança de decisão. Quando o resultado de equilíbrio é a combinação das estratégias dominantes (aquela que é a melhor estratégia individual dos jogadores independente do parceiro), tem-se o equilíbrio com estratégias dominantes. No caso do Dilema do Prisioneiro, dominam as estratégias por trair (delatar e entregar o parceiro). Portanto, a combinação trair – trair é o resultado de equilíbrio. Contudo, esse é também um equilíbrio ineficiente, já que a colaboração (silêncio mútuo) poderia resultar em recompensas melhores.

Outros tipos de dilemas, bem como, de equilíbrios são esperados nos modelos da Teoria dos Jogos, de acordo com as regras e estratégias escolhidas. Nesse sentido, a seção a seguir detalha o equilíbrio de Nash, que apontaria as estratégias desejadas para um modelo que represente o Acordo de Paris.

### **3.3.3. EQUILÍBRIO DE NASH**

Nos anos 1950 o matemático John Nash demonstrou a possibilidade de um equilíbrio em jogos não-cooperativos com estratégias mistas. As estratégias mistas ocorrem quando os jogadores podem atribuir probabilidades à escolha de cada estratégia.

O equilíbrio de Nash ocorre, portanto, quando cada jogador maximiza os seus benefícios (*payoff*) considerando a estratégia do(s) outro(s) jogador(es). Os *payoffs* são as recompensas acessadas pelas partes nas situações a serem avaliadas (AXELROD, 1985). Dessa forma, no equilíbrio de Nash é considerada a maximização dos benefícios individuais e coletivos simultaneamente. Em outras palavras, no equilíbrio de Nash, há uma

combinação da melhor resposta de um jogador à melhor estratégia de outro jogador. Num jogo não-cooperativo, isso ocorre mesmo sem uma prévia combinação de estratégias.

Alguns jogos podem ter mais de uma combinação de estratégias representando equilíbrios (múltiplos) de Nash. Um exemplo disso são os jogos de coordenação (também conhecidos por “batalha dos sexos”), nos quais a vantagem individual e coletiva ocorre quando os jogadores usam a mesma estratégia. Outro exemplo de múltiplos equilíbrios de Nash ocorre nos jogos anti-coordenação (ou “gavião-pomba”), nos quais as vantagens ocorrem quando as estratégias são opostas. Em ambos os casos de múltiplos equilíbrios de Nash, não é possível prever qual equilíbrio será usado.

Para o caso de interesse, em que se busca soluções ótimas para os países e para o coletivo, o equilíbrio de Nash seria a solução buscada para um modelo que represente o Acordo de Paris, com o propósito de reduzir as emissões de GEE.

### 3.4. A ECONOMIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Partindo do pressuposto que as mudanças climáticas afetam não só a biodiversidade, a disponibilidade de recursos naturais, a qualidade de vida, mas também a economia, propõe-se aqui, avaliar quais os investimentos e possíveis perdas significativos que podem impactar as economias dos países a serem analisados sob a ótica da Teoria dos Jogos. Para tanto, as estratégias serão avaliadas com base na estimativa dos recursos financeiros perdidos ou empenhados diante as bases do Acordo de Paris.

Um dos aspectos do Acordo de Paris que implicam em custos monetários é o Fundo Verde do Clima (*Green Climate Fund* - GCF). O Fundo foi criado por 194 países que fazem parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (UNFCCC) na COP 16, no ano de 2010, em Cancun. O propósito desse fundo seria subsidiar os países em desenvolvimento a limitar ou reduzir suas emissões de GEE por meio de projetos de mitigação e adaptação, procurando promover o desenvolvimento de

baixa emissão de GEE e levando também em consideração as nações que estão mais expostas ou vulneráveis às mudanças climáticas. Os alvos do Fundo são, especialmente, as sociedades que estão altamente vulneráveis, como países menos desenvolvidos, pequenos estados insulares, em desenvolvimento, e Estados Africanos.

A mobilização de recursos para o Fundo ultrapassou a marca de US\$ 10 bilhões em 2017. A origem dos recursos é majoritariamente de países desenvolvidos, embora alguns países em desenvolvimento também tenham contribuído. Esse Fundo tem a colaboração tanto do setor público quanto do setor privado (GREEN CLIMATE FUND, 2018).

A partir das tratativas do Acordo de Paris, a meta do Fundo passou a ser de US\$ 100 bilhões anuais até o ano de 2020, com o mesmo propósito de transferência de tecnologias para países mais vulneráveis. Isso ocorre por meio de projetos implementados por entidades parceiras (GREEN CLIMATE FUND, 2018).

Outra previsão de despesas por parte dos países signatários do Acordo de Paris se refere à redução das emissões de GEE, que são os custos de mitigação. Para tanto, somam-se os investimentos em tecnologias para a redução direta das emissões, bem como, tecnologias para a absorção de GEE da atmosfera.

Adicionalmente, prevendo a ocorrência do aquecimento global, alguns autores estimam perdas econômicas decorrentes da necessidade de adaptação a impactos como: aumento do nível do mar, eventos climáticos extremos, alterações nos ciclos da água, redução na produtividade agrícola, entre outros (FRANKHOUSER, 2010; STERN, 2007; WATSON *et al.*, 2017). Talvez, devido a dificuldade de calcular os prejuízos e benefícios futuros relacionados à adaptação faça com que a estimativa dos custos de adaptação seja o maior desafio da economia das mudanças climáticas (KEMP-BENEDICT *et al.*, 2017).

De acordo com alguns pressupostos com relação à economia das mudanças climáticas, a modelagem poderá mudar. Existem duas visões bem

controversas em torno deste tema. A primeira visão seria do Stern que consiste em descarbonizar a economia em período curto entre 2020 e 2070, já com relação à visão de Nordhaus os resultados deles são muito mais suaves com os esforços de redução a partir de 2010, e por seguinte, ir aumentando gradualmente até 2130 (ESPAGNE *et. al.*, 2012). A partir disso, o pressuposto utilizado neste trabalho será do Stern, que consiste na descarbonização em curto período, pois o Acordo de Paris tem a vigência de 2020 a 2030.

Os custos de adaptação normalmente variam em relação à situação de desenvolvimento dos países. Uma compilação de diversos estudos, feita por Frankhauser (2010), mostrou que os custos de adaptação previstos para investimentos na agricultura, água, saúde, zonas costeiras e infraestrutura estão previstos para US\$ 22 bilhões a US\$ 104 bilhões em países desenvolvidos e de US\$ 22 bilhões a US\$ 67 bilhões em países em desenvolvimento. Isso dá uma média de US\$ 63 bilhões para os países desenvolvidos e US\$ 44,5 bilhões para os países em desenvolvimento. Esses dados se aproximam às estimativas de Raworth (2007), que concluiu que os custos de adaptação em países em desenvolvimento possam ser de cerca de US\$ 50 bilhões anuais.

Frequentemente, a previsão dos custos de adaptação são fixados a um percentual do Produto Interno Bruto (PIB), o que dá uma aproximação mais específica, para a realidade econômica de cada país. Há um certo consenso de que os custos de adaptação representarão cerca de 1% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países.

Dessa forma, para a estimativa de custos para compor o modelo de jogo para o Acordo de Paris deve considerar as estratégias de mitigação e adaptação, incluindo a transferência de tecnologias por meio do Fundo Verde do Clima.

#### **4. MÉTODOS**

Como primeiro passo da pesquisa, foram selecionados os jogadores a serem avaliados sob o modelo de jogo não-cooperativo que representa o

Acordo de Paris. Para tanto, foram selecionados os dois países mais poluentes, em números absolutos, do mundo: a China, com uma projeção de emissão de 13 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2017 e os Estados Unidos, com 6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> projetadas para 2017 (KEMP-BENEDICT *et al.*, 2017). Com isso, os dois países somados representam mais de 40% das emissões globais e representam dois atores relevantes para os acordos climáticos internacionais.

Na sequência, foram levantadas detalhadamente as normas que regem o Acordo de Paris, bem como, as metas e intenções de redução de emissões, apresentadas nos iNDC, os valores de investimento, os custos de mitigação e de adaptação, entre outros valores que possam entrar nas formulações matemáticas.

A estratégia de para obtenção dos dados foi por meio de fontes secundárias, como pesquisas e relatórios disponíveis em sites como *Fasty Company*, *BNP Paribas* e *Climate equity reference calculator* (KEMP-BENEDICT *et al.*, 2017), que disponibilizam os valores estimados para o custo de mitigação e adaptação da China, dos EUA e para o restante do mundo.

Foi estabelecido o conjunto possível de combinações de estratégias individuais e combinadas entre os dois jogadores (China e EUA). Na matriz de estratégias, foram estabelecidos os *payoffs* como resultado das formulações matemáticas que representam os investimentos e perdas monetárias de acordo com a estratégia adotada.

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. Para simular os diferentes cenários do Acordo de Paris, cada jogador terá duas escolhas, o de aderir ou não ao Acordo e correspondem, respectivamente, a cooperar ou não cooperar.

Os elementos do modelo são:

$$G = \{\text{USA, China}\}$$

$$\begin{aligned}
S_{USA} &= \{\text{Cooperar, não-cooperar}\} \\
S_{CHN} &= \{\text{Cooperar, não-cooperar}\} \\
S &= \{(\text{Cooperar, Cooperar}), (\text{Cooperar, não-cooperar}), \\
&(\text{não-cooperar, Cooperar}), (\text{não-cooperar, não-cooperar})\}.
\end{aligned}$$

Onde  $G$  é o jogo (*game*) e  $S$  são as estratégias (*strategies*). A combinação das estratégias geram quatro cenários distintos de cooperação e/ou não-cooperação entre os países.

A matriz de função de utilidade (*payoff* -  $\pi$ ) corresponde a:

		China	
		Coopera	Não-coopera
EUA	Coopera	$(\pi_{EUA1}, \pi_{CHN1})$	$(\pi_{EUA2}, \pi_{CHN2})$
	Não-coopera	$(\pi_{EUA3}, \pi_{CHN3})$	$(\pi_{EUA4}, \pi_{CHN4})$

Para o cálculo dos *payoffs*, foram formuladas as equações considerando as diretivas financeiras dos termos do acordo de Paris para cada  $n$  cenário:

$$\begin{aligned}
\pi_{EUA_n} &= -(M_{EUA_n} + A_{EUA_n} + A_{iEUA_n} + F_{EUA_n}) \\
\pi_{CHN_n} &= -(M_{CHN_n} + A_{CHN_n} + A_{iCHN_n} + F_{EUA_n})
\end{aligned}$$

Onde:

- $M$  = Custo de investimento necessário para alcançar as metas de redução do iNDC do país para o ano de 2020;
- $A$  = Custo de adaptação previsto para os países em 2020;
- $A_i$  = Custo incremental de adaptação caso alguns países não cooperem, para 2020;
- $F$  = Custo de contribuição com o Fundo Verde do Clima.

Todos os custos estão expressos em US\$ milhões (milhões de dólares americanos) e se referem ao ano de 2020.

O custo de mitigação ( $M$ ) para que a meta do Acordo de Paris seja cumprida, mantendo o aquecimento global abaixo dos 2°C não muda com a estratégia do outro jogador, sendo dependente apenas da estratégia do próprio país. Com relação ao custo de mitigação da China, no seu iNDC indica que pretendem reduzir de 60-65% com relação ao PIB e dependendo do valor do PIB a taxa de redução poderá resultar em números bem menor em comparação ao Estados Unidos. Sendo assim, com base nos dados do *Climate equity reference calculator* (KEMP-BENEDICT *et al.*, 2017), a projeção de

mitigação, considerando o compromisso de redução de 65% das emissões para a China, seria de 6.511 MtCO<sub>2</sub>eq. Considerando o custo de mitigação de US\$91 por tonelada em 2020, a China gastaria US\$ 592.501.000 para atender a sua iNDC. Já os EUA, para cumprir seu iNDC, teria que reduzir 1.870 MtCO<sub>2</sub>eq, o que implicaria num custo de US\$ 170.170.000. A representação matricial desses custos (M) está ilustrada no quadro a seguir em US\$ milhões.

Quadro 1 – Representação matricial dos custos de mitigação (M) dos Estados Unidos (EUA) e China, estimados para o ano de 2020, diante das estratégias de cooperar ou não cooperar com o Acordo de Paris. Elaborado a partir dos dados de KEMP-BENEDICT *et al.* (2017).

		China	
		Coopera	Não-coopera
EUA	Coopera	170, 593	170, 0
	Não-coopera	0, 593	0, 0

Pressupõe-se que o custo para a adaptação deverá ser empenhado de qualquer maneira, com ou sem cooperação. Contudo, as estimativas para o custo de adaptação se basearam nas médias das estimativas de Frankhauser (2010) para países desenvolvidos e em desenvolvimento e com os valores indexados a 1% do PIB da China e Estados Unidos.

Com base nas médias de Frankhauser (2010) os valores correspondentes aos países em estudo são: US\$ 44,5 bilhões para a China e US\$ 63 bilhões para os Estados Unidos. Adicionalmente, considerando que o PIB de 2020 da China está estimado para US\$ 16.952.008 milhões e para US\$ 22.235.731 milhões para os EUA, esses foram os valores adotados para os cálculos indexados em 1% do PIB, dispostos no quadro a seguir (IMF, 2018).

Os valores tomados como custo de adaptação (A) representam, portanto, a média aritmética entre os custos estimados por Frankhauser (2010) e 1% do PIB dos países. Sendo assim, independente dos cenários de cooperação ou não, se prevê os custos de cerca de US\$ 107.010 milhões para a China e cerca de US\$ 142.684 milhões para os Estados Unidos.



O custo de adaptação, ao contrário do custo de mitigação, pode ser também influenciado pela estratégia própria e do(s) outro(s) jogador(es), pois a estratégia influenciará na quantidade global de CO<sub>2</sub>eq para a qual o país deverá se adaptar. Para esse cálculo, foram considerados os cenários *Business as Usual* (BAU), quando não há cooperação de alguma das partes, e o cenário de redução projetado para 2020. No que se refere às quantidades absolutas de gases de efeito estufa, em GtCO<sub>2</sub>eq, os valores globais projetados para 2020 para cada cenário estão dispostos no quadro abaixo.

Quadro 2 – Valores globais projetados de gases de efeito estufa em GtCO<sub>2</sub>eq para cada cenário de combinações de estratégias. Elaborado a partir dos dados de KEMP-BENEDICT *et al.* (2017).

		China	
		Coopera	Não-coopera
EUA	Coopera	44,8	51,3
	Não-coopera	46,6	53,1

Para que esses valores possam ser incorporados nos cálculos dos *payoffs*, foram estimados os custos incrementais (apenas o adicional) para adaptação, respeitando o custo médio de US\$91/ton. Os quadros a seguir representam a quantidade incremental de GEE emitida nas condições de cooperação ou não-cooperação dos dois países analisados, tendo em vista as projeções para 2020 e pressupondo que os demais países signatários do Acordo de Paris cumpriram suas metas.

Quadro 3 – Representação da quantidade incremental de gases de efeito estufa, emitidos em 2020 nos diferentes cenários para Estados Unidos (EUA) e China. Elaborado a partir dos dados de KEMP-BENEDICT *et al.* (2017). Valores em GtCO<sub>2</sub>eq.

		China	
		Coopera	Não-coopera
EUA	Coopera	0	6,5
	Não-coopera	1,8	8,3

Quadro 4 – Custo de adaptação incremental (Ai) para o ano de 2020, considerando os diferentes cenários para Estados Unidos (EUA) e China. Valores em US\$ milhões.

		<b>China</b>	
		Coopera	Não-coopera
<b>EUA</b>	Coopera	0, 0	591, 591
	Não-coopera	163, 163	755, 755

Por fim, foram incorporados à equação, os custos relativos ao Fundo Verde do Clima. Foi tomada como base de cálculo os US\$ 500 milhões depositados pelos EUA em 2014. Na fórmula, esse valor se soma aos *payoffs* para os EUA e, admitimos que ele subtrai os *payoffs* para a China, considerando que esta poderia ser uma beneficiária do Fundo, na mesma proporção.

$$\pi_{EUA_n} = -(M_{EUA_n} + A_{EUA_n} + A_{iEUA_n} + F_{EUA})$$

$$\pi_{CHN_n} = -(M_{CHN_n} + A_{CHN_n} + A_{iCHN_n} - F_{EUA})$$

$$\pi_{EUA1} = (\text{Coopera, Coopera}) = -(170 + 142.684 + 0 + 500) = -143.354$$

$$\pi_{EUA2} = (\text{Coopera, não-coopera}) = -(170 + 142.684 + 591 + 500) = -143.945$$

$$\pi_{EUA3} = (\text{não-coopera, Coopera}) = -(0 + 142.684 + 163 + 0) = -142.847$$

$$\pi_{EUA4} = (\text{não-coopera, não-coopera}) = -(0 + 142.684 + 755 + 0) = -143.439$$

$$\pi_{CHN1} = (\text{Coopera, Coopera}) = -(593 + 107.010 + 0 - 500) = -107.103$$

$$\pi_{CHN2} = (\text{Coopera, não-coopera}) = -(593 + 107.010 + 591 - 500) = -107.694$$

$$\pi_{CHN3} = (\text{não-coopera, Coopera}) = -(0 + 107.010 + 163 - 0) = -107.173$$

$$\pi_{CHN4} = (\text{não-coopera, não-coopera}) = -(0 + 107.010 + 755.300 - 0) = -107.765$$

Para a modelagem do jogo, foram obedecidos 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).

As estratégias de adesão ou não-adesão foram modeladas no *software* GAMBIT - *Software Tools for Game Theory* (McKelvey, 2016). Os *payoffs*

foram inseridos no programa e, a partir disso, foi buscado o(s) equilíbrio(s) de Nash e determinar a estratégia dominante do jogo, tendo em vista o modelo não-cooperativo para representar o Acordo de Paris.

## 5. RESULTADOS

O quadro a seguir mostra o resumo da primeira etapa do levantamento de dados. Os dados e os valores levantados nessa etapa de identificação dos custos que permitiram o cálculo dos *payoffs* de cada país (China e EUA) em cada cenário possível de combinação de estratégias (Cooperar ou não-cooperar) representadas pela adesão ou não ao Acordo de Paris.

Dessa forma, foi feito um quadro contendo as metas de dados que foram baseados nos iNDC- *Intended Nationally Determined Contributions* (2015) (Quadro 5).

Quadro 5 – Quadro explicativo das Intenções de Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC) da China e dos Estados Unidos.

País	Alvo de mitigação	Ano base	Ano meta
China	Reduzir de 60 a 65% as taxas de carbono por Produto Interno Bruto (PIB) per capita	2005	2030
Estados Unidos*	Redução das emissões de 26 a 28%	2005	2030

\*Valor baseado nas contribuições determinadas antes da retirada do Acordo de Paris.

De acordo com as informações disponíveis, os Estados Unidos se comprometeu em reduzir de 26% a 28% das suas emissões até o ano de 2030. A China apresentou uma meta de reduzir as suas taxas de carbono de 60 a 65% por Produto Interno Bruto (PIB) per capita, sendo ambas medidas referentes ao ano de 2005.

Os EUA prometeram contribuir com o valor de US\$ 3 bilhões em 2014, em 2017 de acordo com o Thwaites (2017) do *WRI- Word resources*, já foram

depositados US\$ 500 milhões, ou seja, um terço já foi depositado. Este valor apresentado foi considerado na fórmula como valor de investimento.

Com base nos iNDC, compromissos relacionados ao Fundo e a combinação de estratégias para os diferentes cenários de adesão ou não ao Acordo de Paris, foram obtidos os seguintes *payoffs*:

$$\begin{aligned} \pi_{EUA1} &= (\text{Coopera, Coopera}) = -143.354 \\ \pi_{EUA2} &= (\text{Coopera, não-coopera}) = -143.945 \\ \pi_{EUA3} &= (\text{não-coopera, Coopera}) = -142.847 \\ \pi_{EUA4} &= (\text{não-coopera, não-coopera}) = -143.439 \\ \pi_{CHN1} &= (\text{Coopera, Coopera}) = -107.103 \\ \pi_{CHN2} &= (\text{Coopera, não-coopera}) = -107.694 \\ \pi_{CHN3} &= (\text{não-coopera, Coopera}) = -107.173 \\ \pi_{CHN4} &= (\text{não-coopera, não-coopera}) = -107.765 \end{aligned}$$

A seguir, está a representação da matriz de possibilidades com os *payoffs* distribuídos conforme estratégias e países.

Quadro 6 – Matriz de possibilidades com os *payoffs* da China e Estados Unidos nos cenários de cooperação ou não-cooperação diante do Acordo de Paris.

		China	
		Coopera	Não-coopera
EUA	Coopera	(-143.354, -107.103)	(-143.945, -107.694)
	Não-coopera	(-142.847, -107.173)	(-143.439, -107.765)

Foram 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 (jogo não-cooperativo). O modelo foi definido, também, como um jogo simultâneo, quando as partes devem tomar decisões desconhecendo as decisões dos outros.

Com os *payoffs* e premissas informados, foi testado o seguinte modelo no *software* GAMBIT.

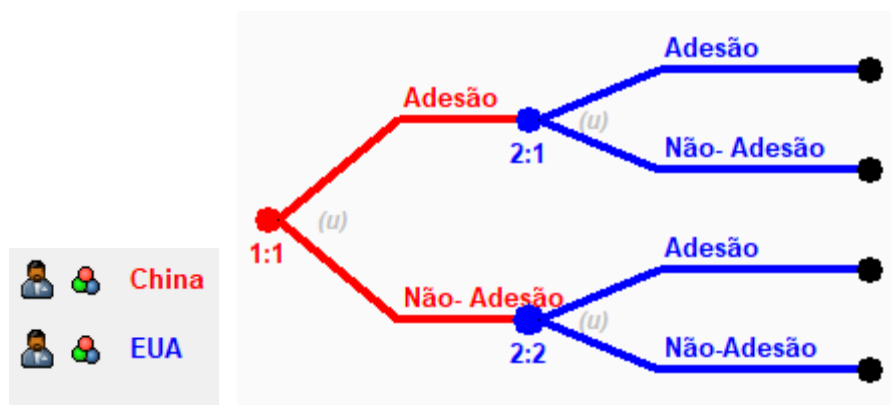


Figura 3 – Modelo extensivo de interação entre os Estados Unidos (EUA) e China, considerando as estratégias de adesão ou não-adesão ao Acordo de Paris.

Fonte: Modelagem usando o Software Gambit 15.1 (McKelvey, 2016) feito pela autora.

As possibilidades são: 1) ambos os países aderirem ao acordo (cooperação mútua), na qual, foram computados os custos de mitigação ( $M$ ) previstos para o alcance de seus iNDC, mais o custo de adaptação ( $A$ ) já esperado, sem custo de adaptação incremental ( $A_i$ ) visto que todos os países estariam cooperando e se alcançaria a meta global, mais os custos e benefícios do Fundo Verde do Clima ( $F$ ); 2) China não coopera, mas Estados Unidos coopera, sendo computados apenas os  $M$  dos Estados Unidos e  $M_{CHN2} = 0$ , o  $A$  se mantém, mas o  $A_i$  aumenta em função das emissões da China, o Fundo seria depositado pelos Estados Unidos; 3) China coopera, mas Estados Unidos não coopera, no qual são computados os custos de mitigação da China, mas não dos Estados Unidos ( $M_{EUA3} = 0$ ), o  $A$  se mantém, mas o  $A_i$  aumenta, visto que os Estados Unidos não cooperaria, e o Fundo não seria depositado ( $F_{EUA,CHN} = 0$ ); 4) ambos os países não cooperam e não são computados custos de mitigação, nem do Fundo, mas apenas  $A$  e os valores de  $A_i$  para esse cenário.

De posse dos *payoffs* e do modelo do jogo, essas informações foram lançadas no *software* GAMBIT (versão 15, McKelvey, 2016) que simula os

possíveis resultados de escolha de decisão de cada jogador. O uso desse *software* como aponta o autor Leoneti (2012), permitiu usar:

uma interface gráfica interativa para construção e análise de jogos na forma extensiva ou na forma estratégica e uma grande número de ferramentas para computar os equilíbrios de Nash ou as soluções para os jogos. (LEONETI, 2012, pg. 20).

A partir daí pôde-se comparar qual seria a melhor escolha em termos de estratégia que tinha como melhor alternativa os ganhos individuais e globais (Equilíbrio de Nash).

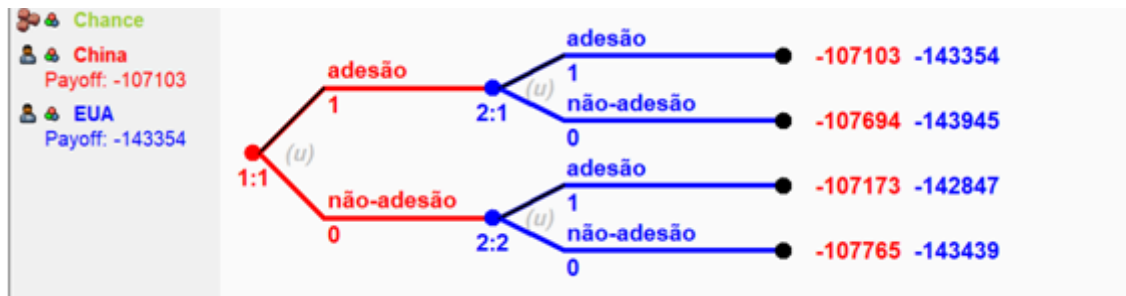


Figura 4 – Tela de resultado do Gambit 15.1 para um jogo de estratégias mistas com os *payoffs* da China e Estados Unidos relativos ao Acordo de Paris.

Fonte: Modelagem usando o Software Gambit 15.1 (McKelvey, 2016) feito pela autora.

O programa retornou a existência de quatro possíveis equilíbrios de Nash. Contudo, como estratégia dominante, predomina a cooperação mútua (adesão e adesão), conforme pode ser visto na figura 5.

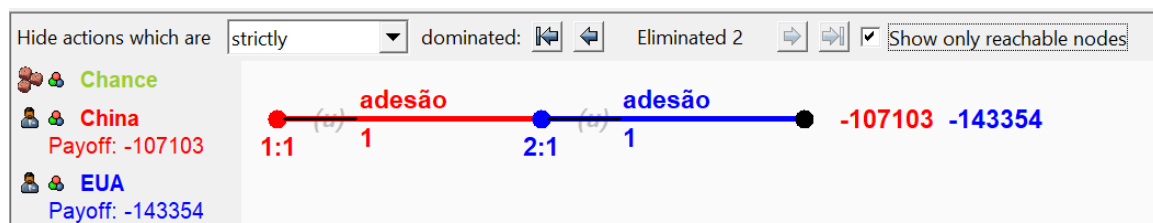


Figura 5 - Tela de resultado do Gambit 15.1 com a estratégia dominante com os *payoffs* da China e Estados Unidos relativos ao Acordo de Paris.

Fonte: Modelagem usando o Software Gambit 15.1 (McKelvey, 2016) feito pela autora.

A estratégia dominante, de cooperação mútua, é também um Equilíbrio de Nash.

Como jogo sequencial, na primeira rodada, seriam eliminadas as possibilidades de não-cooperação para os Estados Unidos. Seria mantida ainda a possibilidade de não-cooperação para a China (figura 6).

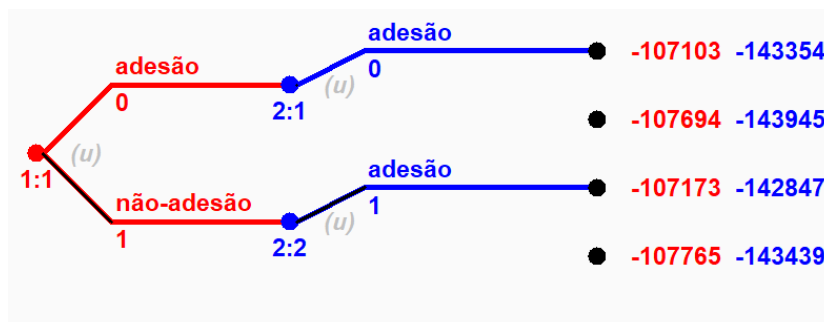


Figura 6 - Tela de resultado do Gambit 15.1 com as estratégias possíveis após primeira rodada, com os *payoffs* da China e Estados Unidos relativos ao Acordo de Paris.

Fonte: Modelagem usando o Software Gambit 15.1 (McKelvey, 2016) feito pela autora.

Na segunda rodada, seria eliminada a possibilidade de não-adesão da China, resultando como estratégia final a adesão de ambos os países.

Quando é solicitado ao *software* apenas um único Equilíbrio de Nash, o resultado também aponta para a estratégia dominante, que é a cooperação mútua.

Com os resultados alcançados, conclui-se que a estratégia mais provável e estável do jogo é a cooperação mútua.

## 6. ANÁLISE DOS DADOS

Num primeiro cenário possível, onde ambas cooperam e conforme o resultado mostrado no *software* GAMBIT 15.1 (McKelvey, 2016), seria este a estratégia dominante em que ambas as partes — Estados Unidos e China— obteriam como o melhor cenário de acordo com o Equilíbrio de Nash.

No estudo feito pelos autores Markandya *et al.* (2018), afirma que os investimentos feitos pela colaboração do Acordo de Paris poderão ser compensatórios em economizar pela perda da sua produção e gastos com relação a saúde pública. A estimativa dos estudos mostra que, caso a meta de 2°C for alcançada, a mortalidade com relação a poluição cairá de 21% a 27% e entre 2020 a 2050, e no caso da meta de 1,5°C seria entre 28% a 32% (MARKANDYA *et. al* , pg. 130, 2018).

Outro resultado apresentado pelos autores seria que os esforços para que se alcance a meta de 2°C foi o mais vantajoso no âmbito global, pois a economia que teriam com a saúde pública seria o dobro dos gastos com políticas de mitigação, a China seria o país que teria uma economia de 55% mas já para os EUA apesar de também mostra uma certa economia, somente na área de saúde ainda não terá uma recompensa total dos gastos feitos nas políticas de mitigação.

No outro relatório feito pelos autores Day *et al.* (2015), mostra os benefícios relacionados ao investimento feito pelos países para cumprir as metas do NDC.

Tais benefícios incluem a redução da dependência de importações de combustíveis fósseis e segurança energética aprimorada, impactos na saúde provenientes da redução da poluição do ar e ambientes de trabalho mais seguros, geração de empregos sustentáveis e decentes e proteção dos serviços ecossistêmicos locais dos quais muitas economias locais são enormemente dependentes. (DAY *et. al*, pg. 10. 2015)

Os quadros abaixo mostram dois cenários. O primeiro seria os co-benefícios que os EUA e China teriam com as políticas atuais e as suas metas iNDC e no segundo cenário seria o fortalecimento das suas metas compatível com os 2 °C, ou seja, políticas que se condiz com as propostas do iNDC's.

Quadro 7 - Co-benefícios com relação a meta INDC's e a política atual.

<b>Co-benefícios</b>	<b>China</b>	<b>EUA</b>
Redução de custos de importação de combustíveis fósseis	Redução da dependência do carvão no país em 21%	Redução da dependência de combustíveis escassos produzidos internamente
Mortes prematuras causados	100.000 mortes	7.000 mortes



pela exposição a poluição do ar		
Criação de empregos verdes	500.000 empregos	470.000 empregos

Fonte: Elaborado pela autora e retirado as informações de Assessing the missed benefits of countries' national contributions Quantifying potential co-benefits, Day T. Höhne N. Gonzales S. (2015).

Quadro 8 - Co-benefícios com relação a política forte que condiz com o INDC's.

<b>Co-benefícios</b>	<b>China</b>	<b>EUA</b>
Redução de custos de importação de combustíveis fósseis	\$ 190 Bilhões por ano	US \$ 160 Bilhões por ano
Mortes prematuras causados pela exposição a poluição do ar	1,1 milhão de mortes	20.000 mortes
Criação de empregos verdes	1,4 milhões de empregos	180.000 empregos

Fonte: Elaborado pela autora e retirado as informações de Assessing the missed benefits of countries' national contributions Quantifying potential co-benefits, Day T. Höhne N. Gonzales S. (2015).

No segundo cenário, teríamos a adesão dos EUA e a não adesão da China, que não é o cenário dominante segundo o *software* GAMBIT 15.1. Apesar desse cenário não aparentar ser o mais provável, justamente pelo aumento da eficiência tecnológica da China, ela continua sendo o país onde mais se emite carbono na atmosfera. De acordo com o autor Parnell (2011), apesar dos esforços vindo da China com relação às medidas de eficiência em energias renováveis, pequenas economias mas com escalas de emissões intensas torna a sua própria iniciativas verdes fúteis.

De acordo com a Leung (2013), possíveis desafios podem afetar, de certa forma, o desejo da China de se tornar país com baixa emissão de carbono. Um desses desafios seria o fato de que algumas empresas chinesas, especialmente as de pequenas e médio porte não atendem a responsabilidade social e ambiental dentro da China.

Planelles (2017) afirma que a contribuição da China é bastante pequena, por ser um país que mais emite gases de efeito estufa comparada com a europeia. O argumento que a China declarou seria que eles não fazem parte do grupo de países ocidentais que desencadeou os problemas relacionados à

mudança climática. Conforme Oliveira (2008) *apud* OMS (Organização mundial da saúde).

A poluição do ar é a causa da morte prematura de cerca de 656.000 chineses a cada ano, de acordo com recente relatório da Organização Mundial da Saúde. Os principais poluentes tidos como causadores dessas cifras são o dióxido de enxofre, material particulado, ozônio e dióxido nitroso. Essa situação é agravada pela poluição "indoor", uma vez que é comum na China a calefação das residências ser feita por meio da queima de carvão (OLIVEIRA, 2008,p. 115).

Com esses números alarmantes de mortes causados pela poluição do ar, são consequências causadas pelo uso de carvão nas indústrias, e caso não haja uma mudança na situação da China estes números poderão crescer.

Numa publicação feita por Fontdeglória (2015) é citado um relatório feito pela OMS, indicando que a China evitaria 923.000 mortes prematuras por enfermidades cardiovasculares nos próximos 15 anos se suas cidades tivessem um ar limpo de forma aceitável.

Sendo assim, a não adesão da China mostra possibilidades muito negativas do ponto de vista sanitário recaindo sobre o país, o que se reforça pela análise feita neste estudo ao considerar os aspectos econômicos.

No terceiro possível cenário, seria a não adesão dos EUA no acordo de Paris e a adesão da China. Conforme o resultado previsto no *software* GAMBIT 15.1 este também não seria o cenário dominante. Essa situação tem grande possibilidade de ocorrência, já que no dia 1 de julho de 2018, o atual presidente dos Estados Unidos Donald Trump, anunciou a retirada dos Estados Unidos do Acordo de Paris, afirmando que poderia haver o reingresso caso houvesse um novo acordo com os termos adequados ao país (G1, 2017). De acordo com o site de pesquisas *Climate action tracker* (2017), essa atitude do atual presidente demonstra um retrocesso severo e que poderia afetar as ações dos outros países, colocando assim em risco o sucesso do Acordo de Paris.

Numa declaração feita pelo secretário-geral da ONU (Organização das Nações Unidas) Stáphane Dujarric :

É fundamental que os EUA se mantenham na liderança do desenvolvimento climático e sustentável. A mudança climática está afetando a todos agora. Espera-se poder reunir tanto o governo norte-americano como todos os demais atores ao redor do mundo para construir um futuro sustentável para

nossas crianças e para as futuras gerações. (Nações Unidas do Brasil, 2017).

Apesar da declaração do Presidente Trump, líderes empresários e a sociedade americana pretendem continuar com o compromisso, divergindo com o posicionamento do presidente.

Segundo os autores Bizawu e Rodrigues (2017) muitos estados dos Estados Unidos pretendem manter as metas independente dos rumos traçados pela administração atual. Muitos estados americanos possuem leis em favor das energias renováveis e atitudes sustentáveis, assim mesmo com a política do governo Trump, os governadores de muitos estados, já disseram que vão continuar com as diretrizes do Tratado.

Com a saída dos EUA do Acordo de Paris, a atenção do mundo fica voltada para a China, por ser o maior emissor de carbono no mundo (IPCC, 2007). De acordo com a declaração feita pela então porta-voz da diplomacia chinesa Hua Chunying, afirma que a China não abandonará o compromisso feito por eles no Acordo de Paris.

Segundo Osorio (2017), com esse novo cenário a China se lança para o protagonismo internacional no âmbito ambiental, direcionando os seus esforços diplomáticos para a cooperação em acelerar as metas de baixo carbono com a injeção de fontes limpas de energia na matriz de elétrica. Ainda segundo o autor Osorio (2017): “O governo chinês é o principal incentivador da Global Energy Interconnection (GEI), que tem como meta ampliar para 80% a participação das fontes renováveis no consumo primário global de energia em 2050”.

Em 2015, as emissões de CO<sub>2</sub> da China caíram 1-2% após uma ligeira queda em 2014 e a principal queda foi de 2-4% no consumo de carvão (GREENPEACE, 2016).

De acordo com a *United Nations-Climate Change* (2018) a China conseguiu alcançar a sua meta de emissão de carbono para 2020 em três anos antes do planejamento inicial, demonstrando assim o compromisso que os chineses estão fazendo com relação ao futuro de baixo carbono. No final de 2017, a China havia cortado as emissões de dióxido de carbono por unidade do

PIB em 46% em relação ao nível de 2005, cumprindo seu compromisso de reduzir as emissões de carbono em 40 a 45% em relação ao nível de 2005 até 2020 (United Nations-Climate Change, 2018).

Isso mostra que a China, assim como outros países que não estão no grupo dos países desenvolvidos, ganharam protagonismo nas negociações e iniciativas com relação ao clima. Do ponto de vista de formação de coalisões, esses países são atualmente promissores colaboradores e incentivadores dos acordos internacionais. Por outro lado, os Estados Unidos, embora tenha perdido esse protagonismo, ainda é um importante ator devido as suas elevadas taxas de emissões.

No quarto e último cenário seria a não adesão dos dois países, e este seria o pior dos cenários já que a China e os EUA juntos são responsáveis por mais de 40% do total de emissão do mundo (CQNUMC, 2016 *apud* ROCHA, 2016).

O relatório do IPCC (2014) informa que desde 1880 até 2014, o aumento da temperatura da terra subiu cerca de 0,07°C por década e isso está trazendo sérias consequências ao mundo. Os incêndios florestais estão cada vez mais frequentes e a principal área de maior frequência está no oeste dos Estados Unidos, causando grandes prejuízos econômicos ao país (IPCC, 2014).

Watson *et al.* (2017) afirmam que os impactos climáticos causados pelas mudanças climáticas e as suas consequências diretas estão custando, em média, US\$ 240 bilhões por ano em perdas econômicas, os danos e os custos a saúde, ou seja, cerca de 40% do total de crescimento dos Estados Unidos.

Foi calculado por Zhang *et al.* (2017) que até o período de 2040-2059, as temperaturas médias na China aumentarão em 3,6 F (2 °C), e para a economia chinesa significa que a mudança climática poderia reduzir a produção industrial em até 12% ao ano em meados de XXI. Ainda com os autores, caso a produção manufatureira na China permanecer na faixa dos 32% do PIB nacional, de acordo com o estudo as previsões seria que as perdas provocadas pelo clima só no setor manufatureiro reduziriam o PIB chinês em 3,8% ao ano até o meado do século.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste presente trabalho, o propósito foi de apresentar os possíveis cenários referentes ao novo acordo internacional sobre o clima, o Acordo de Paris, demonstrando a partir da Teoria Jogos, os Equilíbrios de Nash e a estratégia dominante, a estratégia mais provável, na qual os países teriam benefícios tanto no âmbito individual como coletivo, no aspecto financeiro e na redução das emissões de gases de efeito estufa.

Conforme a análise do trabalho, os resultados obtidos foram que a melhor escolha para os países (Estados Unidos e China) seria a adesão ao Acordo de Paris, ou seja, a cooperação mútua seria a melhor estratégia para obter maiores vantagens em comparação a estratégia de não aderir ao Acordo.

Apesar das intenções dos Estados Unidos em se retirar do Acordo, fica evidenciado que, do ponto de vista dos aspectos econômicos das mudanças climáticas, considerando custos de adaptação, mitigação e de investimentos no fundo verde, ainda assim, seria mais interessante para China e Estados Unidos, cooperarem, aderindo ao Acordo de Paris.

Mesmo não tendo um *enforcement* ou sanção prevista no Acordo que punisse os países que não cooperam, a estratégia mais estável e dominante de cooperação mútua mostra que os custos incrementais de adaptação seriam suficientes para causar prejuízos que não compensam a opção pela não adesão.

Nisso, reforça-se ainda mais a importância do Acordo de Paris, ao enfatizarmos que a cooperação global seria a melhor forma de ação contra o aquecimento global, pois diferentes acontecimentos climáticos causados pela mudança climática poderão acarretar em consequências irreversíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Alecsandra de Neri. **Teoria dos Jogos**: As origens e os fundamentos da Teoria dos Jogos. UNIMESP. São Paulo; Nov. 2006. Disponível em: <[www.slinestorsantos.seed.pr.gov.br/.../as\\_origens\\_e\\_os\\_fundamentos\\_da\\_teor\\_a\\_dos\\_jogo](http://www.slinestorsantos.seed.pr.gov.br/.../as_origens_e_os_fundamentos_da_teor_a_dos_jogo)> Acesso em: 29 março 2017.

- ALMEIDA; R. G. **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E COOPERAÇÃO INTERNACIONAL: UMA ANÁLISE DOS GOVERNOS SARNEY A DILMA (1985-2015)**. 2017. 65 f. Trabalho de conclusão de curso- Instituto de Economia e relações internacionais. Universidade Federal de Uberlândia Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20672>. Acesso em: 15 de Abril de 2018.
- AVELHANI, Livia Liria, **Construção e análise do regime ambiental internacional**. Revista acadêmica de Relações internacionais. Universidade federal de santa Catarina. Corpo editorial; vol. 1; n° 3. Julho, 2013. Disponível em: < [rari.ufsc.br/files/2013/07/RARI-Artigo-3.pdf](http://rari.ufsc.br/files/2013/07/RARI-Artigo-3.pdf) > Acesso em: 30 março 2017.
- AXELROD, R. (1985). 'The evolution of co-operation'. New York: Basic Books.
- BITTENCOUR, Paulo Víctor Zaneratto; **As três imagens das relações internacionais na formulação de uma teoria de política internacional: Uma discussão neorrealista**. XII Semana de ciências sociais UFSCar. n°2; Maio, 2014. Disponível em: [www.semanasociais.ufscar.br/wp-content/uploads/2014/03/61.pdf](http://www.semanasociais.ufscar.br/wp-content/uploads/2014/03/61.pdf). Acesso em: 30 de março de 2017.
- BIZAWU S. K; RODRIGUES M. V. **A crise da globalização: um estudo sobre os efeitos do Brexit e da política do governo Trump e os desafios para as metas do acordo de Paris**. 2017. Cadernos de Dereito Actual Nº 7 Extraordinario (2017), pp. 241-256. Disponível em: [cadernosdedereitoactual.es](http://cadernosdedereitoactual.es). Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- BNP PARIBAS. **From laggard to leader: China embraces green finance**. 2010. Disponível em: [https://cib.bnpparibas.com/sustain/from-laggard-to-leader-china-embraces-green-finance\\_a-3-1491.html](https://cib.bnpparibas.com/sustain/from-laggard-to-leader-china-embraces-green-finance_a-3-1491.html). Acesso em: 15 de março de 2018.
- 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 de out a 01 de Nov. de 2005.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**, Brasília. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas> > Acesso em: 30 de março de 2017.
- Climate Analytics, Ecofys e NewClimate Institute. Disponível em: <<http://www.climateactiontracker.org/countries/usa>>. Acesso em: 3 de Fevereiro
- CORREA, Esmeralda; COMIM, Flávio. **Impactos potenciais da mudança climática no desenvolvimento humano**. 2012. ANPEC – Associação nacional dos Centros de Pós-graduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics]. Anais do XXXVI Encontro nacional de economia. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2008/artigos/200807211226430.pdf> Acessado em: 03 de abril de 2017.
- DAY, T. HÖHNE N. **More climate change action, more co-benefits**. Analysis of the INDCs for EU, US and China. New Climate institute. 30 de março de 2015. Disponível em: <https://newclimate.org/2015/03/30/more-climate-change-action-more-co-benefits-analysis-of-the-indcs-for-eu-us-and-china/>. Acesso em: 17 de Abril de 2018.
- 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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/5km975plmzg6-en>. Acessado em: 03 de abril 2017.
- DOMINGOS, N. P. **O Protocolo de Kyoto: a União Europeia na Liderança do Regime de Mudanças Climáticas**. 2007. 136 f. Dissertação (PósGraduação em Relações Internacionais) Programa San Tiago Dantas de Pós-Graduação em Relações Internacionais- PUCSP/UNESP/UNICAMP. PUC-SP, São Paulo, 2007.

- FIGUEIREDO, Reginaldo Santana; **Teoria dos Jogos**: conceitos, formalização matemática e aplicação à distribuição de custo conjunto. Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X1994000300005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X1994000300005)> Acesso em: 29 março. 2017.
- ESPAGNE. Etienne; FABERT. Baptiste. P; POTTIER. Antonin; NADAUD. Franck; DUMAS. Patrice; **Disentangling the Stern/Nordhaus controversy: beyond the discounting clash**. 15 Outubro, 2012. Fondazione eni enrico Mattei working paper. p. 712. <http://services.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1725&context=feem>.
- FONTEGLÒRIA. X. **Poluição na China matará 923.000 pessoas até 2030**. 11, novembro. 2015.EL País: O jornal Global . Disponível em:< [https://brasil.elpais.com/brasil/2015/11/10/internacional/1447152772\\_680439.html?rel=mas](https://brasil.elpais.com/brasil/2015/11/10/internacional/1447152772_680439.html?rel=mas)>. Acesso em : 17 de abril de 2018.
- FORGÓ, Ferenc; FÜLÖP, János; PRILL, Mária. **Game theoretic models for climate change negotiations**. European Journal of Operational Research, v. 160, n. 1, p. 252-267, 2005.
- FANKHAUSER, Samuel. The costs of adaptation. **Wiley interdisciplinary reviews: climate change**, v. 1, n. 1, p. 23-30, 2010.
- G1.globo.com.Trump anuncia saída dos EUA do Acordo de Paris sobre mudanças climáticas.01, Junho. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/trump-anuncia-saida-dos-eua-do-acordo-de-paris-sobre-mudancas-climaticas.ghtml>Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- GOMES, Marco Paulo. **Protocolo de Kyoto**: origem.PUC Minas. Março, 2005.Disponível em: < [www1.pucminas.br/imagetdb/conjuntura/CNO\\_ARQ\\_NOTIC20050829120850.pdf?..](http://www1.pucminas.br/imagetdb/conjuntura/CNO_ARQ_NOTIC20050829120850.pdf?..)> Acesso em: 30 março. 2017.
- GREEN CLIMATE FUND. **Status of Pledges and Contributions made to the Green Climate Fund**. 20 de abril de 2018. Green Climate Fund. Disponível em: [https://www.greenclimate.fund/documents/20182/24868/Status\\_of\\_Pledges.pdf/ef538d3-2987-4659-8c7c-5566ed6afd19](https://www.greenclimate.fund/documents/20182/24868/Status_of_Pledges.pdf/ef538d3-2987-4659-8c7c-5566ed6afd19). Acesso em: 25 de Abril de 2018.
- GREENPEACE. **As emissões de CO2 da China continuaram a cair em 2015**. 29, fevereiro. 2016. Key energy numbers from China's 2015 Statistical Communique. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/eastasia/press/releases/climate-energy/2016/Chinas-CO2-emissions-continued-to-fall-in-2015--Greenpeace-response/#.VtQL6oVxTL4.twitter>. Acesso em: 15 de Abril de 2018.
- HENRIQUE, Renata T. **A Cooperação no Regime de Mudanças Climáticas**. Revista Debates, Porto Alegre, v.3, n.2, p. 155-182, jul.-dez. 2009.
- IMF - INTERNATIONAL MONETARY FUND. World economic outlook database. 2018. Disponível em: < <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2018/01/weodata/index.aspx>> Acesso em: 15 de maio de 2018.
- IPCC, 2007: **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- 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, pp. 151.

- IPCC, 2014. **Climate Change 2014. Synthesis Report Summary for Policymakers**. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>. Acesso em: 19 de Abril de 2018.
- JULIANO, Paola G. R. P.; **Meio ambiente e relações internacionais: uma discussão sobre a crise ambiental e a ausência de uma organização internacional para meio ambiente no âmbito das Nações Unidas**. 3º encontro nacional, Abril, 2011. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000122011000300030&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000122011000300030&script=sci_arttext)>. Acessado em: 30 abril 2017.
- KEMP-BENEDICT, ERIC, CHRISTIAN HOLZ, PAUL BAER, TOM ATHANAISSOU E SIVAN KARTHA (2017) **The Climate Equity Reference Calculator**. Berkeley e Somerville: Projeto de referência sobre equidade climática (EcoEquity e Stockholm Environment Institute). Disponível em: <<https://calculator.climateequityreference.org>>.
- KUHN, Steven, "**Prisoner's Dilemma**", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/prisoner-dilemma/>>.
- KURIYAMA, A. e ABE, N. 2018. **Ex-post assessment of the Kyoto Protocol – quantification of CO2 mitigation impact in both Annex B and non-Annex B countries**. Applied Energy, Volume 220, 2018, Pages 286-295, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.025>
- 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.
- LEUNG D. **How Are China's Overseas Investments Affecting the Environment?** World resources institute. 09, maio. 2013. Disponível em: <http://www.wri.org/blog/2013/05/how-are-china%E2%80%99s-overseas-investments-affecting-environment>. Acesso em: 17 de Abril de 2018.
- LUTERBACHER, Urs; SPRINZ, Detlef F. Problems of global environmental cooperation. In: **International Relations and Global Climate Change**, MIT Press, Cambridge, p. 1-22, 2001.
- MARKANDYA, A. SAMPEDRO, J. SMITH, S.J. DIRGENEN, R. V. ARTO, IRIZAR. C.P. J. EQUINO, M.G. Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. The Lancet Planetary Health. Volume 2.No3 .P.126-133 .Março,2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542519618300299>>. Acesso em: 15 de Abril de 2018.
- MCKELVEY, Richard D., MC LENNAN, Andrew M., and Turocy, Theodore L. (2016). **Gambit: Software Tools for Game Theory**, Version 16.0.0. <http://www.gambit-project.org>.
- MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. BRASIL. **Conferência sobre mudança do clima de Lima**. Brasília, 2014. Disponível em: [http://diplomaciapublica.itamaraty.gov.br/blog\\_aig/26-desenvolvimento-sustentavel/104-conferencia-sobre-mudanca-do-clima-de-lima-cop-20](http://diplomaciapublica.itamaraty.gov.br/blog_aig/26-desenvolvimento-sustentavel/104-conferencia-sobre-mudanca-do-clima-de-lima-cop-20)> Acesso em: 26 de maio de 2018.
- NAÇÕES UNIDAS. Climate Change. **China Meets 2020 Carbon Target Three Years Ahead of Schedule**. 28, março. 2018. Disponível em: <https://unfccc.int/news/china-meets-2020-carbon-target-three-years-ahead-of-schedule>. Acesso em: 17 de Abril de 2018.
- NORDHAUS, William. 2015. **Climate Clubs: Overcoming Free-Riding in International Climate Policy**. American Economic Review, 105 (4): 1339-70



- OLIVEIRA I. M. D. **Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade urbana**. R. RAÍE GA, Curitiba, n. 15, p. 113-126, 2008. Editora UFPR. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/14249/9575>. Acesso em: 18 de Abril de 2018.
- OLIVEIRA, Rafael Santos de. **O aquecimento global e as mudanças climáticas como questão de segurança internacional**: Um desafio para as relações internacionais do século XXI. In: *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XIII, n. 79, ago 2010. Disponível em: [http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=8162](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=8162). Acesso em 30 março 2017.
- OLSON, M. (1999). **A Lógica da Ação Coletiva**. São Paulo: EDUSP, 1999.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **ONU recebe notificação oficial dos EUA para abandonar o acordo de paris par ao clima**. ONUBR. 2017. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-recebe-notificacao-oficial-dos-eua-para-abandonar-acordo-de-paris-para-o-clima/>. Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- OSORIO L. E. Acordo de Paris: saída dos EUA reforça nova dinâmica geopolítica e protagonismo da China. 06, julho. 2017. CPFL energia. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/acordo-de-paris-saida-dos-eua-reforca-nova-dinamica-geopolitica-e-protagonismo-da-china.asp>. Acesso em: 15 de Abril de 2018.
- PARNEELL J. **China: Good COP, bad COP**. 11, novembro. 2011. Climate home news. Disponível em: <http://www.climatechangenews.com/2011/11/11/china-good-cop-bad-cop/>. Acesso em: 18 de abril de 2018.
- PLANELES M. VIDAL L. China e Europa se aliam na luta climática contra Trump. 30, março . 2017. El País: O jornal global . Disponível em: [https://brasil.elpais.com/brasil/2017/03/30/internacional/1490872926\\_817917.htm](https://brasil.elpais.com/brasil/2017/03/30/internacional/1490872926_817917.htm) l. Acesso em: 18 de abril de 2018.
- RAWORTH, Kate. Adapting to Climate Change: What's needed in poor countries, and who should pay. **Oxfam Policy and Practice: Climate Change and Resilience**, v. 3, n. 1, p. 42-88, 2007.
- 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.
- ROCHA; R. S. **UMA ANÁLISE DO ACORDO DE PARIS: A CONVENÇÃO-QUADRO E A NOVA FASE DO REGIME MULTILATERAL DE MUDANÇA DO CLIMA**. 2016. 63 f. Trabalho de conclusão de curso-Instituto de relações internacionais Universidade de Brasília. Brasília. Disponível em: [http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16370/1/2016\\_RebecaSouzaRocha\\_tcc.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16370/1/2016_RebecaSouzaRocha_tcc.pdf). Acesso em: 25 de Abril de 2018.
- SANTINI, Alexandre Brígida et al. **Introdução a teoria dos jogos**.II Bienal da SBM, Universidade Federal da Bahia. Outubro, 2004. Disponível em: [www.ime.usp.br/~rvicente/IntroTeoriaDosJogos.pdf](http://www.ime.usp.br/~rvicente/IntroTeoriaDosJogos.pdf) >. Acesso em: 29. Março 2017.
- SCHIERMEIER, Q. (2012). **The Kyoto Protocol**: Hot air. *Nature*491, 656–658 (28 November 2012) | doi:10.1038/491656a.
- SCHWARTZ A. **The cost of building a green economy? Two percent of the World's GDP**. 23 de maio de 2011. Fast company. Disponível em: <https://www.fastcompany.com/1730740/cost-building-green-economy-two-percent-worlds-gdp>. acesso em: 10 de Março de 2018.
- SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. **Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a**

- partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 42, 2017.
- STEFFENS, Clarice; STEFFENS, Juliana. **A poluição atmosférica e a qualidade de vida da população.** Disponível em: <<http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/2529>>. Acesso em: 30 março 2017.
- STERN, N. H. 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](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm) Acessado em: 02 de abril de 2017.
- THWAITES, J. **US Climate finance: A great deal for the nation and the world.** 16 de fevereiro de 2017. World resources institute.- WRI. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2017/02/us-climate-finance-great-deal-nation-and-world>>. Acesso em: 15 de Abril de 2018.
- UNFCCC (2017). UN Climate Change Newsroom. Disponível em: <http://newsroom.unfccc.int/>> Acesso em: 02 de abril de 2017.
- VERMA, Shalini;KAUSHAL, R.K. (2016). A Game Theoretic Approach For Global Cooperation in Climate control. Journal of Environmental Engineering and Studies Volume1 Issue 3: 1-16.
- VIHMA, A. 2015. **Climate of Consensus.** Rev Euro Comp & Int Env Law, 24: 58-68. doi:10.1111/reel.12093
- WATSON, R. MCCARTHY, J. HISAS, L. **The economic case for climate action in the United States.** Acting Climate Together. Setembro, 2017. Disponível em: <<https://feu-us.org/case-for-climate-action-us/>>. Acesso em: 17 de Abril de 2018.
- WOOD, Peter John. **Climate Change and Game Theory.** Environmental Economics Research Hub. Research Reports n62. 2010. Disponível em: <[https://cama.crawford.anu.edu.au/research\\_units/eehr/pdf/EERH\\_RR62.pdf](https://cama.crawford.anu.edu.au/research_units/eehr/pdf/EERH_RR62.pdf)> Acesso em: 01 de junho de 2018.
- ZHANG, P. DESCHENES, O. MENG, K. C. ZHANG, J. **Temperature Effects on Productivity and Factor Reallocation: Evidence from a Half Million Chinese Manufacturing Plants.** IZA- Institute of Labor economic. IZA DP No. 11132. Novembro, 2017. Disponível em: <<http://ftp.iza.org/dp11132.pdf>>. Acesso em: 19 de Abril de 2018.
- ZHU-GANG J. ,WEN-JIA C. , CAN W. **Simulation of Climate Negotiation Strategies between China and the U.S. Based on Game Theory.** ADVANCES IN CLIMATE CHANGE RESEARCH 5, pg. 34-40, 2014. DOI: 10.3724/SP.J.1248.2014.034.
- ZIMMERMANN, Nils. 2016. **Five of the world's biggest environmental problems.** Disponível em: <<http://p.dw.com/p/2QhJZ>> Acesso em: 26 de maio de 2018.