



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, ECONOMIA, CONTABILIDADE E
GESTÃO PÚBLICA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

EDUARDO GUERRA ARAUJO

GREVE DOS CAMINHONEIROS DE 2018: UMA
ANÁLISE DA TEORIA DOS JOGOS COM MÉTODO
DE INDUÇÃO REVERSA E INCERTEZA

BRASÍLIA
2023

EDUARDO GUERRA ARAUJO

GREVE DOS CAMINHONEIROS DE 2018: UMA
ANÁLISE DA TEORIA DOS JOGOS COM MÉTODO
DE INDUÇÃO REVERSA E INCERTEZA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade de Brasília – UnB – Faculdade
de Administração, Economia, Contabilidade e
Gestão Pública como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Ciências
Econômicas.

Orientador : Leandro Gonçalves do
Nascimento

BRASÍLIA
2023

EDUARDO GUERRA ARAUJO

GREVE DOS CAMINHONEIROS DE 2018: UMA
ANÁLISE DA TEORIA DOS JOGOS COM MÉTODO
DE INDUÇÃO REVERSA E INCERTEZA

Brasília, ___/___/_____

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.

Prof.

Prof.

Àqueles que influenciaram direta e indiretamente a minha caminhada até hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Brasília por proporcionar um ambiente inclusivo e plural de ideias, pessoas e estudos que me auxiliaram ao longo destes 5 anos de jornada.

Aos meus pais, meus irmãos, minhas avós e meus familiares, que me apoiaram durante meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Às minhas grandes amizades formadas nestes 9 semestres de Ciências Econômicas, principalmente os "duduzecos".

Aos amigos, dos mais diversos cursos, que fiz enquanto presente em disciplinas extracurriculares na experiência universitária.

Aos excelentes professores e mentores que tive a oportunidade de conhecer e aprender muito durante estes anos.

Àqueles que me acompanharam durante as Monitorias, GECHINA, Contabilidade Conectada, Politeia e demais projetos da Universidade de Brasília.

Aos amigos e professores com quem tive aulas de mandarim no Instituto Confúcio.

Aos meus amigos da Internationali Negotia, projeto pelo qual tenho muito carinho e orgulho de participar.

Às amizades que cultivei e me impactaram em Brasília, no Brasil e no exterior.

Agradeço também ao meu orientador, professor Dr. Leandro Gonçalves do Nascimento, pelo acolhimento, paciência e suporte. Seus ensinamentos foram fulcrais desde as disciplinas de Economia Industrial e Economia Quantitativa 2, e com certeza, culminaram na concretização desta monografia.

“Sic Parvis Magna (Uncharted)”

“Faça ou não faça, tentativa não há (Mestre Yoda)”

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a cronologia dos fatos durante a greve dos caminhoneiros de 2018 sob a ótica da teoria dos jogos, incluindo seus conceitos básicos e cenários mais complexos, enquanto enfoque particular no método da indução reversa para estudar o modelo. Inicialmente, será apresentado o arcabouço histórico por trás da evolução da teoria dos jogos, seguida do desenvolvimento dos principais conceitos como: jogo na forma extensiva, equilíbrio de Nash e informação perfeita. Depois, aprofunda-se no método da indução reversa como técnica para estudar a árvore de jogos. A greve dos caminhoneiros é então contextualizada, juntamente com as motivações dos jogadores e uma cronologia dos acontecimentos ao longo das paralisações. Finalmente, é traçada a modelagem da greve como um jogo na forma extensiva e, por meio do método da indução reversa, estudado o equilíbrio de Nash e os payoffs do cenário, enquanto isso, compara-se os resultados encontrados com a situação concreta de 2018. Adicionalmente, são analisados os casos onde há incertezas exógenas e endógenas no modelo da greve, com objetivo de aprofundar o estudo e aproximar-se do caso real durante a greve dos caminhoneiros.

Palavras-chave: Greve dos Caminhoneiros de 2018, Teoria dos Jogos, Indução Reversa, Incerteza.

ABSTRACT

This work aims to analyze the chronology of events during the 2018 truck drivers' strike from the perspective of game theory, including its basic concepts and more complex scenarios, with a particular focus on the backward induction method to study the model. Initially, the historical framework behind the evolution of game theory will be presented, followed by the development of key concepts such as: game in extensive form, Nash equilibrium and perfect information. Afterwards, the method of backward induction is deepened as a technique to study game trees, then the truck drivers' strike is contextualized, alongside the motivations of the parties and a chronology of events throughout the stoppages. Finally, the modeling of the strike is traced as a game in the extensive form and, through the backward induction method, the Nash equilibrium and the payoffs of the scenario are studied, meanwhile, the results found are compared with the concrete situation of 2018. Additionally, cases where there are exogenous and endogenous uncertainties in the strike model are analyzed, with the aim of deepening the study and approaching the real case during the truckers' strike.

Keywords: 2018 Truck Drivers' Strike, Game Theory, Backward Induction, Uncertainty

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz payoff do Dilema do Prisioneiro	17
Tabela 2 - Cronograma simplificado da greve dos caminhoneiros	29
Tabela 3 - Matriz payoff do Modelo	38
Tabela 4 - Matriz payoff do Modelo - Exemplo	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de árvore de jogo na forma extensiva	20
Figura 2 - Árvore do Dilema do Prisioneiro	21
Figura 3 - Exemplo de subjogo	22
Figura 4 - Método da indução reversa: passo 0	23
Figura 5 - Método da indução reversa: passo 1	24
Figura 6 - Método da indução reversa: passo 2	24
Figura 7 - Método da indução reversa: passo 3	25
Figura 8 - Árvore da greve dos caminhoneiros	32
Figura 9 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 1	32
Figura 10 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 2	33
Figura 11 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 3	33
Figura 12 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 4	34
Figura 13 - Greve dos caminhoneiros: Situação Concreta	35
Figura 14 - Árvore da greve dos caminhoneiros sob incerteza	38
Figura 15 - Árvore da greve dos caminhoneiros sob informação imperfeita	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. HIPÓTESES COMPORTAMENTAIS	13
3. TEORIA DOS JOGOS	16
4. FORMA EXTENSIVA, INFORMAÇÃO IMPERFEITA E SUBJOGO	19
5. MÉTODO DA INDUÇÃO REVERSA	23
6. A GREVE DOS CAMINHONEIROS	26
7. MODELAGEM E SITUAÇÃO CONCRETA	30
8. INCERTEZA EXÓGENA E ENDÓGENA	36
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a Teoria dos Jogos surgiu e se desenvolveu como um ramo do conhecimento com aplicações em diversas áreas do conhecimento, desde a matemática, biologia e economia. Com vistas a estudar e analisar como pessoas, enquanto jogadores, fazem escolhas frente a estratégias; como eles reagem às circunstâncias dos jogos e como se comportam em relação a resultados e consequências. Em geral, ela foca em cenários onde agentes devem tomar decisões em busca do melhor desfecho, ao mesmo tempo que devem mensurar riscos e recompensas.

Neste trabalho, é apresentado um traço temporal da evolução da Teoria dos Jogos, passando pela obra de Bernoulli, o caso do jogo *Le Her*, o clássico Dilema do Prisioneiro e o legado do matemático John Nash Jr. Tudo isso serve para demonstrar como este tema é amplo e se aplica a vários desafios da humanidade e ambientes do dia a dia. Em seguida, é desenvolvido o arcabouço matemático dos principais termos e conceitos do estudo da Teoria dos Jogos, entre eles: a definição de jogo, a forma extensiva, equilíbrio de Nash e subjogo.

Adicionalmente, passa-se para a comparação entre os jogos com informação perfeita e imperfeita, além da demonstração do método da indução reversa como ferramenta para descobrir equilíbrios de Nash em jogos. É de extrema importância a apresentação destes diversos tópicos na área da Teoria dos Jogos para que possamos modelar e compreender por completo o modelo principal, foco deste trabalho, que é a Greve dos Caminhoneiros de 2018.

Com abrangência nacional, a Greve dos Caminhoneiros, que ocorreu em 2018, impactou gravemente a percepção e a organização da escala industrial de transportes no Brasil. E, por meio, da contextualização dos antecedentes e agentes inseridos na crise serve de base para construir uma cronologia simplificada dos ‘12 dias que pararam o país’.

Depois dessa explicação do cenário, pode-se apresentar os jogadores (Governo e Caminhoneiros), definir as escolhas e estratégias que cada um poderia tomar ao longo da greve para enfim desenvolver o modelo adaptado e estudá-lo. Ao definir, primeiro, a greve como um caso de jogo na forma extensiva com informação perfeita, é possível encontrar o equilíbrio de Nash, a melhor estratégia possível para ambos os jogadores, utilizando o método de indução reversa.

Na sequência, vale analisar como os resultados encontrados depois da manipulação do modelo se compararmos com o cenário real que aconteceu ao longo e após o fim da greve, em 2018. E, adicionalmente, com vistas a aprofundar a pesquisa, é interessante observar o tema sob novas condições, com incertezas exógenas e endógenas, onde há subjogos e informações imperfeitas no jogo da greve. Tal mudança de perspectiva é fulcral para aproximar o modelo com as características realistas com que os jogadores se encontravam durante os dias de paralisação.

2. HIPÓTESES COMPORTAMENTAIS

A Teoria dos Jogos conhecida e discutida hoje é fruto de mais de três séculos de evolução do estudo de como os jogadores fazem escolhas. Historicamente¹, compreende-se que esse ramo da matemática surgiu em 1713 quando os acadêmicos James Waldegrave, Bernoulli e Montmort propuseram uma solução para o jogo de cartas da época, *Le Her*, que envolvia estratégia mista. Este jogo se resumia em dois jogadores escolhendo entre trocarem cartas entre si ou com uma outra carta da mesa, onde eles apenas sabem a identidade da carta que têm em mãos.

Inicialmente, tratou-se de um problema de probabilidade e análise combinatória, não haviam desenvolvido de fato o termo teoria dos jogos no começo do século XVIII. Apenas em 1838, com o artigo *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*, de Antoine Cournot, que foi apresentado um arcabouço teórico para a Teoria dos Jogos além da aplicabilidade em estudar mercados e monopólios.

Em seguida, Ernst Zermelo formulou o Teorema de Zermelo para garantir a existência de uma estratégia em jogos de xadrez em que se garantia a vitória ou o empate naqueles que a realizassem primeiro. Surgiu assim o primeiro teorema matemático da teoria dos jogos, em 1913. O próximo proeminente contribuidor da área foi John von Neumann, matemático cujo trabalho influenciou o desenvolvimento da bomba atômica e da computação.

Neumann publicou em 1944 o livro *The Theory of Games and Economic Behavior*, onde desenvolveu sobre jogos com soma zero, em que a vitória de um jogador pressupõe necessariamente a derrota do outro jogador. Tais ideias foram muito aplicadas em estratégias

¹ BELLHOUSE, D. e FILLION, N. *Le Her and Other Problems in Probability Discussed by Bernoulli, Montmort and Waldegrave*.

militares durante a Segunda Guerra Mundial. Também focou no estudo de teoria dos conjuntos e jogos cooperativos para analisar estratégias de conjuntos.

Com a chegada dos anos 1950, foi proposto talvez a maior contribuição para elevar a Teoria dos Jogos para um patamar de *mainstream* nas ciências econômicas: o Dilema dos Prisioneiros. Este dilema trata de uma ideia fictícia de problema em teoria dos jogos envolvendo dois prisioneiros em escolhas com soma não nula, e tal exemplo será analisado com mais profundidade neste trabalho posteriormente.

Na mesma época, o matemático John Nash Jr apresentou o conceito de equilíbrio para estratégias mistas em jogos não cooperativos, cujo trabalho lhe rendeu a denominação deste como Equilíbrio de Nash (NE). A aplicação e o impacto desse conceito² seria fulcral para o futuro da teoria dos jogos.

Ao longo da segunda metade do século XX, foram propostos múltiplos conceitos em teoria dos jogos: jogos na forma extensiva; valor de Shapley; jogos repetidos; etc. Em muitos campos das ciências estes estudos se tornaram mais comuns, incluindo economia, filosofia, computação e biologia. Nos anos 1960, Reinhard Selten, que era parceiro de Nash, aprimorou o próprio conceito de equilíbrio de Nash quando sugeriu uma solução para o equilíbrio perfeito em subjogo.

Pouco depois, John Harsanyi avança na definição de informação incompleta e jogos bayesianos em teoria dos jogos, e com isso, propôs que o NE serviria para jogos com informação assimétrica, ou seja, onde um jogador possui mais informações que outros jogadores. Já em 1994, Nash, Selten e Harsanyi conquistaram o Prêmio Nobel de Economia por seus estudos e contribuições em Teoria dos Jogos.

² Maynard Smith, John. *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge University Press 1982

De fato, o campo das ciências econômicas foi o mais aproveitado com a evolução da teoria dos jogos³, mas houve ao longo das últimas décadas diversas aplicações em outras áreas do conhecimento. Computação quântica, energia nuclear e política foram algumas das ciências onde a teoria dos jogos teve um papel relevante no desenvolvimento e modernização dos estudos envolvendo o processo de tomada de decisões.

Mais especificamente na biologia, o campo da genética experimentou uma aplicabilidade massiva da teoria dos jogos. John Maynard Smith formulou a estratégia evolucionária estável com equilíbrio correlato, um conceito que seria em 2005 aperfeiçoado pelos Prêmio Nobel Thomas Schelling e Robert Aumann com a teoria dos jogos evolucionários. E o zoólogo Richard Dawkins foi capaz de descrever um fator de utilidade no comportamento dos genes durante o processo de evolução, em algumas ocasiões, os genes cooperavam para maximizar suas utilidades individuais, um claro exemplo de uma análise em teoria dos jogos.

³ Leonard, R. J. (1995). From Parlor Games to Social Science: Von Neumann, Morgenstern, and the Creation of Game Theory 1928-1944. *Journal of Economic Literature*, 33(2), 730–761. <http://www.jstor.org/stable/2729025>

3. TEORIA DOS JOGOS

Anteriormente apresentado o traço histórico do surgimento da Teoria dos Jogos, passa-se agora para a explicação de conceitos, definições e elementos relevantes para este trabalho no que tange a modelação da greve dos caminhoneiros em face da sequência de escolhas e eventos. Definindo primeiro o que é posto como um jogo: uma situação onde dois jogadores interagem por meio de estratégias e suas escolhas geram recompensas. Em outras palavras, pode-se explicar o funcionamento de um jogo com o seguinte raciocínio:

- A forma normal de um jogo Γ_N é uma lista contendo $I = \text{conjunto de jogadores}$, com cada jogador $i \in I$.
- $S_i = \text{conjunto de estratégias do jogador } i$, $u_i = \text{função payoff do jogador } i$
- Como $I = \{1, \dots, n\}$ e $S = S_1 \times \dots \times S_n$, a função payoff é definida como $u : S \rightarrow \mathbb{R}$.
- Então tem-se $\Gamma_N = (I, (S_i), (u_i))$, com (S_i) sendo a lista (S_1, \dots, S_n) e com (u_i) sendo a lista (u_1, \dots, u_n) .

Colocada esta apresentação matemática, continuamente são válidas de citar outras definições teóricas. Primeiramente, o termo jogador diz respeito não apenas a pessoas, mas pode também denotar países ou grupos, por exemplo. Na grande maioria dos casos, postula-se que os jogadores são racionais, ou seja, agem visando maximizar a própria recompensa ou bem-estar; e todos os agentes possuem conhecimento das opções e das consequências de cada opção para cada agente.

Em se tratando de jogos, há dois tipos mais comuns: jogos simultâneos e jogos sequenciais/extensivos. Jogos simultâneos são aqueles onde os jogadores tomam suas decisões independentemente da decisão do outro jogador. Um exemplo simples desse caso é o jogo de “pedra, papel ou tesoura”. Já os jogos na forma extensiva são caracterizados pela sequência de acontecimentos, ou seja, o jogador escolhe conhecendo a ação do jogador que o

sucedeu Este tipo de jogo será o foco no desenvolvimento do caso a ser analisado neste trabalho. Por isso, convém a apresentação de um exemplo simples de jogo extensivo antes de um aprofundamento.

Partindo do clássico Dilema do Prisioneiro, essa alegoria exemplifica um caso de jogo simultâneo e todos os principais conceitos em teoria dos jogos. Ela funciona da seguinte maneira: dois suspeitos de um crime, Arthur e Bruno, são interrogados em ambientes diferentes e sem comunicação entre si As autoridades esperam que um deles confesse o crime oferecendo as seguintes opções para cada um: confessar o crime ou não confessar. Também é apresentado a eles os possíveis desfechos: se um confessar e outro negar, quem negou recebe uma pena de 10 anos e o outro é solto; se ambos confessarem, os dois recebem uma pena de 5 anos; e se nenhum confessar, os dois recebem uma pena de 1 ano. Cada um desses casos mostra possíveis ganhos ou payoffs dos jogadores, o resultado de suas escolhas, que podem ser representados pela seguinte matriz na forma normal:

		<i>Bruno</i>	
		<i>Confessar</i>	<i>Negar</i>
<i>Arthur</i>	<i>Confessar</i>	$(-5, -5)$	$(0, -10)$
	<i>Negar</i>	$(-10, 0)$	$(-1, -1)$

Tabela 1: Matriz payoff do Dilema do Prisioneiro

Modelando este cenário como um jogo simultâneo, tem-se os seguintes cálculos:

- Jogadores são $I = \{Arthur, Bruno\}$
- Estratégias são $S_1 = \{confessar, negar\}$ e $S_2 = \{confessar, negar\}$
- A função utilidade S_i é $u_i : S \rightarrow \mathbb{R}$, com $u_1(confessar,confessar) = -5$, $u_1(confessar,negar) = 0$, $u_1(negar,confessar) = -10$ e $u_1(negar,negar) = -1$

- A função utilidade S_2 é $u_2 : S \rightarrow \mathbb{R}$, com $u_2(\text{confessar}, \text{confessar}) = -5$, $u_2(\text{confessar}, \text{negar}) = -10$, $u_2(\text{negar}, \text{confessar}) = 0$ e $u_2(\text{negar}, \text{negar}) = -1$

Observa-se que a pior das opções com certeza é quando um deles nega o crime e o outro confessa, visto que o payoff desse é a pena de 10 anos preso. Já analisar qual seria a melhor opção neste caso significa reduzir as possíveis perdas, se Arthur partir das possibilidades de Bruno, se este escolher confessar, é melhor que Arthur também confesse, recebendo 5 ao invés de 10 anos de pena; mas se Bruno negar, é melhor que ele confesse, sendo então liberado. Todavia, se Bruno tiver a mesma estratégia de esperar pela escolha do outro, então no final ambos confessaram na esperança de serem liberados, nisso, na verdade, os dois recebem 5 anos de prisão.

De acordo com a Teoria dos Jogos, ambos os suspeitos têm uma estratégia dominante perante as outras, no caso abordado, confessar o crime, e por isso a resolução do dilema com um equilíbrio de estratégias dominantes. John Nash, estudando este raciocínio, propõe o conceito de Equilíbrio de Nash (NE), conforme explicado anteriormente neste trabalho, ainda que em um jogo sem estratégias dominantes, os jogadores tomam as decisões mais favoráveis para si. A definição de NE é dada por:

Definição 1 Em um jogo com n jogadores, um perfil de estratégias $s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*) \in S$ é um Equilíbrio de Nash em Γ_N se $u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*)$ para todo $i \in I$ e para todo $s_i \in S_i$.

Não obstante, nem todo jogo possui um NE e nem todo NE é a melhor alternativa para um jogo, ou seja, todo equilíbrio de estratégias dominantes é um NE porém nem todo NE é um equilíbrio de estratégias dominantes. E, no caso dos prisioneiros, a melhor escolha de cada suspeito é ser liberado, mas, conjuntamente, se ambos negarem o crime, receberam 1 ano de prisão, diferente do que o NE calculado antes sugere.

4. FORMA EXTENSIVA, INFORMAÇÃO IMPERFEITA E SUBJOGO

Com a devida introdução às bases da análise em Teoria dos Jogos, é relevante, em seguida, apresentar outros conceitos mais avançados que serão pertinentes no estudo da greve dos caminhoneiros de 2018. São eles: representação de jogos na **forma extensiva**; jogos com **informação imperfeita** e **subjogo**. Posteriormente, em algumas etapas da modelagem e interpretação matemática da greve, casos como esses aparecerão, logo, compreendê-los de antemão é fulcral.

Nos jogos na forma sequencial ou extensiva, as ações são realizadas sequencialmente, ou seja, um jogador quando toma sua decisão, temporalmente, como visto num jogo de xadrez, por exemplo. O fato de este jogo ser formado em uma ordem predeterminada possibilita que ele seja visualizado como uma *árvore de jogos*.

Para isso, utilizaremos um exemplo simples de jogo na forma extensiva e com informação perfeita (quando se tem conhecimento da jogada anterior): um leilão. Neste leilão, o leiloeiro define que o lance inicial de um quadro é 100 reais, Giovanni começa com a escolha de dar ou não o lance inicial pelo quadro; em seguida, Valério pode escolher entre dar um lance maior, estipulado pelo leiloeiro como 150 reais, ou o lance inicial caso não tenha sido dado antes ou não dar lance algum; depois da jogada de cada um, o jogo se encerra com possíveis desfechos: o quadro ficar com Giovanni; ou ficar com Valério ou com nenhum dos dois.

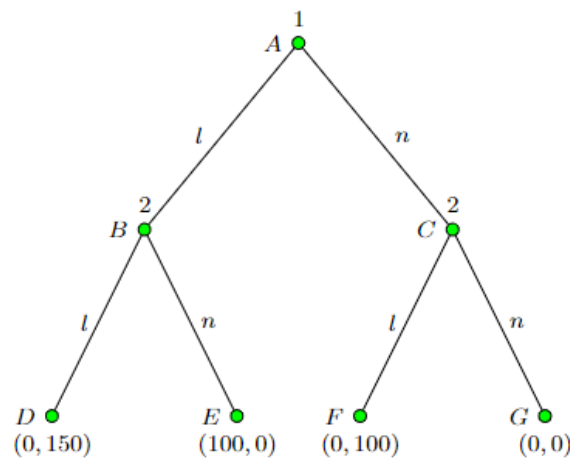


Figura 1 - Exemplo de árvore de jogo na forma extensiva

Observando em termos matemáticos, este jogo pode ser descrito da seguinte forma:

- Jogadores são $I = \{Giovanni, Valério\}$
- Estratégias são $S_1 = \{\text{dar lance em vigor, não dar lance}\}$ e $S_2 = \{\text{dar lance em vigor, não dar lance}\}$
- Nós não terminais $N = \{A, B, C\}$ e Nós terminais $T = \{D, E, F, G\}$
- Vetores de payoff $u_1 = (D \rightarrow 0, E \rightarrow 100, F \rightarrow 0, G \rightarrow 0)$ e $u_2 = (D \rightarrow 150, E \rightarrow 0, F \rightarrow 100, G \rightarrow 0)$

Paralelamente, quando um jogo é caracterizado por conter informação imperfeita, significa que o jogador não tem conhecimento da escolha tomada pelo oponente antes, por isso, ele não tem a certeza de qual nó⁴ da árvore está. Outro diferencial desse caso é que em todos os nós, a estratégia usada é a mesma devido a incerteza das condições. Por convenção, o caso de informação imperfeita será representado por uma linha pontilhada entre os nodos.

Definição 2 Para um jogo na forma extensiva ser denominado como de informação imperfeita:

- Os conjuntos e as funções de jogos sejam as mesmas que nos casos de jogos de informações perfeitas

⁴TADELIS, S. Game Theory: An Introduction, p.136, 2013.

- Algum conjunto de informação deve conter mais de um nó

Se retornarmos ao Dilema do Prisioneiro, percebe-se que ele pode ser visto como um exemplo de jogo na forma extensiva com informação imperfeita, visto que, se considerarmos que o Suspeito 1, Arthur é o primeiro a decidir se confessa ou nega o crime, e somente depois dele é que o Suspeito 2, Bruno, joga. Ademais, levando em conta também que os dois jogaram em ambientes separados e sem conhecimento da escolha um do outro, esta circunstância pode ser classificada como um caso de jogo com informação imperfeita, como expressado na árvore seguinte:

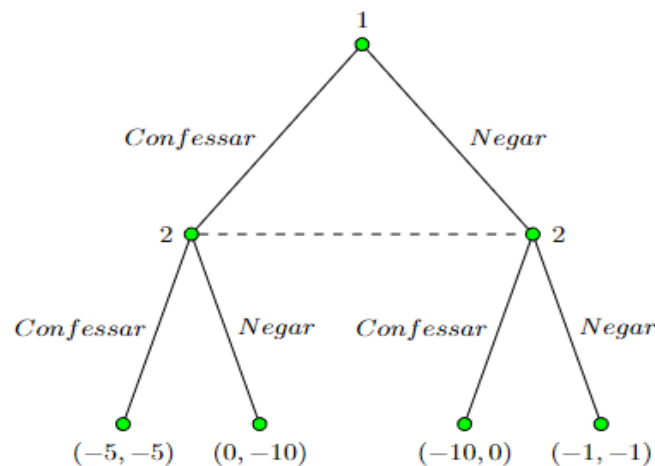


Figura 2 - Árvore do Dilema do Prisioneiro

Outro conceito relevante a ser apresentado é o de subjogo, este diz respeito a um “pedaço” de um jogo, com isso, copia-se a partir do nó escolhido todas as informações para os ramos e nós seguintes. Em outras palavras, um subjogo $\Gamma'_E(x)$ de um jogo na forma extensiva Γ_E é por si uma forma extensiva também, enquanto carrega as informações do nó anterior. Para se caracterizado como um subjogo, deve-se seguir as seguintes condições:

- Deve iniciar um único nó de decisão $\Gamma'_E(x)$ e conter todo os nós até o nó inicial x
- Se conter algum nó de um conjunto de informação, logo, também deve conter todos os nós de conjunto de informação

Esta ideia pode ser observada no jogo abaixo. Nele, percebe-se que o nó dos galhos C e D não é definido por um subjogo visto que não obedece a segunda condição apresentada anteriormente: contendo qualquer nó de um conjunto de informações, logo terá que conter todos os nós do conjunto de informações. Com outras palavras, o nó 2 da esquerda tem os galhos C e D como finais, logo, apenas o galho D não seria um subjogo, ambos devem ser subjogos.

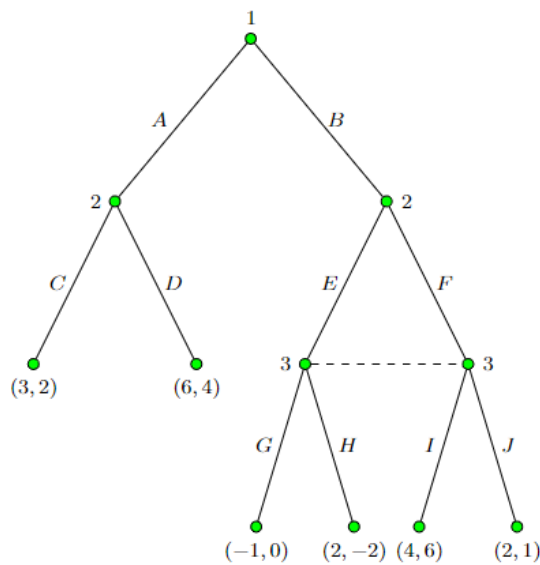


Figura 3 - Exemplo de subjogo

Para encontrar o Equilíbrio de Nash perfeito em subjogo (SPNE) de Γ_E , ou seja, onde um conjunto de estratégias s^* de Γ_E que sustenta o NE em cada subjogo de Γ_E , é necessário que s^* induza NE em separado e seja NE para cada subjogo.

5. MÉTODO DA INDUÇÃO REVERSA

O Método da Indução Reversa é um procedimento que possibilita que se encontre um equilíbrio de Nash perfeito em subjogo para casos de jogos de informação perfeita na forma extensiva. Esta técnica funciona da seguinte forma: a análise se inicia observando os nós terminais do jogo e selecionando a estratégia que tenha o maior payoff para o jogador ao qual o nó se refere; depois, prossegue-se para os penúltimos nós do jogo e seleciona-se a opção com maior payoff; repete-se o processo até chegar no primeiro nó, no início do jogo.

Vale ressaltar algumas situações que podem ocorrer durante a aplicação do método da indução reversa. Primeiramente, em caso que ambos os payoffs de um nó sejam iguais, pode-se selecionar um deles arbitrariamente, sem muito impacto na análise. Em segundo lugar, somente pode haver NE em indução reversa se ele coincidir com o NE em subjogo que há no jogo.

Por meio do exemplo de jogo na forma extensiva a seguir, com o conjunto de informação do jogador 1 sendo (A, B, G, H, I, J, K, L, M, N) e do jogador 2 sendo (C, D, E, F), pode-se observar na prática o método da indução reversa:

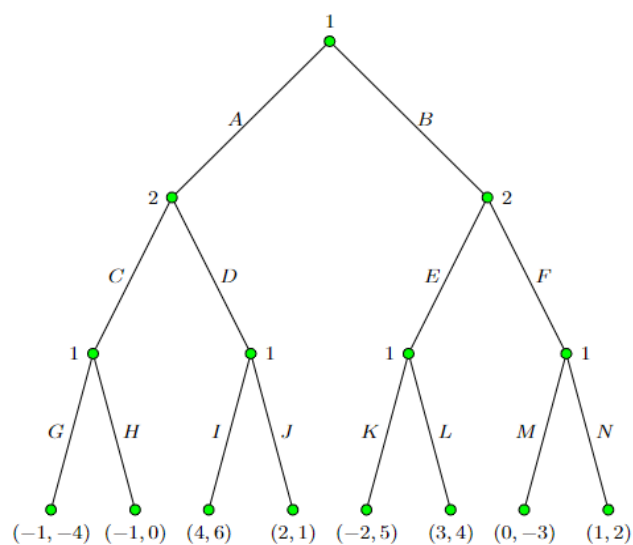


Figura 4 - Método da indução reversa: passo 0

Analisando primeiramente os últimos nós do jogo, seleciona-se as escolhas com maior payoff referente, neste caso, o jogador 1 deve escolher os galhos G, I, L e N; conforme os últimos nós, que representam a segunda vez do jogador 1. Então, a primeira etapa do método da indução reversa neste jogo fica assim:

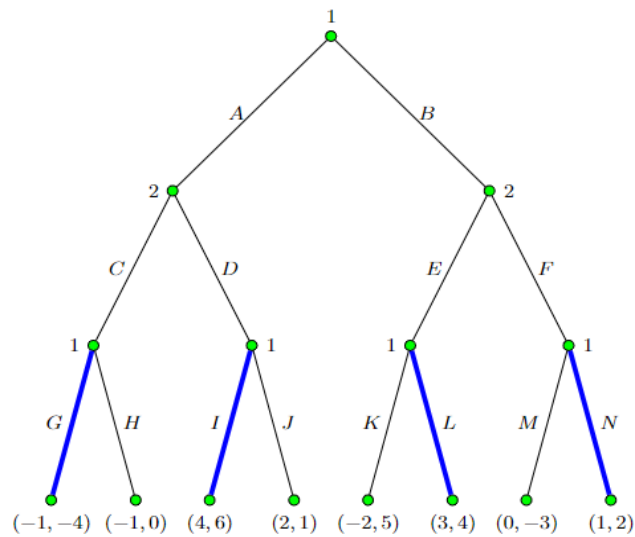


Figura 5 - Método da indução reversa: passo 1

Em seguida, o jogador 2 deve escolher, comparando os payoffs herdados das escolhas no passo 1, os galhos D e E, com a segunda etapa do jogo sendo assim:

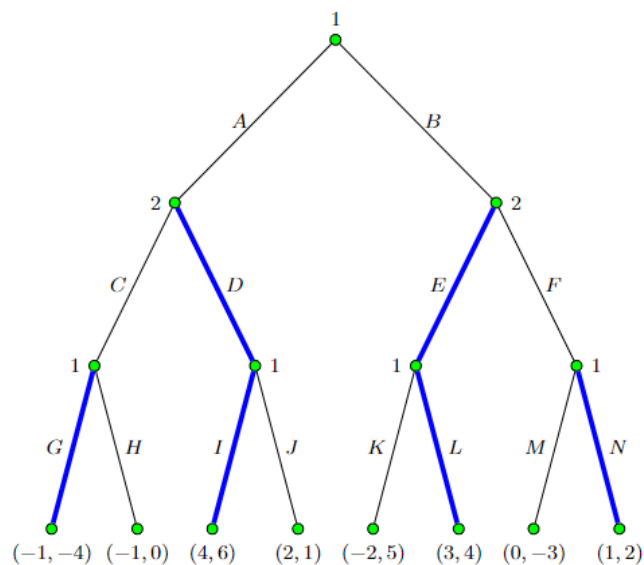


Figura 6 - Método da indução reversa: passo 2

Por fim, no primeiro nó, na primeira escolha do jogador 1, o jogador 1 deve escolher o ramo A. Dessa forma, conclui-se o método da indução reversa encontrando o equilíbrio de Nash perfeito em subjogo correspondente ao perfil de estratégias (A, G, I, L, N) e (D, E) desde jogo, com payoff de (4,6), como representado abaixo:

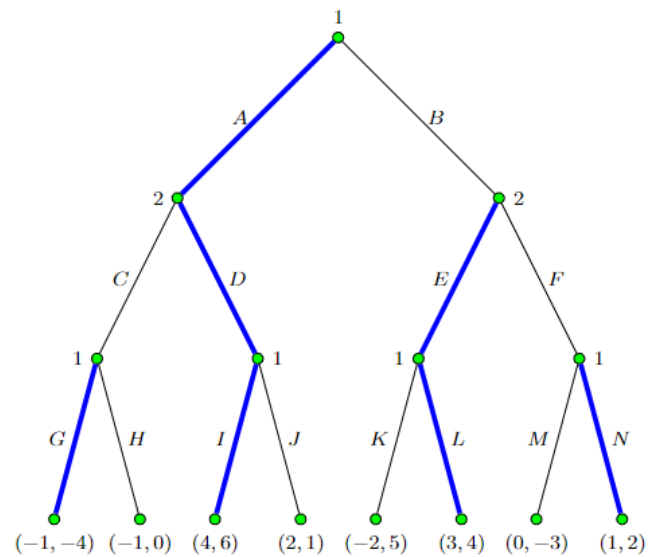


Figura 7 - Método da indução reversa: passo 3

6. A GREVE DOS CAMINHONEIROS

Em 2018, o Brasil presenciou um dos maiores eventos da década. Ao longo de pouco mais de 12 dias, a greve de um setor da economia foi capaz de impactar basicamente toda a cadeia produtiva nacional. Todavia, antes do desenvolvimento dos acontecimentos por trás desse caso, é fulcral de se analisar eventos anteriores⁵ e os antecedentes que levaram os caminhoneiros a convocarem uma greve de proporções nacionais.

Greves sempre foram movimentos trabalhistas em busca de melhores qualidades de vida, dignidade e direitos; ocorrem desde que a humanidade se organiza em sociedade. No que diz respeito ao setor observado neste trabalho, pode-se iniciar a contextualização desde 1999, quando os caminhoneiros realizaram até então a maior greve desde a redemocratização. Eles buscavam menores taxas de pedágio e impostos, além de garantias de previdência pública e durante 4 dias, pode-se observar o quão influente era esse setor para a cadeia produtiva e logística do Brasil.

No ano seguinte, mesmo depois das negociações sucedidas anteriormente, outra paralisação ocorreu em nome de melhores taxas de frete. Porém, desta vez houve um enfrentamento mais rígido e violento contra os grevistas. Avançando para 2012, vários pontos de rodovias paulistas e gaúchas foram bloqueados por caminhoneiros, que também foram alvos de represálias pelas forças de segurança. Na época, não houve desabastecimento, mas vários atrasos de entregas.

Em 2015, mais uma greve vem à tona com suporte de caminhoneiros de vários estados em busca de menores preços do diesel e pedágios e melhores fretes. Foi sancionada a Lei dos Caminhoneiros, Lei nº 13.103/2015, em negociações com lideranças do movimento. Nela

⁵ MOURA, R. A cronologia da crise do diesel, do controle de preços de Dilma à greve dos caminhoneiros. BBC Brasil em Londres, 24 de maio de 2018. Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44239437>

constavam várias regras e vários direitos quanto à atividade dos motoristas de caminhões no país. Meses depois, alegando o descumprimento de acordos acerca do preço de combustível pela Petrobras, mais bloqueios foram feitos, mas sem muito êxito.

Com isso, chega-se ao ano de 2018 com um cenário nada promissor para os caminhoneiros: havia um ano que a Petrobras realizava reajustes nos preços dos combustíveis com alta frequência, visando manter a competitividade frente a alta do dólar e do preço praticado internacionalmente. Entre julho de 2017 e maio de 2018, o diesel subiu 56,5% com base no Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), este aumento progressivo foi a gota d'água para o setor, que criticava o fato do combustível representar 42% dos custos de frete praticados.

Dessarte, no dia 21 de maio de 2018, dá-se início oficialmente à greve dos caminhoneiros, que por meio das redes sociais e grupos de whatsapp, a cada dia alcançaram mais estradas, rodovias e estados ao redor do Brasil. As principais reivindicações do setor eram centradas na carga tributária embutida no preço final do diesel: zeragem do PIS/Pasep e Cofins; isenção da Cide (Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico). Ao longo dos dias, percebia-se que esta greve tomava proporções muito maiores que as anteriores, sobretudo nas estratégias adotadas pelos caminhoneiros.

Por exemplo, além de bloquearem estradas e rodovias, limitando o trânsito de caminhões e veículos de passeio, eles atuaram fortemente impedindo o escoamento de combustível em refinarias e bases de armazenamento de alimentos. No Brasil, onde 65% de todas as cargas dependem⁶ de um transporte rodoviário devidamente abastecido e fluido nas estradas, tamanho fechamento do ciclo tem impactos imensuráveis na dinâmica comercial e industrial.

⁶ Valor segundo o Relatório Executivo do Plano Nacional de Logística 2025. 2018. <https://portal.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-2025>

Este diferencial na greve resultou em efeitos bem mais visíveis do que eram esperados, afetando diretamente o fornecimento de combustível em postos, insumos e produção do setor agroindustrial, alimentos e produtos industrializados em geral. O que antes era apenas um movimento do setor dos caminhoneiros se tornou uma crise nacional de abastecimento em basicamente todas as grandes e pequenas cidades no Brasil.

Dessa forma, a credibilidade desta greve naturalmente se elevou desde apenas caminhoneiros para impactar o Estado e a população nacional, que também estavam sendo afetados pelas paralisações nas rodovias e no escoamento de combustíveis. Diversos casos de desabastecimento de alimentos em mercados e filas quilométricas de carros em busca de abastecer em postos por todo o país foram apenas algumas das consequências. Conforme os dias de greve passavam, a população percebia ainda mais o valor da gasolina e alimentos, enquanto os preços rapidamente se elevavam e as filas também.

Tal fenômeno pode ser explicado pelo comportamento da sociedade quanto à demanda inelástica dos bens citados; mesmo com a elevação dos preços, a demanda se mantém. No caso da gasolina, pode-se até classificá-la como bem de Veblen⁷, devido a incerteza do abastecimento, o aumento do preço é seguido de um aumento da demanda do produto.

Posteriormente, depois de 12 dias de atividades, a força da greve foi se reduzindo à medida que o governo interveio e negociava com as representações dos caminhoneiros, mas principalmente a credibilidade da população em face dos impactos de fornecimento de alimentos e combustíveis nas cidades. No dia 30 de maio de 2018, os últimos manifestantes foram retirados das rodovias e o fluxo de bens começou a retomar a escala pré greve.

A principal característica desta greve diz respeito à cronologia dos acontecimentos e das respostas de cada jogador a novas condições e ambientes. E assim, comparando as escolhas e consequências para os caminhoneiros e para o governo ao longo dos dias que se

⁷ Veblen, T. B. (1899). *The Theory of the Leisure Class. An Economic Study of Institutions.*, Macmillan Publishers.

seguiram à greve. Com base no desenrolar dos 12 dias de paralisação (PORTINARI), algumas ações e reações dos caminhoneiros e do governo federal foram semelhantes ou tiveram efeitos repetidos para o contexto e, a partir disso, pode-se simplificar as etapas da greve da seguinte forma:

Dia	Governo	Caminhoneiros
18/05		Iniciam a greve
20/05	Liminares que impediam a greve	
21/05		Bloqueiam estradas de 17 estados
24/05	Intervenção militar em várias estradas	
27/05		Alcançam acordo mútuo para encerrar as paralisações

Tabela 2: Cronograma simplificado dos acontecimentos da greve dos caminhoneiros

7. MODELAGEM E SITUAÇÃO CONCRETA

A partir deste momento, pode-se iniciar o desenvolvimento do modelo final pois já foram apresentados os principais elementos fulcrais para este trabalho: origem da Teoria dos Jogos; conceitos básicos; indução reversa e cronologia da greve dos caminhoneiros. Para isto, utilizaremos como base a tabela com as jogadas do governo e dos caminhoneiros, ilustrada anteriormente, para modelar a árvore de jogos que representará a greve ocorrida em 2018.

Neste trabalho, serão analisados 3 casos específicos da greve e como a teoria dos jogos pode auxiliar no estudo das possibilidades e escolhas que estiveram à mesa durante os 12 dias de paralisações. São eles: a modelagem da greve em um **jogo de informação perfeita**; a **situação concreta** de o que realmente aconteceu e a greve em um **jogo de informação imperfeito**.

Para modelar a greve no caso onde ambos o governo e os caminhoneiros têm conhecimento das escolhas de cada um, ou informação perfeita, a forma extensiva é a mais adequada. O governo será representado pelo jogador 1 enquanto que os caminhoneiros serão o jogador 2. Quanto à progressão, definindo de antemão que o jogo se inicia após o início da greve, cada jogada na árvore será expressa conforme a seguinte cronologia de escolhas:

- Governo começa escolhendo entre não intervir (*ação a*) ou confrontar (*ação b*), vide liminares ou ações policiais contra os caminhoneiros grevistas;
- Caminhoneiros escolhem entre aceitar os termos propostos (*ação c*) com o Governo ou prosseguir com a greve (*ação d*);
- Nos casos onde a greve continua, o Governo dá o ultimato aos Caminhoneiros, aceitar as medidas oferecidas (*ação e*) ou receber a intervenção militar nas estradas (*ação f*);
- Caminhoneiros escolhem entre aceitar os termos propostos (*ação g*) ou serem alvos da intervenção (*ação h*), em ambos os casos encerrando a greve.

Com relação aos payoffs, diferentemente do raciocínio de Cândido(2019), eles serão atribuídos conforme as seguintes convenções para cada etapa do jogo:

- Na primeira jogada do Governo, se ele decidir não intervir, computa-se -1 ponto para o jogador 1 e 0 pontos para o jogador 2; se ele decidir intervir, computa-se 0 ponto para o jogador 1 e -1 ponto para o jogador 2;
- Na primeira jogada dos Caminhoneiros, se eles aceitarem os termos propostos, computa-se +2 pontos para o jogador 1 e 0 ponto para o jogador 2; se eles prosseguirem com a greve, computa-se -2 pontos para o jogador 1 e +1 ponto para o jogador 2;
- Na segunda jogada do Governo, se ele decidir não intervir, computa-se -1 pontos para o jogador 1 e +1 ponto para o jogador 2; se ele decidir intervir, computa-se +2 pontos para o jogador 1 e -2 pontos para o jogador 2;
- Na segunda jogada dos Caminhoneiros, se eles aceitarem os termos, computa-se +2 pontos para o jogador 1 e +2 pontos para o jogador 2; se eles negarem os termos, computa-se 0 pontos para o jogador 1 e -3 pontos para o jogador 2.

Observando em termos matemáticos, a modelagem da greve em jogo pode ser descrito da seguinte forma, conforme descrito anteriormente:

- Jogadores são $I = \{\text{Governo } (G), \text{Caminhoneiros } (C)\}$
- Lista de escolhas contingentes para cada jogador: $S_1 = \{\text{intervir}, \text{não intervir}\}$, $S_2 = \{\text{negociar}, \text{continuar greve}\}$, $S_3 = \{\text{intervir}, \text{não intervir}\}$, $S_4 = \{\text{negociar}, \text{não negociar}\}$
- Nós não terminais $N = \{A, B, C, E, G, H, I, J, K\}$ e Nós terminais $T = \{D, F, L, M, N, O, P, Q, R, S\}$
- Vetores de payoff (u_1, u_2) estão indicados na árvore do jogo

Definidos os jogadores, as escolhas possíveis e os payoffs adotados, pode-se modelar a greve dos caminhoneiros como um jogo de forma extensiva, vide a seguinte árvore:

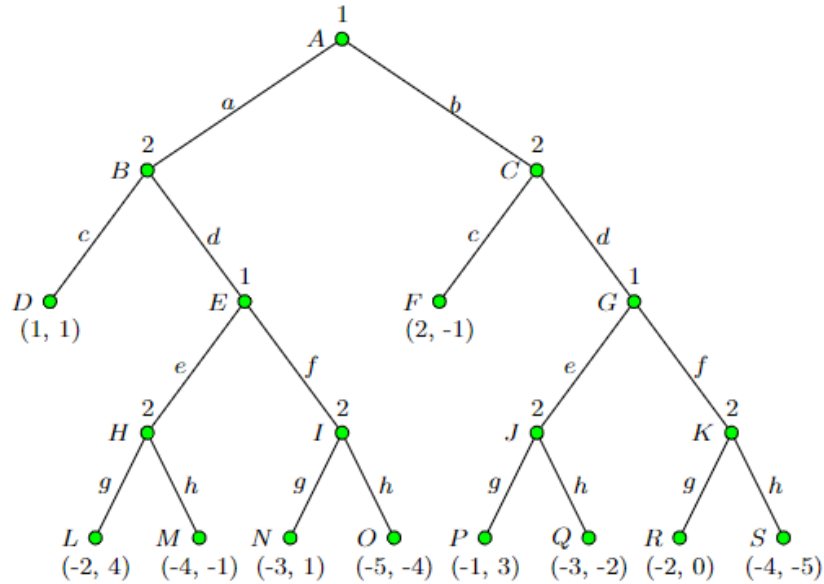


Figura 8 - Árvore da greve dos caminhoneiros

Agora, utilizando o método da indução reversa, apresentado anteriormente, seleciona-se os últimos nós terminais, na coloração **azul**, com o maior payoff para o jogador 2. Por isso, ele deve escolher os galhos L, N, P e R, tal como representado a seguir:

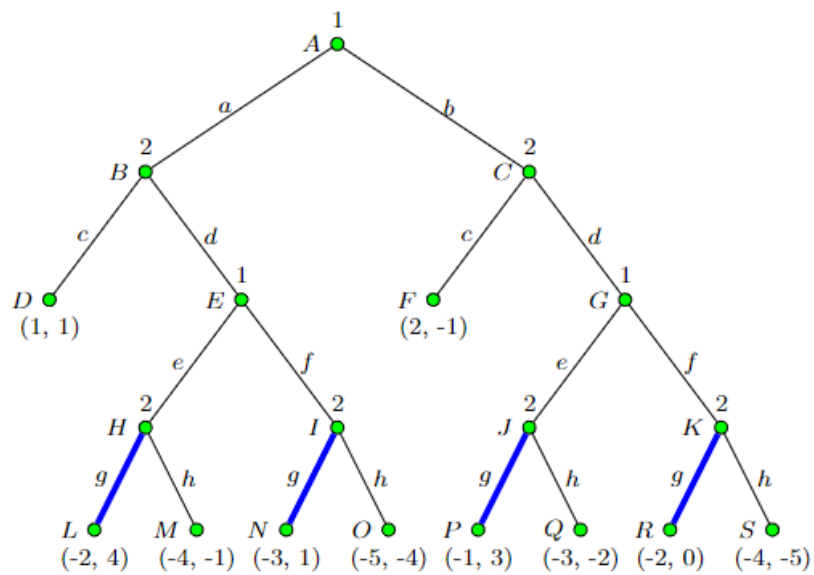


Figura 9 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 1

Repetindo o mesmo processo, agora para os nós seguintes, o jogador 1 deve escolher as opções H e J, como visto assim:

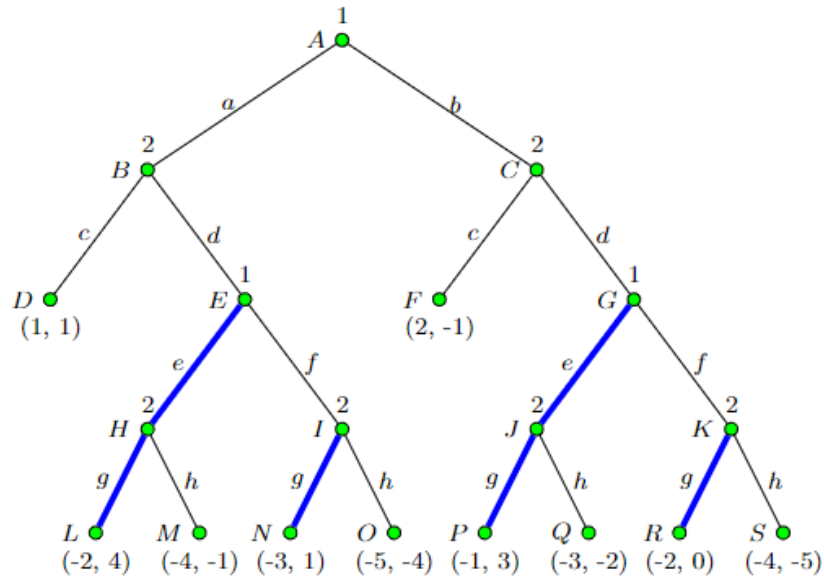


Figura 10 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 2

Novamente, analisando os nós seguintes, do jogador, deve-se optar pelos caminhos dos nós E e G, conforme a representação abaixo:

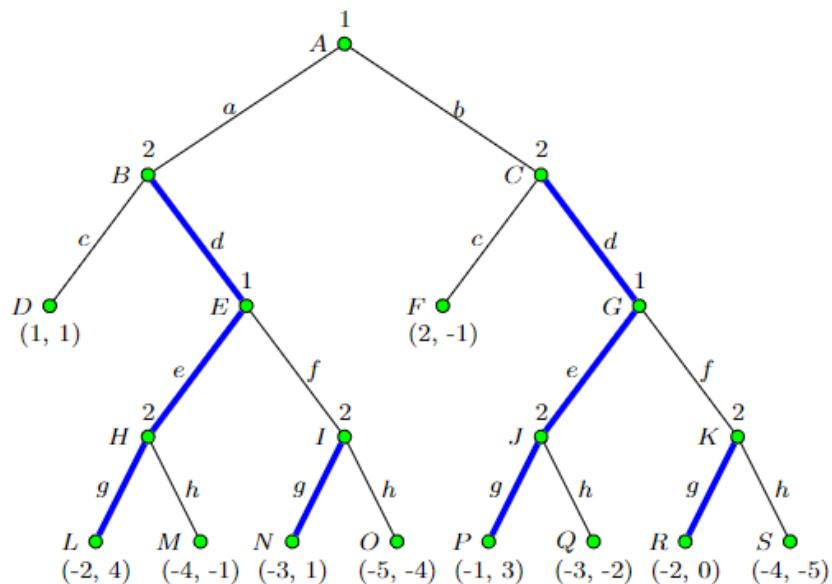


Figura 11 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 3

E, finalmente, o último passo do método é selecionar o primeiro nó, A, o jogador 1 deve escolher o caminho *b*. Dessa forma, conclui-se o método da indução reversa na greve dos caminhoneiros encontrando o equilíbrio de Nash correspondente ao perfil de estratégias ((B, H, J), (E, G, L, N, P, R)) deste jogo, com payoff de (-1, 3), como visto a seguir:

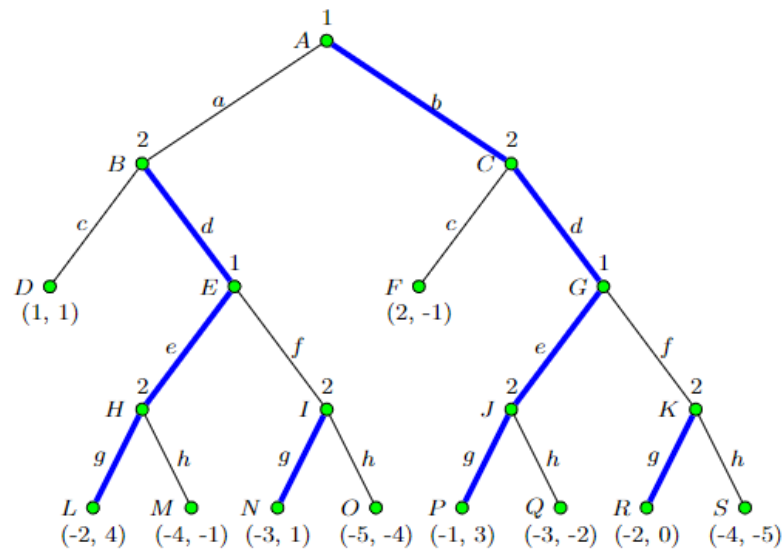


Figura 12 - Greve dos caminhoneiros: Indução Reversa 4

Com base na contextualização histórica da greve dos caminhoneiros, desenvolvida anteriormente (PORTINARI), pode-se definir uma cronologia simplificada dos acontecimentos, estes que foram representados, passo a passo:

- Caminhoneiros anunciam a greve;
- Governo lança liminares que impediam a greve;
- Caminhoneiros dão continuidade a greve;
- Governo oferece um pacote com várias reivindicações dos grevistas;
- Caminhoneiros aceitam os termos e encerram a greve.

Dessarte, é válido ilustrar a situação concreta da greve dos caminhoneiros de 2018 seguindo a seguinte sequência de acontecimentos:

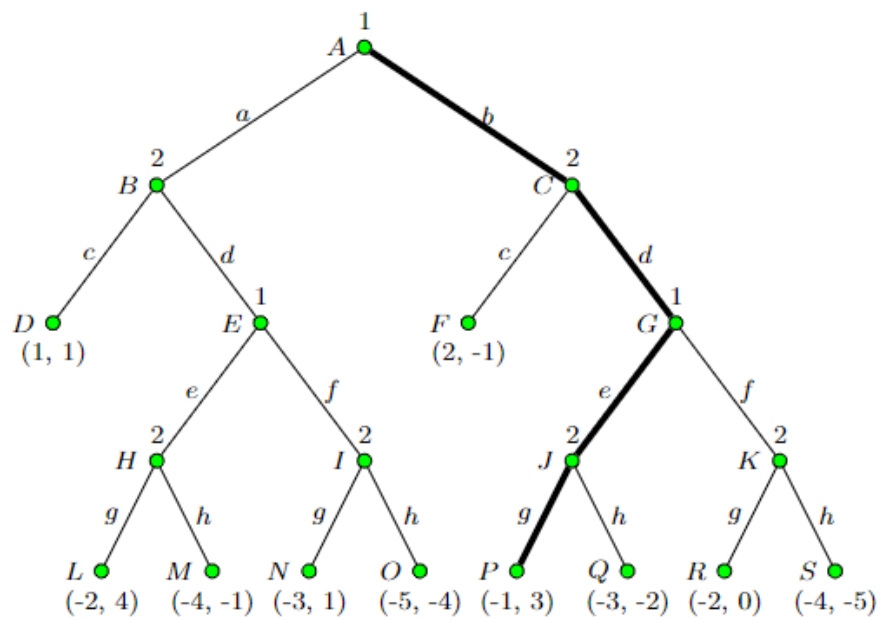


Figura 13 - Greve dos caminhoneiros: Situação Concreta

Nota-se que o payoff da situação concreta da greve, de $(-1, 3)$, é exatamente o mesmo encontrado utilizando o método da indução reversa. Ou seja, enquanto neste modelo simplificado, o cenário real condiz com o equilíbrio de Nash definido, claro, levando em consideração um caso de informações perfeitas. Pois, mesmo que o Governo e os Caminhoneiros conhecessem as estratégias adotadas por ambos, não haveria motivos racionais para que nenhum deles mudasse de estratégia, diferente do caso real e do equilíbrio de Nash.

8. INCERTEZA EXÓGENA E ENDÓGENA

Como foi mostrado na explicação histórica, durante os 12 dias de greve, a escala nacional de adesão ao movimento fez com que, a menos em bloqueios perto de grandes cidades e/ou lideranças do movimento, nem sempre os Caminhoneiros tiveram conhecimento das estratégias e ações do Governo. Com isso, visando uma análise mais aprofundada e verossímil, é válido observar a greve como um caso de informação imperfeita, onde um jogador não conhece a escolha do jogador anterior.

Reaproveitando o conceito já explicado sobre subjogo, um dos casos de informação imperfeita, outro termo vale ser mencionado: a incerteza. A adição desta variável no estudo da greve dos caminhoneiros visa demonstrar que, com incerteza, o modelo anterior pode não ser o mais apropriado pois os jogadores se comportaram de formas diferentes em casos de informação imperfeita.

Em se tratando do modelo analisado, essa incerteza, de caráter **exógeno**, será modelada com as jogadas da Natureza⁸ e representa a probabilidade em um nó de seguir por um caminho ou por outro. Para isso, será apresentado uma nova árvore de jogos que ilustra o cenário aproximado de cada dia da greve, onde primeiramente a Natureza determinará, via probabilidade, se o Governo será menos ou mais agressivo em face das paralisações no dia. Em seguida, os Caminhoneiros decidem se vão continuar ou encerrar a greve e, em caso de continuidade, o Governo escolhe se vai negociar com os grevistas ou intervir à força.

Como efeito simplificador, será apenas definido que há um cenário probabilístico nas escolhas da Natureza, mas que os valores exatos são impossíveis de se determinar e irrelevantes para a análise da árvore de jogos em questão. Essas probabilidades serão representadas por p , indicando as chances da Natureza definir a atuação do Governo como

⁸ TADELIS, S. Game Theory: An Introduction, p.304, 2013.

negociadora ou agressiva em relação aos Caminhoneiros. Em relação aos payoffs, o resultado do Governo agir de forma mais agressiva significa que ele tomará decisões mais rígidas visando primeiramente o fim da greve e somente depois, propostas mais confortáveis para os caminhoneiros. Além disso, espera-se que nestas condições, o Governo esteja disposto a arriscar mais a utilização de força policial, mesmo que impacte a credibilidade e percepção pública.

Dessa forma, quando calculado o equilíbrio de Nash pela matriz da forma normal, será necessário considerar as duas possibilidades com que a Natureza pode jogar, e para cada uma delas, os resultados podem ser distintos em relação ao caso com informação perfeita. Colocadas essas novas condições e conceitos, a nova árvore de jogos da greve dos caminhoneiros sob cenário de incertezas pode ser demonstrada a seguir.

Neste modelo, inicialmente o elemento Natureza (N) estipula com probabilidade p o comportamento negociador ou agressivo perante a greve. Em seguida, os Caminhoneiros (C) escolhem entre encerrar o continuar a greve; então o Governo (G), no caso da continuidade da greve, entre negociar (ação pacifista P) ou intervir no movimento (ação agressiva A)

Com relação aos payoffs, eles foram estimados conforme as seguintes convenções para cada etapa do jogo. No caso da Natureza definir que o Governo atuará com agressividade, se os Caminhoneiros decidirem encerrar a greve, ambos chegam em um acordo (payoff de 1 para cada), mesmo que não o esperado pelos grevistas; mas se eles continuarem o movimento, o Governo poderá negociar (payoff de 0 para C e de -2 para G) ou intervir na greve (payoff de -1 para C e de -3 para G), sendo esta opção mais custosa para a percepção pública do Governo e ainda pior para a força da greve.

Já no caso da Natureza definir o perfil do Governo como menos agressivo e mais sensível, se os Caminhoneiros decidiram encerrar a greve, ambos chegam em um acordo (payoff de 2 para cada), com termos mais aceitáveis e justos; mas se eles persistirem nas

paralisações, o Governo poderá negociar (payoff de 0 para C e de 1 para G) ou intervir (payoff de 0 para C e de -1 para G) na greve, sendo estas resultando em condições mais aceitáveis em relação às expectativas dos Caminhoneiros.

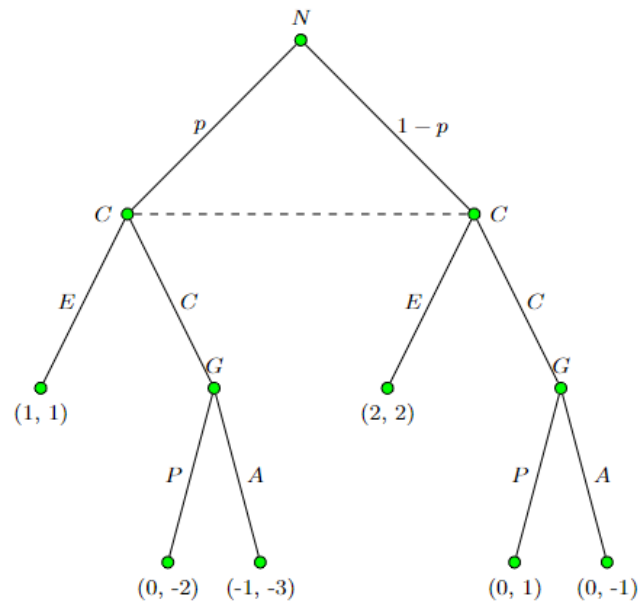


Figura 14 - Árvore da greve dos caminhoneiros sob incerteza

Por convenção, definiremos o perfil de estratégias do Governo como $xy \in \{AA, AP, PA, PP\}$, onde A representa um comportamento agressivo/intervencionista e P representa um comportamento passivo/negociador. Já o perfil de estratégias dos Caminhoneiros é dado por $x \in \{E, C\}$, onde E indica encerrar a greve e C de continuá-la. Observando este jogo na matriz de forma normal por meio de pares de estratégias puras⁹, tem-se:

		<i>Governo</i>			
		PP	PA	AP	AA
<i>Caminhoneiros</i>	E	$(2 - p, 2 - p)$	$(2 - p, 2 - p)$	$(2 - p, 2 - p)$	$(2 - p, 2 - p)$
	C	$(0, 1 - 3p)$	$(0, -1 - p)$	$(-p, 1 - 4p)$	$(-p, -1 - 2p)$

Tabela 3: Matriz payoff do Modelo

⁹ TADELIS, S. Game Theory: An Introduction, p.244, 2013.

Os valores de pares de payoffs dos pares de estratégias são calculados conforme as expectativas dos retornos ponderados pelas probabilidades deles ocorrerem. Por exemplo, na estratégia (C, PP), os Caminhoneiros escolhem continuar a greve e o Governo escolhe negociar quando em um estado agressivo ((0, -2) com probabilidade p) e negociar quando em um estado não agressivo ((0, 1) com probabilidade $1-p$). Calculando essas expectativas, temos:

- $v1 = p \times 0 + (1-p) \times 0 = 0$
- $v2 = p \times (-2) + (1-p) \times 1 = 1 - 3p$

As probabilidades p da Natureza poderiam variar conforme os dias passassem e a greve continuasse, e isso consideraria fatores internos e externos ao cenário, sendo assim praticamente impossível definir para cada dia este valor. Todavia, para efeito de demonstração do exercício, faz-se um exemplo com $p=1/4$:

		<i>Governo</i>			
		PP	PA	AP	AA
<i>Caminhoneiros</i>	E	*(7/4, 7/4)*	*(7/4, 7/4)*	*(7/4, 7/4)*	*(7/4, 7/4)*
	C	(0, 1/4)	(0, -5/4)	(-1/4, 0)	(-1/4, -3/2)

Tabela 4: Matriz payoff do Modelo - Exemplo

Para encontrar o equilíbrio de Nash nesse caso, de estratégias puras, a metodologia é a mesma que quando analisamos jogos sem a Natureza e onde o jogador 1 tem 2 estratégias puras e o jogador 2 tem 4 delas. Destacando as melhores escolhas para cada jogador com o símbolo *, sendo à esquerda indicando o jogador 1 e à direita o jogador 2, encontram-se 4 equilíbrios de Nash em estratégias puras: (E, PP), (E, PA), (E, AP) e (E, AA). Vale ressaltar também que, neste modelo, não há equilíbrio perfeito do subjogo.

Em outra instância, é válido também analisar um cenário ainda mais microcomparado da greve onde os Caminhoneiros de fato não sabem as escolhas tomadas pelo Governo, antes mesmo de decidirem entre encerrar ou prosseguir com o movimento. Neste caso, por isso, compreendendo aqueles grevistas que estavam atuando em estradas e rodovias longe de cidades e das atualizações em tempo real da paralisação. Essa é chamada de incerteza **endógena**¹⁰.

Com vistas a comparar o modelo original da greve apresentado anteriormente, este modelo alternativo mais simplificado se diferencia ao conter imperfeições nas informações dos Caminhoneiros (C) com relação à estratégia do Governo (G) sobre a greve. A representação desse jogo pode ser observada com a seguinte árvore:

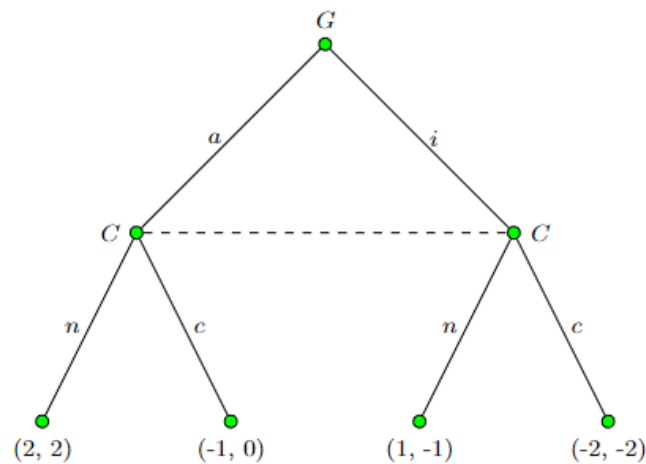


Figura 15 - Árvore da greve dos caminhoneiros sob informação imperfeita

Neste modelo, o Governo (G) começa optando por oferecer um acordo (*a*) aos grevistas ou intervir (*i*) nas paralisações. Em seguida, os Caminhoneiros (C) decidem se vão aceitar negociar (*n*) com as autoridades ou continuar (*c*) com a greve. Os pares de payoff são determinados conforme os seguintes raciocínios: se G oferece um acordo e C aceita negociar, computa-se o saldo (2, 2); se G oferece um acordo mas C nega, computa-se (-1, 0); se G

¹⁰ TADELIS, S. Game Theory: An Introduction, p.137, 2013.

decide pela intervenção e C quer negociar, tem-se (1, -1); e se G decide pela intervenção e C continuam a greve, resulta-se (-2, -2).

Utilizando como base a análise do caso anterior sob incerteza, este modelo com informação imperfeita pode ser estudado como um jogo em matriz de forma normal, visto a seguir:

		<i>Caminhoneiros</i>	
		<i>Negociar</i>	<i>Continuar</i>
<i>Governo</i>	<i>Acordo</i>	<i>*(2, 2)*</i>	<i>*(-1, 0)*</i>
	<i>Intervenção</i>	<i>(1, -1)</i>	<i>(-2, -2)</i>

Tabela 5: Matriz payoff do modelo com informação imperfeita

Conforme as simbologias “*” indicando as estratégias com maior payoff de cada caso, os equilíbrios de Nash desse jogo sob informação imperfeita são (2, 2) e (-1, 0). Em especial quando o Governo e os Caminhoneiros estão dispostos a negociar o fim da greve, a recompensa pelo diálogo é a maior possível para ambos os jogadores. Observando a situação dos Caminhoneiros, que nesse caso não conhecem a escolha do Governo, a análise por matriz na forma normal aponta que a estratégia mais racional deles seria buscar negociar com as autoridades o fim da greve.

E, com isso, alcançariam melhores termos quanto às reivindicações e o Governo teria menores gastos à imagem e ao aparato público no combate aos efeitos da greve. Adicionalmente, pode-se ainda comentar sobre os impactos dessas decisões na população geral, que como foi colocado na contextualização da greve, sofreu uma revolução no seu cotidiano ao longo dos 12 dias de caos. Mesmo que a maior parte do povo apoiasse a ação dos Caminhoneiros, a cada dia que a greve se estendia, afetava ainda mais a vida do cidadão e a economia nacional.

Quando se analisa estes exemplos de incerteza endógena e exógena, percebe-se que o comportamento dos caminhoneiros, principalmente, é bem distinto dos casos iniciais com informações perfeitas. Nestes, era racional estender a greve para maximizar o poder de barganha com o Governo. Porém, incluindo a incerteza no modelo, é nítido que um dia a mais de paralisação, os riscos de uma intervenção violenta das forças policiais aumentava.

Mas, ainda que os modelos e os cálculos busquem se aproximar da racionalidade, os exemplos demonstrados indicam que os caminhoneiros tinham tudo a perder, ainda assim o risco valia em prol da luta por valores individuais e direitos coletivos.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo ilustrar e analisar a Greve dos Caminhoneiros de 2018 sob a ótica da Teoria dos Jogos, e, por meio da modelagem em um jogo na forma extensiva, utilizar do método da indução reversa para comparar os resultados encontrados com o cenário real que ocorreu.

Também pôde ser observado e constatado mais uma aplicação da Teoria dos Jogos no estudo de casos reais e desafios cotidianos da sociedade, mostrando como a evolução histórica em décadas de aplicação e o arcabouço teórico da matemática por trás do tema auxiliam a pesquisa e análise em escolhas e estratégias.

Com relação aos resultados, enquanto um jogo com informação perfeita, constata-se que o equilíbrio de Nash encontrado condiz com o cenário que realmente se concretizou na época. Isto mostra que, em um caso simplificado e fictício onde o Governo e os Caminhoneiros conheciam as estratégias possíveis, eles agem com objetivos maximizadores de payoff e com estratégias puras, tal como na realidade.

Finalmente, quando analisado o modelo da greve incluindo incertezas exógenas e endógenas, constata-se que os equilíbrios de Nash e os resultados são distintos que quando comparados ao modelo inicial, em informação perfeita. Enquanto com a presença da Natureza probabilística ou a incerteza das ações do Governo, os Caminhoneiros tendem a agir com mais cautela e procuram não estender a greve em prol de um acordo bilateral entre os jogadores.

Destarte, a Teoria dos Jogos, atualmente, permite estudar histórias como esta greve e, por meio de suas ferramentas matemáticas, comparar cenários dos mais simples aos mais realistas. E, assim, compreender melhor como agentes leem e tomam decisões estratégicas visando o melhor caminho que maximize as recompensas e minimize riscos e perdas.

Algumas limitações podem ser observadas, porém, neste trabalho e que, no futuro, abrem oportunidades para uma análise mais complexa e elaborada. Principalmente, pode-se citar a linha cronológica da greve, que por fatores de simplificação, foi necessária adaptações da realidade para que o modelo e sua análise fosse mais objetiva.

Os modelos propostos também ficaram apenas centrados na visão dos caminhoneiros e do governo, enquanto a população e empresas, além de impactadas, foram relevantes na credibilidade da greve ao longo dos dias. Sobre os payoffs, neste trabalho eles foram arbitrariamente mensurados, um trade off em prol da compreensão do tema, frente à diversos fatores que poderiam influenciar os números.

REFERÊNCIAS

CANDIDO, R. L.; SANTOS, V. Érica da S.; ROLIM TAVARES, F. B. **The economic impact of truckers' strike: a legal, fatamatic and economic analysis of the events.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 8, n. 1, p. e4681638, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i1.638.

CASTANHO Fábio Brinkmann. **Teoria dos Jogos e a Greve dos Caminhoneiros no Brasil.** Dissertação, UFSC. PROFMAT, 2019.

G1. **Cronologia da greve dos caminhoneiros.** G1 Globo, 2018 Disponível em <https://g1.globo.com/economia/noticia/cronologia-greve-doscaminhoneiros.ghtml>. Acesso em 30/01/2023.

GIBBONS, G. **Game Theory for Applied Economists**, 1992.

GINTIS, Herbert. **Game Theory Evolving**, Princeton University Press, 2000

MORGADO, Leandro Batista, and CASTANHO, Fabio Brinkmann. **Greve Dos Caminhoneiros No Brasil: Uma Abordagem via Teoria Dos Jogos.** C.Q.D. 16 (2019): 71-87. Web.

MYERSON, Roger B. **Nash Equilibrium and the History of Economic Theory.** *Journal of Economic Literature*, vol. 37, no. 3, 1999, pp. 1067–82. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/2564872>. Accessed 30 Jan. 2023.

OTTO, T. **Informação Assimétrica na Negociação Coletiva: Uma Análise da Greve como Estratégia pela Teoria dos Jogos.** Revista eletrônica do Tribunal Regional do Trabalho da 9a Região, Curitiba, PR, v. 1, n. 6, p. 50-72, abr. 2012.

PORTINARI, N. **Entenda a cronologia da paralisação dos caminhoneiros no Brasil.** Folha de São Paulo, atualizado em 30.de maio de 2018. Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/05/entenda-acronologia-da-paralisacao-dos-caminhoneiros-no-brasil.shtml>

TADELIS, S. **Game Theory: An Introduction**, 2013.