

**Revista Eletrônica
Paulista de Matemática**

ISSN 2316-9664
Volume 16, dez. 2019

Leandro Batista Morgado
Departamento de Matemática
Universidade Federal de Santa
Catarina
leandro.morgado@ufsc.br

Fabio Brinkmann Castanho
Universidade Federal de Santa
Catarina
fabiobrink.mtm@gmail.com

Greve dos caminhoneiros no Brasil: uma abordagem via teoria dos jogos

Brazil truck drivers' strike: an approach via game theory

Resumo

Este artigo tem como objeto a greve dos caminhoneiros ocorrida no Brasil em maio de 2018, e como referencial teórico a Teoria dos Jogos. Inicialmente, apresentamos uma introdução a alguns aspectos desta teoria, e tratamos especificamente dos jogos na forma extensiva, em que os jogadores escolhem as suas ações sequencialmente. Em seguida, após discutir alguns aspectos jurídicos, políticos e econômicos relacionados, propomos um modelo de jogo na forma extensiva para o conflito. Analisando o modelo, identificamos soluções teóricas com as melhores estratégias para governo e caminhoneiros via método da indução reversa, bem como verificamos que uma dessas soluções corresponde aos fatos ocorridos no caso concreto.

Palavras-chave: Teoria dos Jogos. Forma extensiva. Indução reversa. Equilíbrio de Nash. Greve. Caminhoneiros.

Abstract

The main object of this paper is the truck drivers' strike that took place in Brazil in May 2018, and Game Theory is the theoretical reference. Initially, we present an introduction to some aspects of Game Theory, and deal specifically with games in extensive form, in which players choose their actions sequentially. Then, after discussing some legal, political, and economic aspects, we propose a game model for this conflict. Analyzing the model, we identify theoretical solutions containing best strategies for government and truck drivers via reverse induction method. Finally, we verify that one of these solutions corresponds to the facts that occurred in the specific case.

Keywords: Game Theory. Extensive form. Backward induction. Nash equilibrium. Truck drivers. Strike.



1 Introdução

Quando usamos o termo jogo, é muito comum pensarmos em uma brincadeira ou diversão, com algumas regras estipuladas entre um ou mais jogadores. É o caso dos jogos de baralho, xadrez, par ou ímpar, pedra-papel-tesoura, dominó, jogos eletrônicos, entre outros. No entanto, para a Teoria dos Jogos, esse termo possui uma abrangência muito maior, envolvendo, além dos jogos no senso comum, situações estratégicas em que os jogadores escolhem suas ações visando certos resultados, que podem ser vistos como recompensas ou punições.

Nesse sentido, são situações de interesse da Teoria dos Jogos, entre outras: acusados de um crime decidem entre confessar ou não confessar o delito, pensando em uma possível redução de pena; empresas concorrentes decidem aumentar ou diminuir o preço do seu produto, visando lucro; em um conflito, um país decide invadir ou não o outro, e em caso afirmativo, como ocorrerá essa invasão, e em seguida o outro país decide de que forma organizará sua defesa.

Na literatura, encontramos diversos trabalhos em que o foco principal é o uso da Teoria dos Jogos para modelar diferentes situações de conflito, no Direito, Economia, Biologia, esportes, entre outras áreas. Entre esses trabalhos, destacamos Rosa (2015), em que são discutidas diversas aplicações da teoria dos jogos no Processo Penal, em relação ao conflito de interesses entre acusação e defesa. Uma interessante modelagem no âmbito esportivo pode ser encontrada em Palacios-Huerta (2003), que modela a disputa de pênaltis em jogos profissionais de futebol. Na Biologia, o clássico artigo de Smith e Price (1973) discute modelos em conflitos de animais da mesma espécie, seja em busca de alimento, território ou reprodução.

Ainda nessa linha, destacamos a greve geral dos caminhoneiros de 2018 que ocorreu no Brasil como o objeto principal deste artigo. Este conflito amolda-se a esta noção mais ampla de jogo, como disputa estratégica entre o governo e os próprios caminhoneiros, na busca destes por melhores condições de trabalho, redução no preço do diesel, entre outras reivindicações.

Apresentaremos posteriormente uma discussão sobre aspectos interdisciplinares deste conflito. No entanto, destacamos desde já que as estratégias utilizadas pelos caminhoneiros foram diferentes em relação a outros movimentos grevistas, mais concentrados nas rodovias. Nesta greve, os caminhoneiros procuraram impedir a saída de combustível das refinarias, o que economicamente trouxe graves prejuízos à indústria e escassez de produtos nos mercados. No entanto, apesar do transtorno, a população mostrou-se solidária ao movimento, principalmente em função da insatisfação com os aumentos excessivos no preço do combustível. Esse apoio popular foi um fator importante na evolução do conflito, pois contribuiu para aumentar a tensão e a pressão sobre os governantes.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar um modelo matemático para esta greve, por meio da Teoria dos Jogos. Nessa modelagem, vamos adotar a forma extensiva de um jogo, na qual os jogadores escolhem suas ações sequencialmente, estimando ao final os *payoffs* respectivos, ou seja, recompensas ou punições para os jogadores referentes às estratégias adotadas. Em seguida, vamos usar o método da indução reversa para calcular a melhor solução para caminhoneiros e governo neste modelo, e verificar se essa solução corresponde às ações que de fato ocorreram na prática. Em nosso modelo, vamos acrescentar o povo como um terceiro jogador, pelas razões expostas anteriormente.

Organizamos este artigo da seguinte maneira: na seção 2, apresentamos alguns elementos básicos de Teoria dos Jogos, tais como elementos de um jogo, notação, formas de representação, exemplos clássicos e métodos de solução, para facilitar o entendimento do leitor da análise que faremos posteriormente. Na seção 3, após uma discussão sobre alguns aspectos jurídicos, políticos e econômicos da greve dos caminhoneiros no Brasil, apresentamos nosso modelo para o conflito,

representado por um jogo na forma extensiva, e a seguir, buscamos encontrar as soluções para este jogo pelo método da indução reversa. Finalmente, na seção 4, apresentamos nossas considerações finais sobre o trabalho.

2 Aspectos básicos de teoria dos jogos

Nesta seção, vamos discutir alguns aspectos básicos de Teoria dos Jogos, tais como definições iniciais, elementos de um jogo, formas de representar um jogo, bem como alguns exemplos. Para uma análise mais detalhada do tema, recomendamos Dutta (1999), Fiani (2009), Sartini, Garbugio, Bortolossi, Santos e Barreto (2004), Karlin e Peres (2016), Prisner (2014), entre outros.

Como mencionamos na seção anterior, um jogo é uma situação de interação estratégica entre dois ou mais agentes de decisão, denominados jogadores, onde estes escolhem suas ações e dessas escolhas decorre uma recompensa. Nesse contexto, para uma perfeita compreensão e modelagem de um jogo específico, é importante identificar os seguintes elementos:

- O conjunto de n jogadores que interage estrategicamente, denotado por $J = \{1, 2, \dots, n\}$;
- Dado $j \in J$, o conjunto de m_j ações ou estratégias disponíveis para o jogador j , que denotaremos por $A_j = \{a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jm_j}\}$;
- A ordem das ações escolhidas pelos jogadores, podendo ser simultâneas ou sequenciais;
- A recompensa, também denominada utilidade ou *payoff*, que consiste em uma representação numérica do que o jogador pode ganhar (ou perder), considerando as estratégias adotadas pelos jogadores. Normalmente, a recompensa de um jogador $j \in J$ é dada por uma função $U_j : A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \rightarrow \mathbb{R}$ que a cada perfil de estratégias associa um número real.

No âmbito da Teoria dos Jogos, a noção de jogador não se restringe a pessoas físicas, mas abrange qualquer indivíduo ou organização que participa do evento, capaz de tomar decisões em um determinado momento. Em aplicações na Biologia, por exemplo, os animais envolvidos em uma disputa por território ou alimento são jogadores. Em Ciência Política, os países que decidem entrar ou não em um conflito bélico são os jogadores, e assim sucessivamente.

Normalmente, assumimos que as ações disponíveis aos jogadores, bem como as recompensas associadas a cada escolha de ações é de conhecimento de todos. Para encontrar as soluções de um jogo, assumimos também que os jogadores são racionais, no sentido de escolherem suas ações visando maximizar suas recompensas. Finalmente, em relação à ordem em que são feitas as escolhas, temos uma distinção importante para a Teoria dos Jogos.

Inicialmente, existem os jogos de ações simultâneas, em que cada jogador ignora as decisões dos demais no momento em que toma sua própria decisão, como no jogo do par ou ímpar, por exemplo. Por outro lado, temos os jogos de ações sequenciais, no qual os jogadores fazem suas escolhas em uma ordem previamente estabelecida, conhecendo as escolhas dos jogadores que o antecederam. A forma de representar esse tipo de jogo é denominada forma extensiva, que consiste em uma árvore, no sentido de Teoria dos Grafos, na qual a evolução no tempo das ações adotadas pelos jogadores é descrita.

Apresentamos um exemplo clássico de jogo, conhecido na literatura como *Chicken Game* - veja por exemplo Karlin e Peres (2016). Suponha que foi feita uma aposta entre dois motoristas 1 e 2, MORGADO, L. B.; CASTANHO, F. B. Greve dos caminhoneiros no Brasil: uma abordagem via teoria dos jogos. *C.Q.D. - Revista Eletrônica Paulista de Matemática*, Bauru, v. 16, p. 71-87, dez. 2019.

Tabela 1 - Matriz de recompensas associada ao *Chicken Game*.

1 \ 2	Desviar	Não desviar
Desviar	(0,0)	(-1,1)
Não desviar	(1,-1)	(-10,-10)

acelerando seus carros em linha reta e em sentidos opostos. O motorista que desviar perde a aposta. Analisando a situação, os jogadores tem duas estratégias disponíveis: desviar ou não desviar. Se os dois optarem por não desviar, perderão seus carros e talvez suas vidas, pois ocorrerá uma colisão frontal. Se ambos desviarem, ninguém ganha a aposta.

Podemos modelar essa situação como um jogo de ações simultâneas, em que $J = \{1, 2\}$, $A_1 = A_2 = \{\text{desviar}, \text{não desviar}\}$. Podemos também representá-lo em sua forma normal, através de uma matriz contendo as recompensas associadas às ações de cada jogador, conforme Tabela 1.

Em cada um dos pares ordenados da matriz de recompensas, a primeira coordenada corresponde à recompensa do jogador 1, e a segunda coordenada corresponde à recompensa do jogador 2. Nesse contexto, temos por exemplo $U_1(\text{desviar}, \text{desviar}) = 0$, e $U_2(\text{desviar}, \text{não desviar}) = 1$, e assim sucessivamente. Veja ainda que o pior cenário possível ocorre quando ambos não desviam, com *payoff* -10 para ambos os jogadores.

Por outro lado, vamos analisar o perfil de estratégias (*Desviar*, *Não desviar*). Nesse caso, verificamos que assumindo a escolha do outro jogador, nenhum deles terá benefício se modificar sua decisão. Em outras palavras, assumindo que o motorista 1 vai desviar, a melhor alternativa para o motorista 2 é não desviar; da mesma forma, sabendo que motorista 2 não desviará, a melhor alternativa para o motorista 1 é desviar. Quando essa situação ocorre, dizemos que o perfil de estratégias correspondente é um Equilíbrio de Nash, que pode ser interpretado como uma solução para o jogo em questão. Formalmente, definimos:

Definição 1 Considere um jogo com n jogadores. Seja $e^* = (e_1^*, e_2^*, \dots, e_n^*) \in A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ um perfil de estratégias. Dizemos que e^* é um equilíbrio de Nash se para todo $i \in J$, vale que $U_i(e_1^*, e_2^*, \dots, e_i^*, \dots, e_n^*) \geq U_i(e_1^*, e_2^*, \dots, e_i, \dots, e_n^*)$ para todo $e_i \in A_i$.

Em outras palavras, em um Equilíbrio de Nash, um jogador em particular não possui incentivo para mudar sua estratégia, pois adotou a melhor resposta às estratégias escolhidas pelos demais jogadores. No exemplo do *Chicken Game*, temos dois Equilíbrios de Nash, representados pelos perfis de estratégias (*Desviar*, *Não desviar*) e (*Não desviar*, *Desviar*).

Um aspecto interessante é que nem sempre o Equilíbrio de Nash é a melhor alternativa se pensarmos nas recompensas de forma coletiva. A esse respeito, recomendamos uma leitura sobre o *Dilema do Prisioneiro*, mais um dos exemplos clássicos de Teoria dos Jogos, por exemplo em Dutta (1999) e Fiani (2009).

2.1 Jogos na forma extensiva e método da indução reversa

Nesta seção, vamos concentrar nossa atenção nos jogos em que as ações ocorrem sequencialmente. Nesse contexto, assumimos que o jogador, no momento em que escolhe sua ação, conhece as

ações das jogadas anteriores. É o que acontece em vários jogos clássicos, como xadrez, dominó, jogos de tabuleiro, entre outros. Tratam-se dos jogos na forma extensiva, que podem ser representados graficamente por meio de uma *árvore de jogo*.

Para nosso artigo, esta modalidade de jogo tem especial importância. De fato, vamos usar a forma extensiva para modelar a greve dos caminhoneiros no Brasil, pois durante todo o período em que ocorreu o conflito, várias ações sucessivas foram tomadas por governo, caminhoneiros e até mesmo pela população.

Iniciamos com um exemplo simples de jogo na forma extensiva, e em seguida discutiremos um método para encontrar a melhor solução. Vamos considerar o *Jogo da Entrada*, que tem como jogadores a empresa *I* e a empresa *II*. A empresa *I* está considerando a possibilidade de entrar em um mercado específico, que é dominado atualmente pela empresa *II*. Se a empresa *I* entrar no mercado, a empresa *II* pode entrar em uma disputa, reduzindo drasticamente os seus preços, ou se acomodar. Caso a empresa *I* decida não entrar no mercado, nada muda e a empresa *II* continua com os seus lucros anteriores.

Essa situação pode ser representada por uma árvore, no sentido de Teoria dos Grafos, onde os nós não terminais indicam os momentos em que um dos jogadores que deve tomar uma decisão, e as arestas indicam as possíveis ações de cada jogador. Para indicar o fim do jogo, incluímos na árvore nós terminais, e associamos a cada um deles um par ordenado que indica a recompensa dos jogadores para cada conjunto de ações específicas.

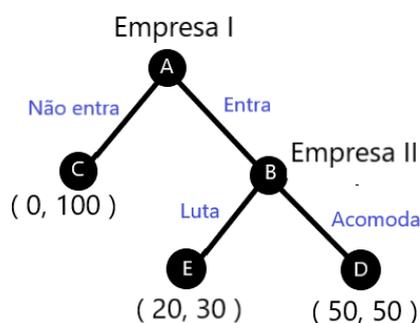


Figura 1: Árvore que modela o Jogo da Entrada.

Descrevendo matematicamente todos os elementos da árvore indicada na figura 1, destacamos:

- Conjunto dos jogadores: $J = \{\text{Empresa I, Empresa II}\}$.
- Conjunto das ações disponíveis para os jogadores respectivos: $A_I = \{\text{entrar, não entrar}\}$, $A_{II} = \{\text{lutar, acomodar}\}$.
- Conjunto dos nós não terminais: $N = \{A, B\}$.
- Conjunto dos nós terminais: $T = \{C, D, E\}$.
- Função que associa a cada nó não terminal o jogador que deve tomar a decisão: $f : N \rightarrow J$, dada por $f(A) = \text{Empresa I}$, $f(B) = \text{Empresa II}$.

- Função que indica a evolução na árvore, associando a cada nó não terminal e possível ação um outro nó: $g : N \times (A_I \cup A_{II}) \rightarrow N \cup T$, com $g(A, \text{não entrar}) = C$, $g(A, \text{entrar}) = B$, $g(B, \text{lutar}) = E$, $g(B, \text{acomodar}) = D$.
- Função que associa a cada nó terminal um par ordenado, que indica a recompensa dos jogadores: $f : T \rightarrow \mathbb{R}^2$, dada por $f(C) = (0, 100)$, $f(D) = (50, 50)$, $f(E) = (20, 30)$.

Outros exemplos, bem como uma descrição matemática mais detalhada de cada um dos elementos de um jogo na forma extensiva pode ser encontrada em Shoham e Leyton-Brown (2008). De qualquer forma, após explicitar os elementos do *Jogo da Entrada*, uma pergunta natural é: quais as melhores ações das empresas *I* e *II*, assumindo que seus dirigentes atuam de forma racional, isto é, visando maximizar seus lucros? Em geral, para jogos na forma extensiva, essa pergunta pode ser respondida via **método da indução reversa**.

Em suma, o método da indução reversa é um algoritmo usado para encontrar o Equilíbrio de Nash e, portanto, a solução para o jogo em questão. O algoritmo funciona da seguinte maneira: começamos a análise pelos últimos nós não terminais, identificando a ação que proporciona a maior recompensa ao jogador correspondente. Depois, assumindo que essa ação foi escolhida, passamos à análise dos nós antecedentes, repetindo o procedimento. Ao chegar ao primeiro nó de decisão, encontramos a solução para o jogo na forma extensiva.

Por exemplo, no *Jogo da Entrada*, vamos aplicar o método da indução reversa. Começamos analisando o nó *B*, onde a empresa *II* possui duas alternativas: lutar, que proporciona uma recompensa de 30, ou acomodar, que lhe proporciona uma recompensa de 50. Agindo de forma racional, a melhor decisão é acomodar, e assim assumimos que esta será a decisão escolhida pela empresa *B*, representada na figura 2.

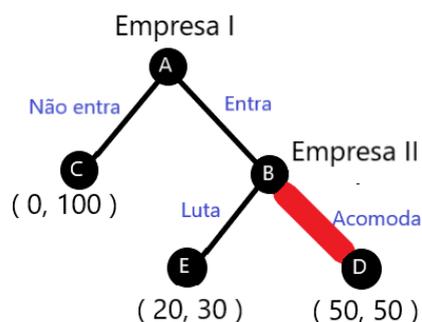


Figura 2: Primeiro passo da indução reversa no Jogo da Entrada.

Em seguida, passamos ao nó de decisão antecedente, ou seja, vamos analisar o nó *A*. Aqui, a empresa *I* possui duas ações possíveis: não entrar no mercado, que lhe proporciona uma recompensa de 0, ou entrar no mercado, que lhe proporciona uma recompensa de 50, assumindo a escolha do passo anterior.

Nesse sentido, obtemos a solução para o jogo em questão, que será dada pelo perfil de estratégias (*Entra, Acomoda*), destacado na figura 3. De fato, sabendo que a empresa *I* vai entrar no mercado, a melhor solução para a empresa *II* é acomodar-se, e sabendo que a empresa *II* vai acomodar-se, a melhor solução para a empresa *I* é entrar no mercado. Encontramos, portanto, o Equilíbrio de Nash do *Jogo da Entrada*.

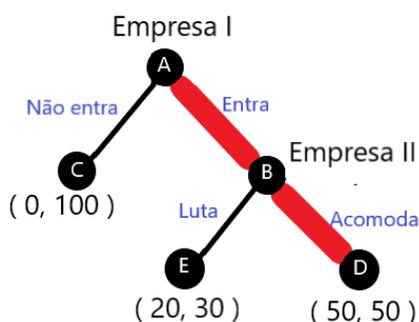


Figura 3: Solução final do Jogo da Entrada pelo método da indução reversa.

Para discussão de outros exemplos de jogos na forma extensiva e suas soluções via método da indução reversa, veja Scheidt (2019), Prisner (2014), entre outros. A partir da próxima seção, vamos tratar do tema principal deste artigo, ou seja, a greve dos caminhoneiros no Brasil ocorrida em 2018. Após uma breve discussão dos fatos, vamos modelar esse conflito usando a Teoria dos Jogos, em especial os jogos na forma extensiva, com a posterior aplicação do método da indução reversa.

3 Modelagem da greve dos caminhoneiros no Brasil

3.1 Aspectos jurídicos, políticos e econômicos

O termo “greve” designa uma cessação coletiva e voluntária do trabalho, realizada por trabalhadores com o fim de obter melhoria de condições em geral, melhores salários ou até mesmo evitar a perda de benefícios. O direito de greve encontra-se expresso no artigo 9º da Constituição Federal, bem como no artigo 1º da Lei 7.783/89, competindo aos trabalhadores decidirem sobre a oportunidade de exercê-lo e sobre os interesses que devam ser defendidos por meio deste direito.

Em razão da insatisfação dos caminhoneiros com a nova política da Petrobrás em relação aos preços de combustíveis, em maio de 2018 uma nova greve dos caminhoneiros no Brasil teve início, com protestos e paralisações. Enquanto o aumento de valores do óleo diesel acompanhava a cotação do petróleo no mercado internacional, para os caminhoneiros a quantia era inadmissível.

Nesse contexto, a principal exigência dos caminhoneiros era a redução do preço do óleo diesel, por meio da redução da carga tributária agregada sobre o mesmo. Os caminhoneiros argumentavam que, nas condições da época, o preço do combustível representava mais da metade do custo do frete.

Vale destacar também que, do ponto de vista da Teoria dos Jogos, houve uma mudança de estratégia dos caminhoneiros em relação às greves anteriores. Isto porque, enquanto os movimentos anteriores foram concentrados principalmente nas rodovias, na greve dos caminhoneiros de 2018 os grevistas impediram a saída de combustível das refinarias.

Assim, além de prejuízos graves a setores da indústria, desperdício de alimentos perecíveis como leite e falta de produtos como hortifrutigranjeiros, comuns nos movimentos anteriores, um ponto marcante desta greve foi a escassez de combustíveis em todo o país. Essa nova estratégia acarretou um acréscimo da pressão popular sobre o governo para resolver a situação, aumentando de forma significativa o poder de negociação dos caminhoneiros como jogadores.

Tabela 2 - Cronograma da greve dos caminhoneiros de 2018 no Brasil.

Dia	Governo	Caminhoneiros	População
18/05	Aumento do preço do diesel	Anunciam a greve	
20/05	Liminares que impedem manifestações	Mantém a greve	
21/05	Não negocia	Bloqueiam estradas em 17 estados	
22/05	Mantém as mesmas condições	Bloqueiam 188 pontos em 19 estados	
23/05	Pede trégua de 3 dias	Não aceitam a trégua	
24/05			Iniciam manifestações nas ruas em apoio aos caminhoneiros
25/05	Baixa decreto permitindo intervenção militar	Mantém a greve	Aumentam o apoio aos caminhoneiros
26/05	Intervenção militar realiza 6 operações de entrega de combustível	Bloqueiam 596 pontos	87% da população é favorável à greve (Datafolha)
27/05	Anuncia medidas para compensar a redução do preço do diesel	Mantém a greve, porém assinam um acordo	Manifestações de apoio à greve continuam
28/05	Executa as medidas do acordo	Aguardam as medidas ainda em greve	
29/05	Aguarda o fim da greve	Poucos caminhoneiros continuam em greve	
30/05	Operações do Exército e PRF retiram últimos manifestantes	Terminam a greve	

Fonte: Portinari (2018), GREVE... (2018) e CRONOLOGIA... (2018).

Nesse sentido, em nosso modelo de Teoria dos Jogos para a situação, incluiremos a população como um jogador, além de governo e caminhoneiros. Isso porque, a nosso ver, o apoio popular aos caminhoneiros, mesmo com as consequências negativas citadas, influenciou a tomada de decisões do governo, que passou de uma postura de conflito, por meio de liminares, poder de polícia, etc., para uma postura aberta à negociação.

Na Tabela 2, elaborada com base em Portinari (2018), GREVE... (2018) e CRONOLOGIA... (2018), estão agrupadas as ações referentes a cada um dos jogadores do nosso modelo, durante o mês de maio de 2018. Estas ações encontram-se alinhadas cronologicamente para facilitar o entendimento do ocorrido e identificar as tomadas de decisão por cada grupo de jogadores.

Na próxima seção, vamos apresentar nosso modelo de jogo na forma extensiva para a situação, descrevendo as possíveis ações de cada um dos jogadores, bem como os *payoffs*, ou seja, recompensas ou punições resultantes das estratégias adotadas.

3.2 Modelagem do conflito

Verificamos, pelo cronograma da Tabela 2, que houve vários momentos de tomada de decisão dos envolvidos no conflito: governo, caminhoneiros, e população. Ademais, essas decisões foram

tomadas sequencialmente, muitas delas como uma reação às ações dos demais jogadores. Nesse contexto, optamos por modelar a greve dos caminhoneiros como um jogo na forma extensiva, por meio de uma árvore de jogo.

Nesta seção, vamos apresentar o nosso modelo, descrevendo cada um dos elementos típicos de um jogo: jogadores, estratégias, bem como os *payoffs* resultantes.

Como comentamos anteriormente, um eventual apoio da população pode modificar o próprio poder de negociação dos caminhoneiros, pois atua como instrumento de pressão sobre o governo. Assim, em nossa árvore de jogo, denotamos o governo como jogador 1, caminhoneiros como jogador 2, e a população como jogador 3.

Assumimos, que o governo possui duas linhas principais de ação: não entrar em conflito, que denotamos por ação *a*; entrar em conflito, que denotamos por ação *b*. Consideramos que a expressão ‘não entrar em conflito’ significa tentar resolver a situação de uma forma pacífica, negociando com os caminhoneiros. Por outro lado, ‘entrar em conflito’ compreende todas as ações típicas de força, em que o governo não negocia com os caminhoneiros, como uso da força policial, ações judiciais para obter liminares, entre outras.

Ademais, assumimos que os caminhoneiros, em seus momentos de tomada de decisão, têm a sua disposição duas ações: encerrar a greve, que denotamos por ação *c*, e manter a greve, que denotamos por ação *d*. Vale considerar que o jogo termina se os caminhoneiros, em algum momento, escolherem a ação *c*. Finalmente, em relação à população, assumimos que as ações possíveis são: apoiar a greve e não apoiar a greve, denotadas por *e* e *f*, respectivamente.

Feitas essas considerações, apresentamos a árvore de jogo na figura 4, referente ao nosso modelo para a situação de conflito.

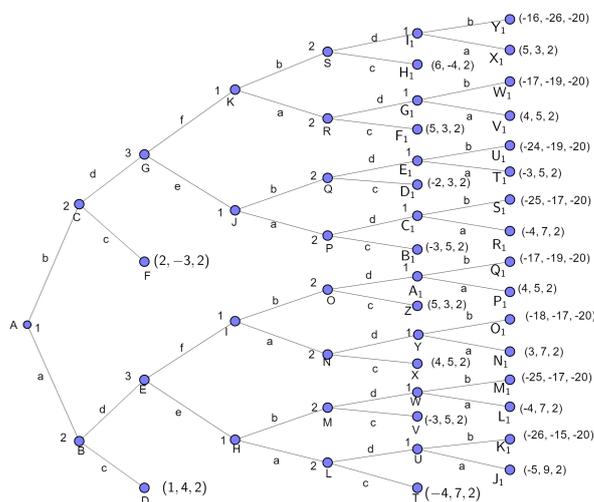


Figura 4: Árvore de jogo que modela o conflito da greve dos caminhoneiros.

Ressaltamos também que, em uma situação real, o conflito poderia alongar-se por muito mais tempo, com mais tentativas de negociação entre governo e caminhoneiros. Por simplicidade, nossa análise abrange três tomadas de decisão do governo. Em particular, na última tomada de decisão, assumimos que se o governo negocia, a greve termina com um acordo - nós terminais J_1 , L_1 , N_1 , P_1 , R_1 , T_1 , V_1 e X_1 . Por outro lado, se na terceira tomada de decisão o governo não negocia, a greve



não termina, acarretando graves prejuízos a todos os envolvidos. É o que ocorre nos nós terminais $K_1, M_1, O_1, Q_1, S_1, U_1, W_1$ e Y_1 .

Estimamos os *payoffs* dos nós terminais desta árvore pensando nos benefícios e malefícios que a sequência de ações poderia acarretar a cada um dos jogadores. Por exemplo, para os caminhoneiros um número maior de negociações é benéfico, pois o avanço das negociações acarreta, em geral, uma quantidade maior de reivindicações atendidas. Por outro lado, para o governo um número maior de negociações não é benéfico, por este teria que fazer mais concessões. Ao final do processo, se as partes não chegarem a um acordo, teremos malefícios para todos, incluindo a população.

Assumindo essas ideias, adotamos alguns critérios objetivos para os *payoffs*, descritos a seguir:

- Se governo e caminhoneiros chegarem a um acordo, finalizando a greve, computamos +2 pontos aos *payoffs* de todos os jogadores. Caso contrário, computamos -20 pontos a todos os *payoffs*, uma vez que a continuidade da greve a longo prazo cria graves problemas, em função da escassez de alimentos, combustível, medicamentos, etc. Trata-se da mesma ideia do *Chicken Game*, exemplo clássico que abordamos na seção inicial, em que o pior cenário possível ocorre quando ambos os jogadores não cedem.
- Se a população apoiar a greve, computamos -4 pontos ao *payoff* do governo, e computamos +1 ponto ao *payoff* dos caminhoneiros. Nesse aspecto, assumimos que o apoio aos caminhoneiros é muito prejudicial ao governo, em função de perda de popularidade, desgaste para futuras eleições, aumento da pressão, entre outros fatores. Por outro lado, o apoio da população traz mais força ao movimento grevista.
- Analogamente, se a população não apoia a greve, computamos +4 pontos ao *payoff* do governo, e computamos -1 ponto ao *payoff* dos caminhoneiros.
- Assumimos também que quanto mais vezes o governo opta por negociar (ação a), pior a situação deste, uma vez que em tese mais concessões serão feitas, atendendo um número maior de exigências dos caminhoneiros. Assim, descontamos o *payoff* do governo em função do número de negociações da seguinte forma: -6 pontos para três ações do tipo a ; -4 pontos para duas ações do tipo a ; -2 ponto para uma ação do tipo a .
- Seguindo na mesma linha de raciocínio, a situação dos caminhoneiros melhora com mais concessões por parte do governo, e assim computamos ao *payoff* dos caminhoneiros: +6 pontos para três ações do tipo a ; +4 pontos para duas ações do tipo a ; +2 ponto para uma ação do tipo a . Ademais, o pior cenário possível aos caminhoneiros é terminar a greve sem negociação por parte do governo, e nesse caso extremo computamos -5 pontos ao *payoff* dos caminhoneiros.

Apenas a título ilustrativo, vamos estimar o *payoff* correspondente ao nó terminal L_1 da árvore apresentada, seguindo as regras descritas. Note que o caminho até este nó compreende duas negociações por parte do governo, apoio da população aos caminhoneiros, bem como acordo ao final do greve. Nesse sentido:

- *Payoff* do governo em L_1 : +2 pontos pelo acordo ao final do processo, -2 pontos pelas duas negociações, -4 pontos pelo apoio popular aos caminhoneiros, totalizando **-4 pontos**.
- *Payoff* dos caminhoneiros em L_1 : +2 pontos pelo acordo ao final do processo, +4 pontos pelas duas negociações, +1 pontos pelo apoio popular aos caminhoneiros, totalizando **7 pontos**.

- *Payoff* da população em L_1 : +2 pontos pelo acordo ao final do processo, totalizando **2 pontos**.

Portanto, associamos ao nó terminal L_1 a tripla $(-4, 7, 2)$, correspondente aos *payoffs* dos jogadores 1, 2 e 3, respectivamente. Para os outros nós terminais, o procedimento é o mesmo, e os resultados podem ser verificados pela análise dos caminhos correspondentes segundo os critérios descritos.

3.3 Método da indução reversa aplicado ao modelo

Já mencionamos que o método da indução reversa é um algoritmo para encontrar soluções em um jogo na forma extensiva. Para tanto, iniciamos a análise da árvore pelos últimos nós não terminais, verificando a melhor decisão para o jogador correspondente. Em seguida, assumindo essa decisão, voltamos ao nós antecessores, verificando a melhor decisão para o outro jogador. Procedendo desta forma até os nós iniciais, obtemos um perfil de estratégias que é um equilíbrio de Nash do jogo respectivo.

Nesta seção, vamos aplicar esse algoritmo para encontrar uma solução do nosso modelo da greve dos caminhoneiros no Brasil. Iniciamos identificando as melhores ações para o governo nos nós não terminais $U, W, Y, A_1, C_1, E_1, G_1$ e I_1 . Como estamos supondo que este jogador deseja maximizar o seu *payoff*, basta identificar a ação que lhe atribui uma maior recompensa. Ora, é imediato verificar que em todos esses nós, a melhor ação para o governo é a ação a , ou seja, negociar. Destacamos essas escolhas na figura 5.

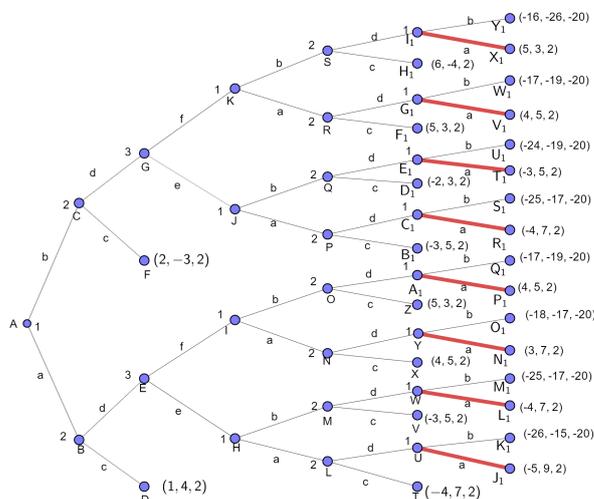


Figura 5: Primeiro passo da aplicação do método da indução reversa.

Em seguida, identificamos as melhores ações para os caminhoneiros nos nós L, M, N, O, P, Q, R e S , assumindo que o jogador 1 escolheria as ações destacadas na figura 5. Por exemplo, no nó L , os caminhoneiros podem optar por encerrar a greve, obtendo 7 como *payoff* associado, ou manter a greve, obtendo 9 como *payoff* associado. Assumindo uma escolha racional, obtemos que a resposta que proporciona o melhor resultado aos caminhoneiros no nó L é manter a greve, conforme destacado na figura 6. Nos outros nós citados nesta etapa manter a greve também é a melhor opção, por um raciocínio análogo.

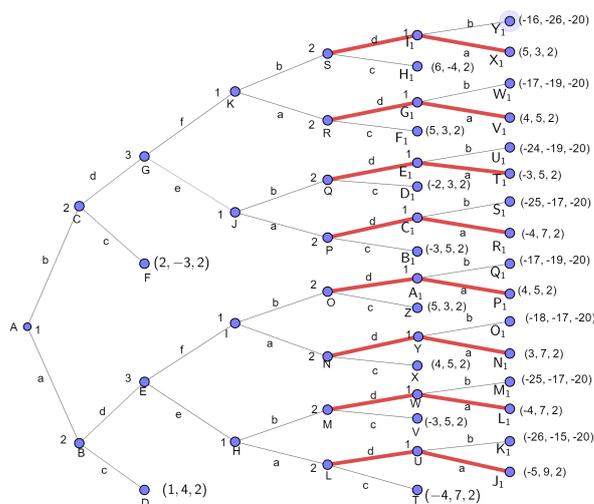


Figura 6: Segundo passo da aplicação do método da indução reversa.

Prosseguindo no algoritmo, verificamos no próximo passo as melhores ações para o jogador 1 nos nós H, I, J, K , assumindo todas as escolhas anteriores. Assim, por exemplo, no nó H , o governo escolhe entre: negociar, obtendo ao final do processo -5 como recompensa; não negociar, obtendo ao final do processo -4 como recompensa. Portanto, em uma escolha racional, o governo optará pela ação b neste nó, assim como nos demais nós analisados nesta etapa. Destacamos essas escolhas na figura 7.

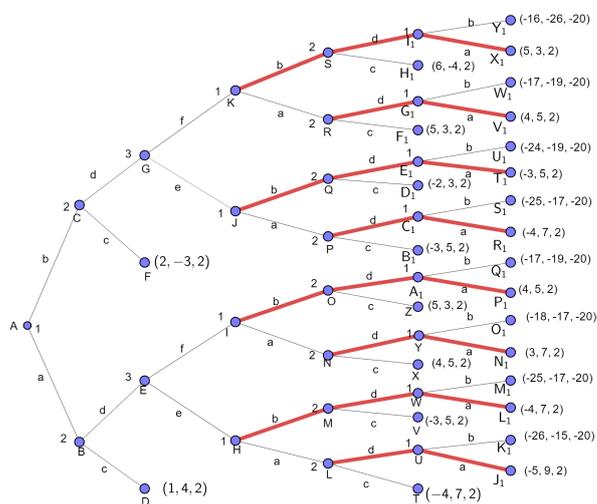


Figura 7: Terceiro passo da aplicação do método da indução reversa.

Continuando a aplicação do método, verificamos as melhores ações para a população nos nós E e G . Mas veja que, assumindo as escolhas anteriores, o resultado é indiferente, ou seja, escolhendo apoiar ou não a greve dos caminhoneiros, o *payoff* do jogador respectivo será $+2$. Nesse sentido, nesse ponto consideramos as quatro situações possíveis para continuar nossa análise:

• **Caso 1: população apoia a greve nos nós E e G ;**

- Caso 2: população apoia a greve no nó E e não apoia no nó G ;
- Caso 3: população não apoia a greve no nó E e apoia no nó G ;
- Caso 4: população não apoia a greve nos nós E e G .

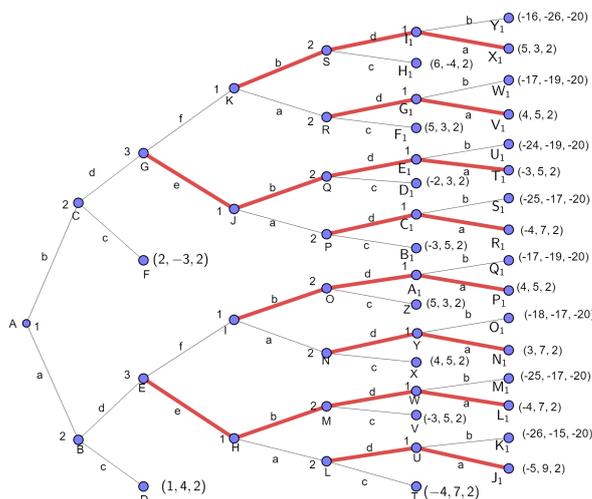


Figura 8: Quarto passo da aplicação do método da indução reversa, referente ao caso 1, em que a população apoia a greve nos nós E e G .

Para ilustrar o ponto em que estamos na aplicação da indução reversa, destacamos na figura 8 o primeiro desses casos. Prosseguindo na análise do caso 1, precisamos verificar as melhores escolhas nos nós restantes, usando o mesmo raciocínio de maximizar os *payoffs* dos jogadores respectivos. Nesse sentido, nos nós B e C , a melhor escolha dos caminhoneiros é manter a greve. E assumindo essa escolha, é melhor para o governo não negociar no nó A do nosso modelo. Obtemos aqui uma das soluções do conflito, destacada na figura 9, que coincide com a solução obtida aplicando o mesmo procedimento para o caso 2.

Por outro lado, no caso 3, verificando as melhores escolhas nos primeiros nós, vamos obter uma outra solução para o conflito. Em B e C , a melhor escolha dos caminhoneiros é manter a greve, e assumindo essa escolha, é melhor para o governo não negociar primeiro nó. Obtemos aqui outra solução do conflito, destacada na figura 10, que coincide com a solução obtida aplicando o mesmo procedimento no caso 4.

Portanto, obtemos duas soluções para o jogo pelo método da indução reversa e, portanto, dois Equilíbrios de Nash para o conflito em questão. Para finalizar, vamos verificar se alguma dessas soluções corresponde ao que de fato ocorreu na situação concreta. Com base no cronograma que apresentamos anteriormente na Tabela 2, destacamos as seguintes ações para identificar a evolução da nossa árvore de jogo durante o conflito propriamente dito:

- Em 18 de agosto, os caminhoneiros anunciam a greve, o que marca o início do jogo;
- Em 20 de agosto, o governo obtém liminares que impedem manifestações, e assim o jogador 1 optou por não negociar, escolhendo a ação b no nó A ;

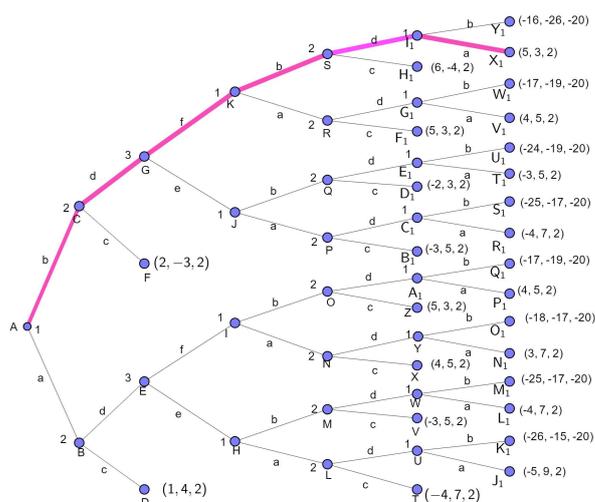


Figura 9: Solução obtida pelo método da indução reversa para os casos 1 e 2.

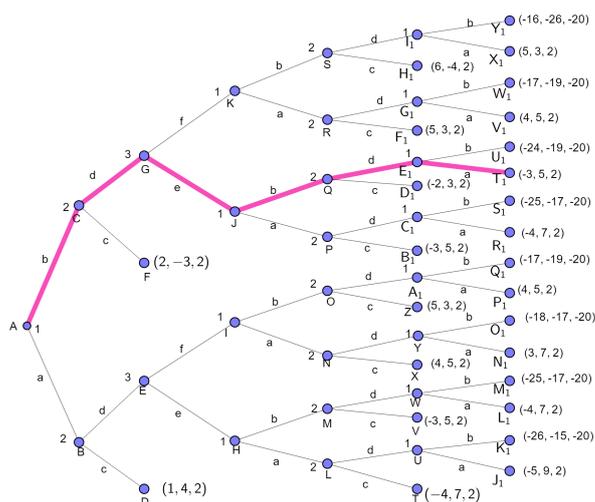


Figura 10: Solução obtida pelo método da indução reversa para os casos 3 e 4.

- Em 21 de agosto, os caminhoneiros mantém a greve, bloqueando estradas em 17 estados. Aqui o jogador 2 escolheu a ação d no nó C ;
- Em 24 de agosto, a população inicia manifestações nas ruas em ato solidário aos caminhoneiros, e portanto o jogador 3 optou pela ação e no nó G ;
- Em 26 de agosto, o governo, mediante intervenção militar, realiza 6 operações de entrega de combustível, optando pela ação b no nó J ;
- No mesmo dia, os caminhoneiros bloqueiam 596 pontos de estradas, mantendo a greve, e escolhendo a ação d no nó Q ;
- Finalmente, em 27 de agosto, o governo anuncia medidas para compensar redução do preço do diesel, entrando em acordo com os caminhoneiros e finalizando a greve dois dias depois.

Portanto, em sua escolha final, o jogador 1 optou pela ação a no nó E_1 .

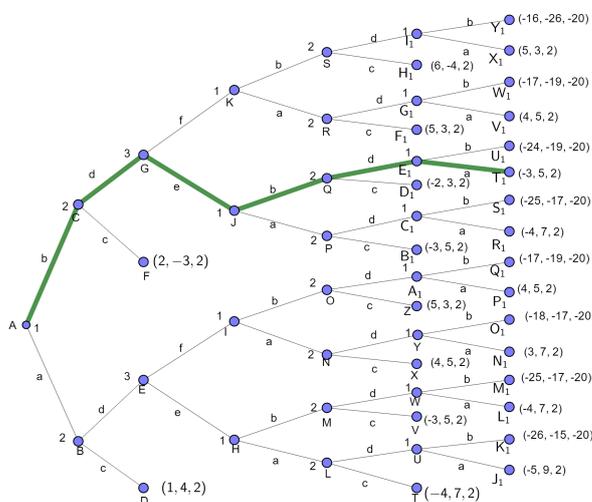


Figura 11: Evolução da árvore do jogo na situação concreta da greve dos caminhoneiros.

É interessante verificar que essa sequência de escolhas feitas por governo, caminhoneiros e população, destacada na figura 11, corresponde precisamente a uma das soluções que obtemos na análise teórica de nosso modelo via método da indução reversa, destacada na figura 10.

Nesse contexto, ao menos em nosso modelo simplificado, e assumindo o critério de recompensas que fixamos no início desta seção, caminhoneiros e governo fizeram as melhores escolhas, no sentido de não haver interesse em modificar a estratégia que adotaram, mesmo conhecendo a estratégia dos outros jogadores. Trata-se precisamente da noção de Equilíbrio de Nash aplicada ao conflito da greve dos caminhoneiros no Brasil em 2018.

4 Considerações finais

O objetivo principal deste artigo é usar a Teoria dos Jogos como ferramenta para modelar a greve dos caminhoneiros ocorrida no Brasil em maio de 2018. Para contextualizar o leitor, apresentamos nas duas primeiras seções algumas noções iniciais de Teoria dos Jogos. Discutimos a definição e elementos de um jogo, exemplos clássicos, forma normal e extensiva, bem como métodos de solução de um jogo, dando atenção especial ao equilíbrio de Nash.

Nessa abordagem inicial, mencionamos que a característica principal dos jogos na forma extensiva é que as ações dos jogadores ocorrem sequencialmente. Nesse sentido, esta modalidade mostrou-se adequada à modelagem da greve dos caminhoneiros no Brasil, uma vez que na situação concreta houve momentos distintos de tomada de decisão dos jogadores envolvidos, ou seja, caminhoneiros, governo e população. Ainda no referencial teórico, vimos que um método eficiente para encontrar o equilíbrio de Nash em jogos na forma extensiva é o método da indução reversa.

Na seção seguinte, procuramos ressaltar o caráter interdisciplinar do tema. Nesse sentido, procuramos, além da modelagem matemática via Teoria dos Jogos, mencionar alguns aspectos jurídicos, políticos e econômicos da greve dos caminhoneiros no Brasil. Evidenciamos o aumento



da força dos caminhoneiros como jogadores em relação às greves anteriores, em função de novas estratégias, tais como bloqueios na saída de combustível das refinarias.

Em seguida, apresentamos nosso modelo simplificado, com os momentos de tomada de decisão de cada um dos jogadores, bem como as recompensas ou punições associadas a cada uma dessas escolhas. Finalmente, aplicando o método da indução reversa ao nosso modelo, conseguimos obter duas soluções teóricas para o conflito, e posteriormente verificamos que uma delas coincide precisamente com o que ocorreu na situação concreta.

Referências

- [1] CRONOLOGIA: greve dos caminhoneiros. **Portal de notícias G1**. 25 maio 2018. Economia. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/cronologia-greve-dos-caminhoneiros.ghtml>. Acesso em: 24 ago. 2019.
- [2] DUTTA, P. K. **Strategies and games: theory and practice**. Cambridge: MIT Press, 1999.
- [3] FIANI, R. **Teoria dos jogos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, Campus, 2009.
- [4] GREVE dos caminhoneiros: entenda o movimento que parou o Brasil. **O Estado de São Paulo**, atualizado em 16 de julho de 2018. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,perguntas-e-respostas-sobre-agreve-dos-caminhoneiros,70002319904>. Acesso em: 24 ago. 2019.
- [5] KARLIN, A. R.; PERES, Y. **Game theory, alive**. Providence: American Mathematical Society, 2016.
- [6] PALACIOS-HUERTA, I. Professionals play minimax. **The Review of Economics Studies**, v. 70, n. 2, p. 395-415, 2003.
- [7] 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-a-cronologia-da-paralisacao-dos-caminhoneiros-no-brasil.shtml>. Acesso em: 24 ago. 2019.
- [8] PRISNER, E. **Game theory through examples**. Washington: The Mathematical Association of America, 2014.
- [9] ROSA, A. M. **A teoria dos jogos aplicada ao processo penal**. São Paulo: Empório do Direito, 2015.
- [10] SARTINI, B. A.; GARBUGIO, G.; BORTOLOSSI, H. J.; SANTOS, P. A.; BARRETO, L. S. **Uma introdução a teoria dos jogos**. 2004. Minicurso apresentado à II Bienal da Sociedade Brasileira de Matemática, Salvador, 2004.



-
- [11] SCHEIDT, J. C. **O método da indução reversa em jogos sequenciais e suas aplicações.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- [12] SHOHAM, Y.; LEYTON-BROWN, K. **Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations.** Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [13] SMITH, J. M. ; PRICE, G. R. The logic of animal conflict. **Nature**, v. 246, p. 15–18, 1973.