

# Quantificando Polarização, Coesão e Permeabilidade na Câmara dos Deputados do Brasil

Frederico Baker

fredericobaker@dcc.ufmg.br  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte, Brasil

Fabricio Benevenuto

fabricio@dcc.ufmg.br  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte, Brasil

## ABSTRACT

We present a network analysis of voting behavior in the Brazilian Chamber of Deputies from 2003 to 2023, focusing on three structural dimensions of legislative dynamics: polarization, party cohesion, and ideological permeability. To measure polarization, we apply structural balance theory to signed networks, examining how the relative frequency of specific triadic configurations, particularly those with two negative and one positive edge, signals the consolidation of antagonistic political blocs. For party cohesion, we quantify how consistently members of each party cluster within ideological communities detected through modularity optimization. To evaluate ideological permeability, we simulate influence diffusion using a network-based adaptation of the classical SIR model, capturing how political positions can propagate through the legislative graph depending on node centrality and edge polarity. Our results reveal a marked rise in polarization beginning in the 55th legislature, reflected by a structural shift toward triads driven by shared opposition rather than shared agreement. While the Workers' Party (PT) maintained high internal cohesion, its reach across the network declined sharply in the 56th legislature. Although focused on institutional dynamics, our findings also reflect broader patterns observed in digital political discourse, where processes of ideological clustering and antagonistic alignment are likewise prevalent. In this sense, the structural features identified in legislative networks may help inform the analysis of polarization and influence in both formal political contexts and digitally mediated environments.

## KEYWORDS

análise de redes, polarização política, teoria do equilíbrio estrutural, difusão de influência, redes de votação parlamentar, modelagem epidemiológica em redes

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o debate político se digitalizou de forma significativa. Redes sociais, aplicativos de mensagens e outras plataformas digitais se tornaram meios para a formação de opinião e para a mobilização de grupos ideológicos. Nesse contexto, compreender a dinâmica interna das instituições políticas, como o Congresso Nacional, torna-se essencial para interpretar fenômenos políticos que ocorrem em meios digitais. Entende-se, portanto, que o comportamento legislativo e as disputas institucionais não refletem

apenas a polarização manifestada nas plataformas, mas também a retroalimentação.

Existem estudos que caracterizam como políticos se comunicam em plataformas sociais, mapeando temas e estratégias de engajamento [15, 16], e outros que medem polarização em ambientes digitais [8]. Falta, no entanto, uma análise que conecte a esfera legislativa, em particular o padrão de votação dos parlamentares, ao discurso público online. Este estudo dá um passo nessa direção ao propor métricas estruturais da Câmara que descrevem sua organização interna e oferecem insumos para, em trabalhos futuros, investigar como reconfigurações legislativas reverberam no meio digital.

A ciência política, por sua vez, historicamente recorre a abordagens qualitativas para compreender o comportamento de atores políticos, com ênfase em análise de discurso, interpretação contextual, reconstrução de processos decisórios e mapeamento ideológico realizado por especialistas [10]. Essas abordagens são valiosas, mas, diante do crescente volume de dados empíricos, ganha relevância o uso de metodologias quantitativas capazes de análises em larga escala e maior sistematicidade.

No caso brasileiro, o sistema político passou por transformações profundas nas últimas duas décadas. O impeachment da presidente Dilma Rousseff em 2016, a ascensão de Jair Bolsonaro com uma proposta de governo que representava uma inflexão significativa em relação à ordem política anterior, e a crescente judicialização da política remodelaram as dinâmicas de poder no país. Tais mudanças foram acompanhadas por realinhamentos partidários, protestos em massa, aumento da desconfiança em relação às instituições representativas e o acirramento das divisões ideológicas tanto entre eleitores quanto entre parlamentares.

Este trabalho propõe o uso da análise de redes para deslocar o foco do que os políticos dizem para como efetivamente votam. O comportamento de voto oferece uma base robusta, pois representa decisões com impacto direto na formulação de políticas públicas. Ao traduzir os registros de votação em redes, em que os nós representam deputados e as arestas ponderadas refletem níveis de concordância, investigamos a evolução das relações políticas ao longo das legislaturas.

A pesquisa parte das seguintes perguntas: (i) como a polarização na Câmara dos Deputados evoluiu ao longo dos últimos 20 anos? (ii) membros de um mesmo partido tendem a se agrupar em uma única comunidade ideológica ou estão dispersos entre diferentes agrupamentos? (iii) como a capacidade de disseminar posicionamentos políticos varia entre os partidos ao longo das legislaturas?

Para responder, construímos redes ponderadas a partir de votações nominiais da Câmara dos Deputados entre 2003 e 2023. Nessas

redes, cada nó representa um deputado e as arestas capturam concordância ou discordância nos votos ao longo de uma legislatura.

A partir dessa estrutura, analisamos três dimensões. A polarização é mensurada com base na teoria do equilíbrio estrutural, por meio da identificação de triângulos equilibrados e desequilibrados, que revelam a formação e a persistência de blocos antagônicos. A coesão partidária é avaliada observando a concentração de membros de um mesmo partido dentro das comunidades detectadas na rede, por meio do algoritmo de Louvain. Por fim, a permeabilidade ideológica é investigada com simulações inspiradas em modelos epidemiológicos, que estimam o potencial de difusão de influência política a partir de diferentes pontos da rede, considerando sua topologia e a posição estratégica dos atores.

Os resultados revelam uma intensificação significativa da polarização a partir da 55ª legislatura (2015–2018), marcada por uma mudança estrutural na forma como os deputados se alinham politicamente. A proporção crescente de triângulos equilibrados com duas arestas negativas indica a formação de blocos antagônicos mais definidos, com alianças se consolidando não apenas por afinidade, mas também por oposição compartilhada a terceiros. Essa mudança na configuração estrutural da rede aponta para um ambiente legislativo mais conflituoso e segmentado. Em paralelo, observamos uma queda na capacidade de difusão ideológica do Partido dos Trabalhadores (PT) durante a 56ª legislatura, evidenciada por seu alcance limitado nas simulações de permeabilidade. Isso sugere um enfraquecimento de sua influência, mesmo que sua coesão interna tenha se mantido relativamente alta. De modo geral, a maioria dos partidos apresentou estabilidade nos seus níveis de coesão ao longo das legislaturas, com variações pontuais.

Ao propor métricas para quantificar polarização, coesão e influência, o trabalho contribui para uma análise mais rigorosa e sistemática do comportamento legislativo no Brasil, revelando padrões estruturais que ajudam a contextualizar dinâmicas observadas nas mídias sociais. O artigo está organizado da seguinte forma: na seção seguinte, apresentamos os estudos relacionados que embasam nossa abordagem e discutimos outros trabalhos que abordaram questões semelhantes sobre comportamento legislativo e análise de redes em contextos políticos; em seguida, descrevemos a base de dados utilizada e como se deu a construção da rede que mapeia os padrões de votação dos deputados; depois, detalhamos as métricas e simulações aplicadas em cada dimensão; por fim, discutimos os principais resultados e suas implicações para o entendimento da dinâmica política brasileira.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

A modelagem de padrões de votação por meio de redes complexas tem se consolidado como uma abordagem promissora para compreender estruturas e dinâmicas legislativas em diferentes contextos. Ao invés de se basear exclusivamente em discursos, preferências declaradas ou posições ideológicas estimadas, essa linha de pesquisa parte dos dados empíricos de votações nominiais para construir grafos em que os parlamentares são representados como nós e suas similaridades de comportamento como arestas. Essa perspectiva relacional permite identificar alinhamentos, fragmentações e estruturas de influência, oferecendo uma perspectiva alternativa e complementar para o estudo do comportamento político.

No Brasil, Brito et al. [2] construíram redes baseadas em padrões de concordância em votações nominiais na Câmara dos Deputados, em que as conexões entre parlamentares refletem a frequência com que votam de forma semelhante. Para reduzir a densidade da rede e preservar apenas as conexões mais relevantes, os autores aplicaram técnicas de extração de *backbone*. Também empregaram detecção de comunidades e medidas de proximidade para identificar agrupamentos ideológicos e explorar dinâmicas de polarização. Levorato e Frota [12], por sua vez, modelaram interações parlamentares a partir de redes com arestas positivas e negativas, atribuídas com base na similaridade de voto entre deputados. Aplicaram técnicas de *correlation clustering* para identificar agrupamentos estruturais nessas redes e, a partir deles, analisaram aspectos como lealdade, liderança e coalizões durante o período de 2011 a 2016. Já Vaz de Melo [22] propôs o algoritmo ARRANGE, que reorganiza o sistema partidário com base em padrões empíricos de disciplina e similaridade de voto, demonstrando que seria possível reduzir substancialmente o número de partidos sem comprometer a coerência ideológica.

Internacionalmente, diversos estudos buscam modelar o comportamento legislativo por meio da estimativa de posições ideológicas latentes. O método NOMINATE, introduzido por Poole e Rosenthal [18, 19], posiciona legisladores em espaços vetoriais de baixa dimensão com base nos seus registros de votação, permitindo visualizar a evolução de polarização e a formação de blocos ideológicos. Shor e McCarty [21] expandem essa abordagem para legislaturas estaduais nos EUA, enquanto Clinton et al. [6, 7] introduzem modelos bayesianos para capturar incertezas e flutuações temporais nas preferências legislativas. Moody e Mucha [14] aplicam técnicas de análise longitudinal e *blockmodels* para identificar papéis estruturais no Senado dos EUA.

Outros trabalhos propõem cruzar estruturas legislativas com redes digitais. Cherepnalkoski et al. [5] analisam a sobreposição entre redes de votação no Parlamento Europeu e interações entre parlamentares no Twitter, investigando o grau de convergência entre afinidades institucionais e alinhamentos discursivos em plataformas digitais.

Um conjunto adicional de estudos fornece a base teórica e metodológica para a modelagem de dinâmicas de propagação em redes, que inspirou parte da abordagem adotada neste trabalho. O modelo SIR clássico, desenvolvido por Kermack e McKendrick [11], inaugurou a formalização matemática de processos de difusão em populações estruturadas, sendo posteriormente adaptado para redes complexas. Em redes digitais, já foi analisada a difusão de informação no Flickr, demonstrando que a propagação é frequentemente retardada por fatores como a intermitência da atenção dos usuários e a obsolescência do conteúdo. Esse fenômeno foi modelado com variações do modelo SIR, evidenciando o papel da topologia da rede na dinâmica da difusão [4].

Uma abordagem semelhante foi aplicada para avaliar o impacto de restrições ao compartilhamento de mensagens no WhatsApp sobre a disseminação de desinformação. Por meio de simulações em redes reais, foi demonstrado que limitar o número de compartilhamentos pode atrasar, mas não impedir, a propagação de conteúdos, reforçando a importância de entender as barreiras estruturais à difusão [13].

Inspirados por essa abordagem epidemiológica, aplicamos uma metodologia análoga no contexto legislativo: a partir da rede de

padrões de votação da Câmara dos Deputados, implementamos simulações para estimar o potencial de disseminação de posicionamentos políticos. Nessa modelagem, as arestas negativas operam como barreiras simbólicas à influência, isto é, conexões com forte desacordo reduzem a probabilidade de difusão entre parlamentares. Esse tipo de simulação permite capturar não apenas quem está alinhado com quem, mas também quais atores estão mais bem posicionados para propagar determinadas agendas.

Dessa forma, este trabalho se distingue ao combinar três aspectos pouco explorados de forma integrada na literatura: (i) o uso de redes com sinais positivos e negativos inferidos de votações nominais; (ii) a aplicação da Teoria do Equilíbrio Estrutural para mensurar polarização a partir de triângulos equilibrados e desequilibrados; e (iii) a modelagem da permeabilidade ideológica com base em simulações de propagação inspiradas em epidemiologia.

Além disso, propomos uma métrica de coesão partidária baseada na distribuição dos membros de cada partido entre comunidades ideológicas detectadas pelo algoritmo de Louvain. Essa abordagem permite observar como os partidos se organizam em torno de blocos coesos ou dispersos ao longo do tempo. Combinadas a uma série histórica abrangente, de 2003 a 2023, e a um contexto político marcado por mudanças institucionais significativas, essas análises oferecem um panorama inédito sobre as transformações estruturais da Câmara dos Deputados. Assim, contribuimos para aprofundar a compreensão dos padrões de coesão, polarização e influência legislativa.

3 CONJUNTO DE DADOS

Este estudo utiliza dados coletados por meio da API oficial da Câmara dos Deputados [9], abrangendo todas as votações nominais realizadas entre janeiro de 2003 e agosto de 2023. No total, o conjunto inclui 4.664 proposições e 1.516.788 votos individuais registrados por deputados ao longo de seis legislaturas.

No contexto do processo legislativo brasileiro, as proposições correspondem a propostas formais como projetos de lei, emendas constitucionais e medidas provisórias. Essas propostas geralmente iniciam sua tramitação em comissões temáticas, onde são analisadas sob aspectos jurídicos, orçamentários e de mérito. Apenas uma fração dessas proposições avança para votação no Plenário da Câmara, geralmente quando envolvem exigências constitucionais, apresentam pareceres conflitantes entre comissões ou recebem apoio significativo de parlamentares.

As votações no Plenário podem ocorrer de três formas: simbólica, nominal ou secreta. A votação simbólica, a mais comum, ocorre sem o registro individual dos votos e o resultado é proclamado pelo presidente da Câmara com base em manifestação coletiva. Quando há questionamento do resultado ou quando exigido pelo regimento, a votação pode ser convertida em nominal. Já as votações secretas aplicam-se a casos específicos, como eleições internas e nomeações sensíveis.

Como este trabalho depende da reconstrução de relações entre parlamentares com base em comportamentos de voto, consideramos exclusivamente as votações nominais, que são o único tipo em que os votos são registrados individualmente. Essas votações ocorrem de forma eletrônica e são obrigatórias em decisões de alto impacto,

como alterações constitucionais, além de poderem ser requeridas por solicitação de verificação de voto simbólico.

Cada voto nominal pode assumir as seguintes categorias: Sim (apoio à proposição), Não (rejeição), Abstenção (posição neutra), Obstrução (ausência estratégica para impedir o quórum), Art. 17 (ausência justificada por missão oficial, saúde ou outra razão formal) e Ausente (ausência não justificada).

Por fim, vale destacar que a Câmara opera em ciclos de quatro anos denominados legislaturas, cada um correspondendo ao mandato parlamentar completo. Este estudo abrange da 52ª à 57ª legislatura, com cobertura integral das legislaturas 52ª a 56ª e cobertura parcial da 57ª legislatura, correspondente ao ano de 2023, até o mês de agosto, marco final da coleta de dados.

4 CONSTRUÇÃO DA REDE

Para cada legislatura no conjunto de dados, construímos grafos representando relações de votação entre deputados. Nessas redes, os nós correspondem a deputados, e as arestas conectam pares que participaram das mesmas votações nominais.

O processo de construção da rede começa com grafos vazios, atualizados iterativamente a cada nova votação nominal. Para cada par de deputados que participou de uma votação, comparamos suas escolhas. Quando ambos votam da mesma forma (favoráveis ou contrários), incrementamos o peso da aresta entre eles em uma unidade. Quando votam de maneira oposta, o peso é decrementado em um. Casos de abstenção, obstrução, ausência justificada (Art. 17) ou não participação são desconsiderados nas comparações.

A Tabela 1 ilustra esse processo com um exemplo concreto de cálculo de pesos de aresta a partir de quatro proposições, mostrando como concordâncias e discordâncias se acumulam entre dois deputados.

Tabela 1: Contribuição de proposições nominais para o peso da aresta entre dois deputados fictícios.

Proposição	Deputado A	Deputado B	Contribuição para a aresta
PL001	Sim	Sim	+1
PL002	Não	Sim	-1
PL003	Não	Não	+1
PL004	Sim	Sim	+1
Peso final da aresta A-B:			+2

Cada aresta parte de peso zero e acumula concordância ou discordância ao longo das votações analisadas. Os pesos finais das arestas indicam o grau de alinhamento entre pares de deputados durante a legislatura.

Esta abordagem de modelagem produz uma consequência fundamental: arestas podem ter pesos positivos ou negativos. Pesos positivos indicam alinhamento consistente, enquanto pesos negativos refletem oposição frequente entre os deputados.

4.1 Extração do Backbone

As redes construídas com base em padrões de votação tendem a ser altamente densas. Isso ocorre porque a maioria dos deputados participa de um grande número de votações nominais em comum,

o que gera um número significativo de arestas. Embora essa densidade reflita corretamente a abrangência do processo legislativo, nem todas essas conexões carregam o mesmo grau de significância. Muitas arestas representam alinhamentos pontuais ou casuais, que podem obscurecer relações mais robustas e sistemáticas entre deputados.

Para identificar apenas as conexões estatisticamente mais relevantes e reduzir o ruído estrutural da rede, aplicamos o método de extração de *backbone* proposto por Serrano et al. [20]. O objetivo é reter somente aquelas arestas que representam interações anormalmente fortes, considerando a distribuição esperada de pesos para cada nó, e que, portanto, oferecem maior confiabilidade para inferências estruturais.

Uma adaptação importante foi necessária antes da aplicação do filtro. Como as redes contêm pesos positivos e negativos, representando respectivamente concordância e discordância, utilizamos o valor absoluto dos pesos para avaliar sua intensidade. Assim, pesos de +20 e -20 são tratados como igualmente fortes, embora com significados opostos. O sinal original de cada aresta é preservado e reintroduzido nas análises posteriores.

A Figura 1 apresenta um resumo visual das principais etapas da construção da rede. O primeiro grafo (a) mostra a rede completa com pesos (espessura das arestas) e sinais (cores e símbolos), enquanto o segundo (b) exibe a rede após a aplicação do valor absoluto aos pesos. O terceiro grafo (c) representa o resultado da extração do *backbone*, com arestas selecionadas por sua relevância estatística, e o quarto (d) mostra a mesma estrutura com os sinais reintroduzidos nas conexões preservadas.

O filtro de disparidade avalia a importância de cada aresta localmente. Para cada nó  $i$ , definimos a fração de força direcionada a  $j$  como

$$p_{ij} = \frac{|w_{ij}|}{\sum_k |w_{ik}|}.$$

Sob a hipótese nula de alocação uniforme, preservamos  $(i, j)$  do ponto de vista de  $i$  se

$$p_{ij} > 1 - \alpha^{1/(k_i-1)},$$

onde  $k_i$  é o grau de  $i$  e  $\alpha$  o nível de significância. Mantemos a aresta se o critério é satisfeito por pelo menos um dos nós ( $i$  ou  $j$ ). Após aplicar o filtro com base em  $|w_{ij}|$ , reintroduzimos o sinal original de cada aresta preservada.

A principal vantagem dessa abordagem é sua capacidade de preservar arestas localmente relevantes, mesmo que tenham pesos absolutos modestos, desde que sejam estatisticamente significativas no contexto local do nó. Isso permite reter relações informativas e eliminar conexões pouco representativas, resultando em uma estrutura mais clara e analiticamente útil.

Para definir o valor de  $\alpha$ , testamos múltiplos limiares e selecionamos o maior valor que preservava ao menos 80% dos nós no maior componente conexo da rede. Esse critério assegura que a conectividade geral seja mantida, ao mesmo tempo que elimina excessos de ruído.

A rede resultante, após a extração do *backbone*, permite focar nas relações de votação mais expressivas entre deputados. Essa simplificação é fundamental para destacar a estrutura ideológica subjacente à atuação parlamentar e sustentar as análises subsequentes de coesão, polarização e difusão de influência.

## 5 RESULTADOS

Esta seção apresenta os principais resultados, organizados ao longo de três dimensões centrais da dinâmica legislativa: polarização, coesão e permeabilidade. Na primeira parte, examinamos a polarização analisando o equilíbrio estrutural das redes criadas, quantificando como padrões de concordância e discordância evoluem através das legislaturas. Em seguida, avaliamos a coesão partidária medindo o grau em que membros de cada partido estão agrupados dentro da mesma comunidade ideológica, detectadas através da modularidade da rede. Finalmente, investigamos a permeabilidade simulando a propagação de influência política por meio da rede, identificando quais partidos exibem maior ou menor capacidade de moldar o comportamento legislativo. Juntas, essas análises oferecem uma visão abrangente de como a Câmara dos Deputados mudou estruturalmente nas últimas duas décadas.

### 5.1 Polarização

Para analisar polarização nas redes construídas a partir do comportamento de votação dos deputados, empregamos o conceito de equilíbrio estrutural, originalmente proposto por Heider no campo da psicologia social e posteriormente formalizado por Cartwright e Harary [3]. Nesta teoria, redes são representadas como grafos com sinal, onde relações podem ser positivas (amigáveis, cooperativas, alinhadas) ou negativas (hostis, conflituosas, divergentes). A estrutura dessas relações pode revelar tensões subjacentes ou coesão dentro do grupo.

Um elemento chave nesta teoria é a classificação de triângulos (três nós completamente conectados por arestas) como equilibrados ou desequilibrados, dependendo dos sinais de suas arestas. Um triângulo é considerado equilibrado se o produto dos sinais de suas três arestas é positivo. Esta condição dá origem a dois tipos de configurações equilibradas: triângulos com três arestas positivas, que representam cooperação mútua entre todos os três nós, e triângulos com duas arestas negativas e uma positiva, onde dois nós formam uma aliança em oposição a um terceiro. Todas as outras configurações, como triângulos com uma aresta negativa e duas positivas, ou com três arestas negativas, são consideradas desequilibradas e sugerem inconsistência estrutural ou instabilidade.

Cartwright e Harary demonstraram ainda que um grafo com sinal é globalmente equilibrado se, e somente se, todos os seus triângulos são equilibrados. Na prática, redes do mundo real raramente alcançam equilíbrio completo, mas tendem a evoluir nessa direção, minimizando tensão interna conforme subgrupos coesos se formam e alinhamentos se tornam mais consistentes.

Nesta análise da Câmara dos Deputados, avaliamos o equilíbrio de todos os triângulos presentes na rede para cada legislatura. Embora nenhuma das redes analisadas tenha alcançado equilíbrio estrutural completo, todas exibiram uma proporção muito alta de triângulos equilibrados, frequentemente acima de 99%, como pode ser visto na Figura 2. Isso indica que apesar do conflito político, as redes tendem a se organizar em estruturas internamente coerentes.

Embora a proporção de triângulos equilibrados permaneça consistentemente alta ao longo das legislaturas, essa métrica, por si só, não é suficiente para capturar nuances da dinâmica política. A Figura 3 aprofunda essa análise ao mostrar a distribuição relativa entre os diferentes tipos de triângulos em cada legislatura.

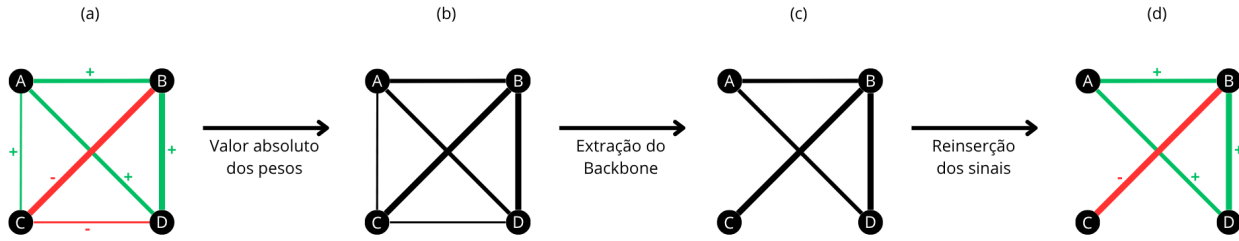


Figura 1: Etapas de construção da rede: (a) rede completa com pesos e sinais; (b) aplicação do valor absoluto aos pesos das arestas; (c) extração do *backbone* usando o filtro de disparidade; (d) reinserção dos sinais nas arestas restantes.

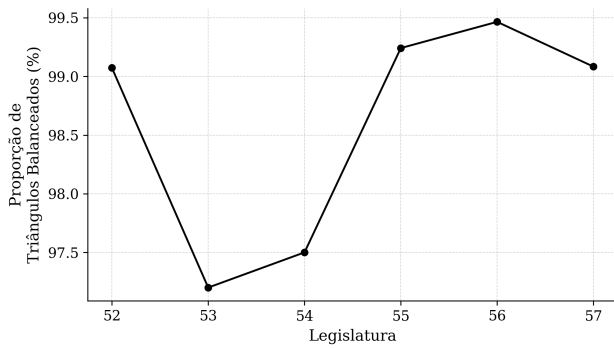


Figura 2: Porcentagem de triângulos equilibrados ao longo das legislaturas.

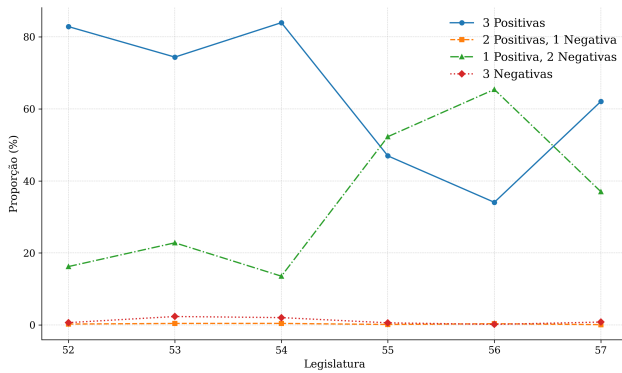


Figura 3: Distribuição dos tipos de triângulos equilibrados por legislatura.

Nas 52ª, 53ª e 54ª legislaturas, predominaram os triângulos com três arestas positivas, formações que refletem alinhamentos amplos e coesão ideológica generalizada entre os deputados. Nesse período, triângulos desse tipo representavam aproximadamente 80% dos triângulos equilibrados. A partir da 55ª legislatura, no entanto, esse padrão se inverte: a configuração com duas arestas negativas e uma positiva passa a ser a mais frequente, e essa tendência se intensifica na 56ª legislatura, quando mais de 60% dos triângulos equilibrados apresentam essa estrutura.

Essa mudança é significativa. Triângulos com duas arestas negativas e uma positiva indicam uma dinâmica diferente: em vez de aproximação entre parlamentares baseada apenas em concordância mútua, o que emerge é uma lógica de alinhamento em torno da oposição a um terceiro. Ou seja, deputados passam a se agrupar não apenas por afinidades, mas também por compartilharem antagonismos. Esse padrão estrutural é um indicativo claro de polarização, e a evolução da proporção entre os tipos de triângulos equilibrados se apresenta, portanto, como uma métrica relevante para mensurar a intensificação dessa polarização nas redes de votação da Câmara.

## 5.2 Coesão

Para analisar a coesão partidária, aplicamos o algoritmo de Louvain, um método amplamente adotado para detectar comunidades em grandes redes [1]. Ele busca maximizar a modularidade, uma métrica que compara a densidade de conexões dentro das comunidades com o esperado em uma rede aleatória.

Formalmente, a modularidade  $Q$  é definida como:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left[ A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j)$$

Nesta expressão,  $A_{ij}$  denota o peso da aresta entre os nós  $i$  e  $j$ ,  $k_i$  é a força total (soma dos pesos das arestas) do nó  $i$ , e  $m$  é o peso total de todas as arestas na rede. A função  $\delta(c_i, c_j)$  é igual a 1 quando os nós  $i$  e  $j$  pertencem à mesma comunidade, e 0 caso contrário. A diferença  $A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}$  captura o desvio de um modelo nulo no qual as arestas são distribuídas aleatoriamente, mas os pesos dos nós são preservados.

O algoritmo procede em duas fases principais, aplicadas iterativamente. Na primeira fase, cada nó é movido para a comunidade de um de seus vizinhos sempre que isso resulta em um aumento na modularidade. Este processo é repetido para todos os nós até que não seja possível obter mais ganhos. Na segunda fase, cada comunidade é condensada em um único nó agregado, e uma nova rede é construída onde os pesos das arestas refletem a força total de conexão entre as comunidades. A primeira fase é então reaplicada a esta rede menor.

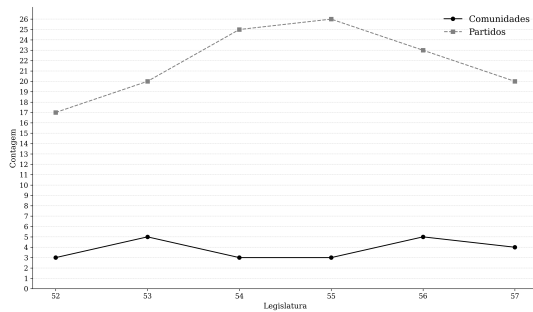
Nesta análise aplicamos o algoritmo de Louvain considerando apenas arestas com peso positivo, que refletem proximidade ideológica entre deputados baseada na similaridade de votação. Esta restrição garante que as comunidades detectadas representem blocos de acordo ideológico.

Para mensurar a coesão de cada partido na estrutura de comunidades, consideramos a concentração de seus membros em um mesmo agrupamento. Para um partido  $P$ , seja  $n_P$  o número total de seus deputados, e seja  $n_{P,C_i}$  o número desses deputados atribuídos à comunidade  $C_i$ . Definimos a coesão do partido como:

$$\text{Coesão}(P) = \max_{C_i} \left( \frac{n_{P,C_i}}{n_P} \right)$$

Esta medida captura a proporção máxima de membros do partido que estão na mesma comunidade. Intuitivamente, alta coesão indica que os membros de um partido tendem a votar de forma similar e estão agrupados na estrutura de comunidades. Por outro lado, um baixo índice de coesão implica fragmentação, sugerindo dispersão ideológica interna ou que os membros se alinham com deputados de outros partidos.

A Figura 4 ilustra a relação entre o número de comunidades detectadas pelo algoritmo de Louvain e o número total de partidos em cada legislatura. O número de comunidades permanece consistentemente menor, revelando a formação de coalizões mais amplas ou blocos ideológicos que englobam múltiplos partidos. Isso apoia a ideia de que, na prática, a Câmara dos Deputados brasileira está estruturada em torno de poucos grandes grupos de votação, em vez de seguir estritamente as linhas partidárias formais.

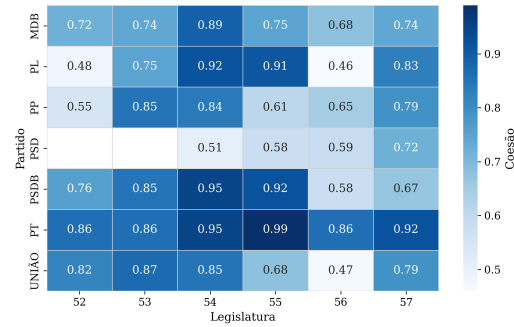


**Figura 4: Número de comunidades detectadas e número de partidos por legislatura.**

A Figura 5 apresenta um mapa de calor com a evolução do índice de coesão dos principais partidos políticos ao longo das legislaturas. Os valores mais escuros representam maior coesão interna, ou seja, maior concentração de deputados votando de forma semelhante ao longo da legislatura.

O Partido dos Trabalhadores (PT) se destaca por sua estabilidade: mantém níveis elevados de coesão em todas as legislaturas analisadas, com valores superiores a 0,90 nas 54ª, 55ª e 57ª legislaturas. Esse padrão indica uma forte disciplina partidária e consistência interna no comportamento de votação de seus membros.

Em contraste, partidos como o PL e o PP demonstram uma trajetória mais oscilante. Ambos atingem altos índices de coesão na 54ª legislatura (0,92 e 0,84, respectivamente), mas sofrem quedas significativas na 56ª (0,46 e 0,65), sugerindo fragmentação interna ou realinhamentos políticos naquele período. O PL, por exemplo, apresenta uma das maiores variações no período analisado, com uma recuperação notável já na legislatura seguinte.



**Figura 5: Coesão dos principais partidos políticos por legislatura.**

O PSDB também apresenta uma trajetória significativa: depois de atingir um pico de coesão (0,95 na 54ª legislatura), seus índices declinam nas legislaturas seguintes, chegando a apenas 0,58 na 56ª. Esse declínio pode refletir divergências internas crescentes ou uma reorganização nas alianças parlamentares.

Por sua vez, o PSD e o partido UNIÃO apresentam os menores níveis de coesão no gráfico, especialmente na 56ª legislatura, com valores de 0,59 e 0,47, respectivamente. Esses números sugerem que os deputados desses partidos estiveram distribuídos entre múltiplas comunidades, indicando baixa unidade partidária nesse período específico.

De forma geral, o mapa de calor permite observar que a coesão partidária não apenas varia entre partidos, mas também oscila significativamente ao longo do tempo. A métrica evidencia momentos de alinhamento ou dispersão dentro dos partidos, funcionando como um indicador quantitativo útil para identificar tanto a estabilidade organizacional quanto as rupturas internas em diferentes contextos legislativos.

### 5.3 Permeabilidade

Para explorar como a influência política ou o alinhamento ideológico pode se espalhar pela Câmara dos Deputados brasileira, adotamos uma metodologia de simulação baseada no modelo epidemiológico SIR (*Susceptible-Infected-Recovered*), amplamente utilizado para representar processos de difusão em redes. Adaptando para o contexto desta rede, cada deputado é representado como um nó que pode assumir três estados: suscetível, quando ainda não foi influenciado; infectado, quando adota e propaga determinada posição; e recuperado, quando se torna imune ou resistente à influência.

Seja a rede definida como  $G = (V, E, w)$ , em que cada aresta  $(i, j)$  possui um peso  $w_{ij} \in \mathbb{Z}$  que representa a concordância ( $w_{ij} > 0$ ) ou antagonismo ( $w_{ij} < 0$ ) no padrão de votação. Para cada deputado  $i$ , definimos a força total das suas conexões como  $W_i = \sum_j |w_{ij}|$ . No instante  $t$ , denotamos  $I_t \subseteq V$  como o conjunto de infectados,  $R_t \subseteq V$  como o conjunto de recuperados, e  $S_t = V \setminus (I_t \cup R_t)$  como o conjunto de suscetíveis. Usaremos as notações  $x^+ = \max(x, 0)$  e  $x^- = \max(-x, 0)$  para separar contribuições positivas e negativas dos pesos.

Com isso, a probabilidade de infecção de um deputado suscetível  $i$  no passo  $t \rightarrow t+1$  é dada por

$$p_{\text{inf}}(i, t) = \frac{\sum_{j \in I_t} w_{ij}^+}{W_i},$$

isto é, a fração do peso positivo que  $i$  mantém com vizinhos já infectados, ou seja, a influência que ele recebe de pares com quem concorda. Já a probabilidade de recuperação de um deputado infectado  $i$  é

$$p_{\text{rec}}(i, t) = \frac{\sum_{j \in I_t} w_{ij}^- + \sum_{j \in R_t} w_{ij}^+}{W_i},$$

que agrega dois efeitos: (i) pressão antagonônica exercida por vizinhos infectados conectados por arestas negativas ( $\sum_{j \in I_t} w_{ij}^-$ ), e (ii) uma contribuição de vizinhos recuperados conectados por arestas positivas ( $\sum_{j \in R_t} w_{ij}^+$ ). Em ambos os casos, a normalização por  $W_i$  garante comparabilidade entre nós com graus e intensidades distintas.

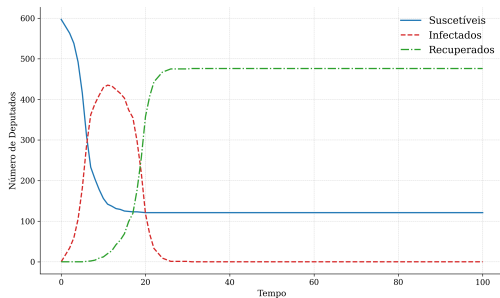
Em cada iteração, para cada deputado  $i$  amostramos  $u$  de acordo com uma distribuição uniforme entre 0 e 1, recalculamos as probabilidades  $p_{\text{inf}}(i, t)$  e  $p_{\text{rec}}(i, t)$  a partir da natureza e da intensidade das conexões de  $i$ . Aplicamos, com o mesmo  $u$  por nó em cada iteração, as duas verificações abaixo, nessa ordem:

- (1) Infecção: se  $i \in S_t$  e  $u < p_{\text{inf}}(i, t)$ , então  $i \leftarrow I$ .
- (2) Recuperação: se  $i \in I_t$  e  $u < p_{\text{rec}}(i, t)$ , então  $i \leftarrow R$ .

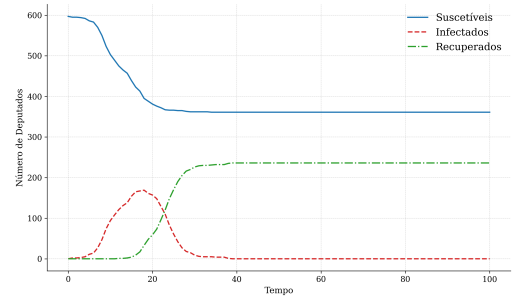
O estado recuperado é absorvente, ou seja, um nó em  $R$  não retorna a  $S$  ou  $I$ . A simulação prossegue por  $T_{\text{max}}$  iterações.

Para identificar nós influentes, utilizamos PageRank e selecionamos, em cada partido, o deputado de maior centralidade na 56ª legislatura [17]. O pressuposto é que atores mais centrais podem exercer maior influência no processo de difusão. O PageRank atribui a cada nó uma pontuação de importância baseada na estrutura de ligações da rede: um nó é considerado mais relevante se for apontado por outros nós relevantes, capturando de forma recursiva a noção de influência na rede.

Começamos executando duas simulações ilustrativas, cada uma com 100 iterações, iniciando pelo deputado com maior PageRank do PL e PT, respectivamente. As Figuras 6 e 7 mostram o número de deputados no estado infectado ao longo do tempo. Observa-se que a simulação iniciada pelo PL atingiu mais de 400 deputados em seu pico, enquanto a iniciada pelo PT permaneceu abaixo de 200, sugerindo menor capacidade de difusão neste cenário para o PT durante a 56ª legislatura.

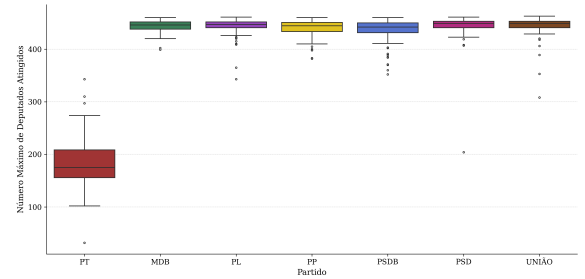


**Figura 6: Evolução do número de deputados infectados ao longo do tempo na simulação iniciada pelo deputado com maior PageRank do PL (56ª legislatura).**



**Figura 7: Evolução do número de deputados infectados ao longo do tempo na simulação iniciada pelo deputado com maior PageRank do PT (56ª legislatura).**

Para garantir robustez, repetimos a simulação 100 vezes para cada partido principal na 56ª legislatura. Cada simulação foi executada por no máximo 50 iterações, limite escolhido com base na observação empírica de que o sistema tende a se estabilizar antes deste ponto. A Figura 8 sumariza os resultados mostrando a distribuição do número máximo de deputados infectados em cada execução. O PT destaca-se por ter alcance consistentemente menor ao longo das simulações comparado aos outros partidos.



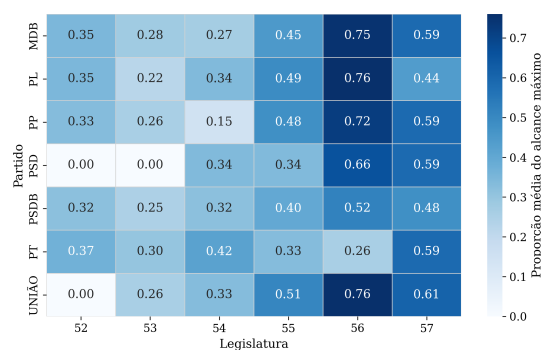
**Figura 8: Distribuição do número máximo de deputados infectados por partido ao longo de 100 simulações na 56ª legislatura.**

Expandimos a análise de permeabilidade para abranger todas as legislaturas, buscando compreender como a estrutura da rede influencia a capacidade de diferentes partidos em atingir grande parte da Câmara dos Deputados. Para cada partido e legislatura, realizamos 100 simulações independentes e calculamos, em cada uma, o número máximo de deputados infectados ao longo do tempo. A Figura 9 apresenta a média desses valores, normalizada pelo número total de parlamentares da respectiva legislatura.

A visualização revela padrões estruturais importantes. Até a 54ª legislatura, nenhum partido conseguiu, em média, atingir mais da metade da rede, o que sugere limitação na capacidade de influência isolada. Esse valor de 50% é politicamente relevante, pois representa o mínimo necessário para aprovar proposições na Câmara. A partir da 55ª legislatura, observa-se uma inflexão: partidos como PL, PP e UNIÃO alcançam, de forma consistente, mais de 60% dos deputados, com valores que, em alguns casos, se aproximam de 75%.

Em contrapartida, o PT apresenta trajetória inversa. Após alcançar um pico superior a 40% na 54ª legislatura, sua capacidade média





**Figura 9: Proporção média máxima de deputados infectados por partido e legislatura, obtida a partir de 100 simulações por caso.**

de difusão cai para 26% na 56ª legislatura. Esse declínio aponta para um enfraquecimento na sua posição estrutural na rede parlamentar, indicando menor capacidade de articulação ampla e menor capacidade de influência no período.

Este modelo de simulação permite avaliar de forma sistemática a permeabilidade da rede, isto é, o grau de facilidade com que ideias provenientes de diferentes partidos podem se espalhar pela Câmara dos Deputados. A abordagem evidencia como a estrutura dos vínculos políticos influencia o alcance potencial de uma posição ideológica e oferece um instrumento quantitativo para analisar dinâmicas de influência ao longo das legislaturas.

## 6 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou como a aplicação de técnicas de análise de redes pode oferecer uma perspectiva quantitativa e sistemática sobre a dinâmica legislativa da Câmara dos Deputados brasileira entre 2003 e 2023. Embora centrado no comportamento institucional, esse tipo de análise tem implicações mais amplas, especialmente quando consideramos a crescente interdependência entre o sistema político formal e os ambientes digitais. As alianças, rupturas e padrões de oposição observados na Câmara não apenas moldam a formulação de políticas, mas também reverberam nas redes sociais, onde discursos, posicionamentos e tensões ideológicas ganham visibilidade e são amplificados.

A análise de polarização com base na Teoria do Equilíbrio Estrutural revelou um dos achados mais relevantes deste trabalho. Em particular, a distinção entre os tipos de triângulos equilibrados permitiu observar com clareza o avanço da polarização a partir da 55ª legislatura. Triângulos com duas arestas negativas e uma positiva indicam a formação de alianças baseadas não apenas na afinidade direta entre deputados, mas também na oposição comum a um terceiro. O aumento desse tipo de triângulo em relação aos com três arestas positivas demonstra o fortalecimento de blocos antagônicos, sinalizando um ambiente legislativo mais segmentado.

Na dimensão da coesão partidária, observamos que nem todos os partidos mantêm um comportamento interno uniforme. No entanto, alguns se destacam por uma estabilidade expressiva ao longo do tempo. O caso do Partido dos Trabalhadores (PT) é ilustrativo: em

diversas legislaturas, especialmente na 54ª, 55ª e 57ª, o partido manteve altos níveis de coesão, com seus membros majoritariamente agrupados na mesma comunidade ideológica. Essa consistência, embora indicativa de forte alinhamento interno, parece também ter resultado em um certo isolamento nas legislaturas mais recentes, como evidenciado pela sua menor capacidade de alcançar outros grupos na análise de permeabilidade.

A abordagem adotada para mensurar a permeabilidade ideológica, inspirada em modelos epidemiológicos, ofereceu uma perspectiva inovadora sobre a difusão de posicionamentos políticos dentro da rede legislativa. As simulações indicam que partidos com maior centralidade e melhor inserção topológica alcançam parcelas significativamente maiores da rede. O desempenho do PT na 56ª legislatura, com alcance consistentemente inferior ao de outros partidos, reforça a leitura de que sua influência tornou-se mais restrita, mesmo mantendo coesão interna elevada.

No conjunto, os resultados destacam a utilidade de modelagens relacionais com arestas positivas e negativas para captar nuances da política brasileira. Ao traduzir padrões de votação em métricas de alinhamento, oposição e influência, este trabalho avança na direção de uma análise mais empírica e replicável do comportamento legislativo.

Como caminhos futuros, destacamos a possibilidade de integrar variáveis contextuais, como eventos eleitorais, rupturas institucionais ou mudanças partidárias, à dinâmica temporal das redes, além de explorar a aplicação comparativa dessa metodologia a outros parlamentos.

Além disso, os achados abrem espaço para investigações futuras sobre os vínculos entre a esfera legislativa e os ambientes digitais. A estrutura das alianças e antagonismos na Câmara, revelada por meio da análise de redes, oferece um ponto de partida promissor para entender como disputas institucionais se refletem nas mídias sociais. Assim, este estudo contribui não apenas para o entendimento do relacionamento entre atores do Congresso, mas também para a leitura mais ampla das dinâmicas que moldam o debate político no Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado com apoio da FAPEMIG e do CNPq.

## REFERÊNCIAS

- [1] Vincent D. Blondel, Jean-Loup Guillaume, Renaud Lambiotte, and Etienne Lefebvre. 2008. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* 2008, 10 (2008), P10008. doi:10.1088/1742-5468/2008/10/P10008
- [2] A. C. M. Brito, F. N. Silva, and D. R. Amancio. 2020. A complex network approach to political analysis: Application to the Brazilian Chamber of Deputies. *PLOS ONE* 15, 3 (2020), e0229928. doi:10.1371/journal.pone.0229928
- [3] Dorwin Cartwright and Frank Harary. 1956. Structural balance: a generalization of Heider's theory. *Psychological Review* 63, 5 (1956), 277–293. doi:10.1037/h0046049
- [4] Meeyong Cha, Fabricio Benevenuto, Yong-Yeol Ahn, and Krishna P. Gummadi. 2012. Delayed Information Cascades in Flickr: Measurement, Analysis, and Modeling. *Computer Networks* 56, 3 (2012), 1066–1076. doi:10.1016/j.comnet.2011.10.020
- [5] Darko Cherepnalkoski, Andreas Karpf, Igor Mozetič, and Miha Grčar. 2016. Cohesion and Coalition Formation in the European Parliament: Roll-Call Votes and Twitter Activities. *PLOS ONE* 11, 11 (11 2016), 1–27. doi:10.1371/journal.pone.0166586
- [6] Joshua Clinton, Simon Jackman, and Douglas Rivers. 2004. The Statistical Analysis of Roll Call Data. *American Political Science Review* 98, 2 (2004), 355–370. doi:10.



- 1017/S0003055404001194
- [7] Joshua D. Clinton and Adam Meirowitz. 2017. Integrating Voting Theory and Roll Call Analysis: A Framework. *Political Analysis* 11, 4 (2017), 381–396. doi:10.1093/pan/mpg023
- [8] Gustavo Cunha and Ana Silva. 2024. Caracterizando Polarização em Redes Sociais: Um Estudo de Caso das Discussões no Reddit sobre as Eleições Brasileiras de 2018 e 2022. In *Proceedings of the 30th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web* (Juiz de Fora/MG). SBC, Porto Alegre, RS, Brasil, 365–369. doi:10.5753/webmedia.2024.241688
- [9] Câmara dos Deputados. 2023. Dados Abertos - Câmara dos Deputados. <https://dadosabertos.camara.leg.br/>. Accessed: 2023-08-01.
- [10] Cassandra V. Emmons and Andrew M. Moravcsik. 2020. Graduate Qualitative Methods Training in Political Science: A Disciplinary Crisis. *PS: Political Science* 38; *Politics* 53, 2 (2020), 258–264. doi:10.1017/S1049096519001719
- [11] William Ogilvy Kermack and Anderson G McKendrick. 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the royal society of london. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character* 115, 772 (1927), 700–721.
- [12] Mario Levorato and Yuri Frota. 2017. Brazilian Congress structural balance analysis. *Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Sciences* Vol. 2 - Graphs and social systems, Article 4 (mars 2017). doi:10.18713/JIMIS-280217-2-3
- [13] Philipe Melo, Carolina Vieira, Kiran Garimella, Pedro O.S. Vaz de Melo, and Fabricio Benevenuto. 2019. Can WhatsApp Counter Misinformation by Limiting Message Forwarding?. In *Proceedings of the the International Conference on Complex Networks and their Applications* (Lisbon, Portugal) (*ComplexNetÖ19*).
- [14] James Moody and Peter J. Mucha. 2013. Portrait of Political Party Polarization. *Network Science* 1, 1 (2013), 119–121. doi:10.1017/nws.2012.3
- [15] Lucas Oliveira, Wesley Costa, Pedro Melo, and Fabricio Benevenuto. 2022. How Politicians Communicate in Social Media: A Cross-Platform Study. In *Proceedings of the 28th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web* (Curitiba). SBC, Porto Alegre, RS, Brasil, 79–87. <https://sol.sbc.org.br/index.php/webmedia/article/view/22101>
- [16] Lucas Oliveira and Pedro Melo. 2022. Large-Scale And Long-Term Characterization Of Political Communications On Social Media. In *Anais Estendidos do XXVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web* (Curitiba). SBC, Porto Alegre, RS, Brasil, 31–34. doi:10.5753/webmedia\_estendido.2022.225803
- [17] Lawrence Page, Sergey Brin, Rajeev Motwani, and Terry Winograd. 1999. *The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web*. Technical Report 1999-66. Stanford InfoLab. <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/> Previous number = SIDL-WP-1999-0120.
- [18] K.T. Poole and H.L. Rosenthal. 2011. *Ideology and Congress*. Transaction Publishers. <https://books.google.com.br/books?id=eOuZqa7UbqUC>
- [19] Keith T. Poole and Howard Rosenthal. 1991. Patterns of Congressional Voting. *American Journal of Political Science* 35, 1 (1991), 228–278. <http://www.jstor.org/stable/2111445>
- [20] M. Á. Serrano, M. Boguñá, and A. Vespignani. 2009. Extracting the multiscale backbone of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 16 (2009), 6483–6488. doi:10.1073/pnas.0808904106
- [21] Boris Shor and Nolan McCarty. 2011. The Ideological Mapping of American Legislatures. *American Political Science Review* 105, 3 (2011), 530–551. doi:10.1017/S0003055411000153
- [22] Pedro O. S. Vaz de Melo. 2015. How Many Political Parties Should Brazil Have? A Data-Driven Method to Assess and Reduce Fragmentation in Multi-Party Political Systems. *PLOS ONE* 10, 10 (10 2015). doi:10.1371/journal.pone.0140217