

A influência da estrutura da rede social de municípios brasileiros na difusão de uma inovação

Gabriel A. Castro
gabriel_alvesc1@hotmail.com

2019

Resumo

Este trabalho busca investigar as influências da rede de rodovias e hidrovias dos municípios brasileiros, na adoção de uma inovação política, por meio da análise de redes sociais. Ferramentas como o índice de Moran, um índice de correlação espacial, conectividade, ponto de início da difusão, distância entre os municípios são utilizadas para determinar as influências da estrutura da rede, na adoção da inovação. Ao final, são determinados pontos estratégicos, para se iniciar a difusão de uma inovação.

Palavras-chaves: difusão de uma inovação. redes sociais. inovação política. índice de Moran. pequenos mundos. pontos críticos. doença contagiosa.

Introdução

Uma inovação é definida como a adoção ampla do uso de novas práticas/ferramentas por uma comunidade, que geram um novo processo responsável por produzir valor. Desse modo, a difusão de uma inovação pode ser estudada, e classificada, investigando as relações entre os membros das comunidades que a aceitam, ou mesmo, entre as comunidades que a aceitam. Portanto, é possível encontrar padrões na difusão de uma inovação, estes padrões podem ser análogos aos da difusão de uma doença contagiosa. Nesse sentido, estudar a estrutura das redes sociais formadas pelas comunidades por onde se difunde uma inovação, pode gerar conhecimentos importantes para entender o seu comportamento, ajudando a solucionar problemas de diversos âmbitos, como por exemplo, a engenharia social.

No Brasil, os municípios podem ser entendidos como comunidades complexas com as suas próprias redes sociais. Neste meio, existe o SUS (Sistema Único de Saúde), responsável por vigiar e remediar agravos de doenças contagiosas. Neste sentido, o LIRAa (Levantamento Rápido de Índices de Infestação pelo *Aedes aegypti*) pode ser visto como uma inovação, que começou a ser difundida em meados de 2007 por entre os municípios brasileiros, com o objetivo de coletar rapidamente a situação do vetor da dengue no território brasileiro. Com isso, é possível estudar como se deu a difusão desta inovação

(o LIRAA), por entre os municípios, e investigar se foi análoga à difusão de uma doença contagiosa. Este estudo pode oferecer grandes resultados, tornando possível, talvez, a definição de hotpoints para engenharia social, tratando-se de adoções de novas práticas no SUS, ou mesmo estudar o comportamento da difusão, que de maneira distinta de uma inovação natural, foi controlada e catalizada pelo Estado brasileiro.

As redes sociais são consideradas importantes para o comportamento da difusão de uma inovação, e de uma doença. (MINTRON; VERGARI, 1998) demonstra empiricamente que as redes sociais internas à uma comunidade, especificamente Estados da federação estadunidense, como também as redes sociais externas a esta comunidade influenciam fortemente na difusão de inovações políticas. (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2011) em seu livro caracteriza o comportamento da difusão de uma inovação de maneira análoga ao da difusão de uma doença contagiosa, com um modelo testado empiricamente. No entanto, ainda existem diversas possibilidades de estudos acerca da influência das redes sociais entre entes federativos, como municípios. Assim, analisando as ligações rodoviárias e hidroviárias entre os municípios, pode-se obter parâmetros importantes da conectividade entre os municípios, que podem ser entendidos como parâmetros deste tipo característico de redes sociais, desse modo, o estudo destas características pode ajudar a entender o comportamento da difusão de uma inovação neste tipo de rede social característica.

A difusão do LIRAA entre os municípios brasileiros, é classificada como a difusão de uma política, como também, de um processo de trabalho responsável por gerar valor de inteligência e portanto, a difusão de uma inovação política. Estudar a difusão de uma inovação política no Estado brasileiro, é de extrema importância para aumentar a efetividade de qualquer processo análogo, como também pode trazer diversos conhecimentos devido à característica centralizadora da federação brasileira, diferente da situação da difusão de uma inovação política na federação estadunidense (MINTRON; VERGARI, 1998). Desse modo, em busca de entender esse processo levanta-se as hipóteses (1) a difusão do LIRAA se caracterizou de maneira análoga à difusão de uma doença contagiosa, (2) a rede de municípios brasileiro é um pequeno mundo, (3) a estrutura das redes rodoviárias e hidroviárias dos municípios brasileiros influencia diretamente na difusão de uma inovação, (4) é possível encontrar pontos estratégicos para a engenharia social relativa à difusão de uma inovação e (5) os municípios isolados nas malhas rodoviárias e hidroviárias, podem ser vistos como isolados na rede social de municípios e portanto são pontos críticos de fragilidade em um sistema de inteligência e controle de doenças como o LIRAA. Dessa forma, o estudo dessas características por meio dos dados históricos e da caracterização das malhas como uma rede social (grafos), permite entender e responder à estas hipóteses.

O artigo será organizado de modo a responder às questões estabelecidas acima, e apresentar como os datasets e o problema serão tratados. Primeiramente haverá um capítulo de trabalhos relacionados 1, que irá tratar de uma pequena revisão da literatura. Em seguida, o problema e como ele será tratado será abordado nas seções da metodologia 2 e prototipação 3. E as seguintes sessões irão tratar de analisar e apresentar os resultados: Resultados 4, Análise dos resultados 5. Sendo por fim apresentada uma conclusão para o trabalho na sessão considerações finais.

1 Trabalhos relacionados

A difusão de uma inovação política refere-se ao contexto no qual tenta-se aprovar uma nova prática política/organizacional, vista como uma possibilitadora de agregação de

valor ao contexto em que esta se insere, em uma comunidade. O estudo deste fenômeno é de extrema importância para o entendimento das relações humanas, e possui como relevantes diversos possíveis atores, como os empreendedores políticos, os vizinhos de uma comunidade, as redes sociais internas e externas de uma comunidade, entre outros. Nesse sentido, o trabalho de (MINTRON; VERGARI, 1998) buscou verificar a influência de cada um desses agentes, e da própria estrutura das redes sociais presentes nas comunidades, no processo da difusão de uma inovação. Como resultado, foram encontradas fortes correlações entre a atividade destes agentes, como também parâmetros elevados de intermediação e centralidade nas redes, internas e externas às comunidades de que fazem parte (ou mesmo da estrutura dessas redes) com a difusão de uma inovação política, diferindo as influências (sendo menores, maiores, existentes ou inexistentes) em duas etapas distintas: O período de convencimento da comunidade para colocar uma inovação política em pauta para votação, e o período de votação para aprovar a inovação política. Este trabalho é muito importante no sentido de fornecer caminhos para a avaliação das influências e diferentes classificações dos municípios no processo de difusão do LIRAA.

O índice de Moran é um índice de correlação espacial, que busca verificar estatisticamente se um fenômeno recebe influência das características espaciais de um determinado ambiente. Este índice possui diversas aplicações, sendo capaz de auxiliar na modelagem de problemas de diversas naturezas. Desse modo, o trabalho de (GETIS; ORD, 2010) busca demonstrar como este índice pode ser calculado, o comparando com outras ferramentas de análise de correlação espacial. Muitas vezes, estudos acabam sendo enviesados ao não seguirem todos os passos necessários e corretos ao utilizar as ferramentas de análise de correlação estatística (GETIS; ORD, 2010). Assim, o trabalho busca ajudar o leitor a definir as melhores práticas no uso destas ferramentas, além de conhecê-las e entendê-las melhor. Nesse sentido, o índice de Moran é uma importante ferramenta para analisar a influência da estrutura da rede social dos municípios brasileiros (espaço), na própria difusão do LIRAA (fenômeno).

Uma rede social pode ser modelada como um grafo, onde vértices são agentes e arestas são as relações entre estes agentes, tendo portanto, para um número determinado $|V|$ de vértices uma quantidade limitada de relações possíveis. As influências desta estrutura na difusão de uma inovação podem ser estudadas de diversas maneiras. No trabalho de (ABRAHAMSON; ROSENKOPF, 1997) o autor busca encontrar os limiares que permitem a rápida difusão de uma inovação, comparando um método de análise que não considera as estruturas das redes sociais, com um método que considera tais estruturas. O artigo demonstra então, evidências sólidas de que a estrutura das redes sociais é um fator importante a se considerar quando se estuda a difusão de uma inovação. Deste modo, o estudo das características estruturais da rede social de municípios brasileiros, como índices de centralidade e intermediação, são de extrema importância para responder às questões apresentadas neste artigo.

Mundo pequeno é uma nomenclatura adotada para descrever redes em que qualquer vértice possui uma ligação com qualquer outro vértice, em no máximo aproximadamente seis passos. As redes sociais tendem a possuir características de mundos pequenos, as quais podem influenciar diretamente na difusão de uma inovação. Estas características estão associadas a difusão mais rápida de uma doença contagiosa em uma rede social (WATTS; STROGATZ, 1998). Dessa forma, uma das maneiras de encontrar as influências das características da estrutura de uma rede social, na difusão de uma inovação, sendo esta vista como análoga à difusão de uma doença contagiosa, é verificar se esta rede social é um pequeno mundo. Desse modo, podemos verificar se a rede social de municípios brasileiros

é um pequeno mundo, ou se subconjuntos desta rede social de municípios são pequenos mundos, verificando em seguida se as características de pequeno mundo são relevantes ou não para a difusão mais ou menos rápida do LIRAA nesta rede.

A fonte de uma difusão em uma rede, é definida como o primeiro vértice, ou o primeiro conjunto de vértices, a adotar uma inovação, ou a ser infectado por uma doença contagiosa, ou seja, a ter contato com o fenômeno estudado. Neste sentido, a informação de qual foi, ou é, a fonte de uma difusão, pode ser muito valiosa em um determinado contexto. No entanto, identificar a fonte de uma difusão não é uma tarefa trivial, e exige diversos esforços. Desse modo existem diversas técnicas e ferramentas para identificar a fonte de uma difusão, as quais devem ser empregadas com cuidado (ZEJNILOVIĆ; GOMES; SINOPOLI, 2013). Destarte, é possível estudar as fontes da difusão de uma inovação, ou mesmo simulá-las, para verificar qual seria o melhor local para iniciar tal difusão. Além disso, pode-se verificar os municípios que adotaram tardiamente o LIRAA, buscando responder se uma doença contagiosa como a dengue, seria mais perigosa caso sua fonte fosse proveniente de um município que adotou tardiamente o LIRAA (podendo implicar que há pouca inteligência do governo nestes municípios, ou integração política).

Os municípios brasileiros podem ser modelados como uma rede social, e a difusão do LIRAA pode ser vista como a difusão de uma inovação política. A rede social de municípios brasileiros, e a difusão do LIRAA também podem ser analisados de maneira semelhante às realizadas pelos trabalhos aqui citados. Pode-se estudar as características da rede, investigando pequenos mundos, e calculando o índice de Moran para a difusão do LIRAA, com relação à rede de municípios, além dos diversos parâmetros que podem ter sua correlação investigada com a difusão do LIRAA, podendo ser também simuladas fontes de doenças contagiosas nesta rede ou diversos outros comportamentos, para previsão de certos fenômenos. Assim, por meio destes estudos, poderemos verificar os pontos estratégicos para se iniciar a difusão de uma inovação política na rede social de municípios brasileiros, e identificar os pontos críticos de fragilidade do sistema de inteligência e controle LIRAA do governo federal brasileiro, abrindo espaço para a generalização destes pontos críticos à outros problemas devido às suas características.

2 Metodologia

O estudo da difusão de uma inovação com relação à estrutura de uma rede social, deve ser focado nos estudos das características dessa estrutura. Para ser capaz de enxergar as influências da rede na difusão de uma inovação, devem ser estabelecidas métricas relativas às características estruturais da rede social, assim será possível investigar a influência de cada métrica. Devido ao grande volume de vértices (municípios) presentes na rede de municípios brasileiros, o algoritmo walktrap de (PONS; LATAPY, 2006) será utilizado para identificar as comunidades presentes na rede de municípios, as quais serão analisadas uma em comparação à outra. No entanto, será utilizado o cálculo do índice de Moran para cada ano de difusão do sistema, para investigar quais características estruturais influenciaram mais na difusão da inovação. Desse modo, esperamos classificar as diferentes regiões brasileiras, buscando responder se a estrutura da rede de estradas e rodovias dos municípios brasileiros é suficiente para explicar o comportamento da difusão do LIRAA.

2.1 Dados coletados

Serão utilizados os dados da publicação do ibge (STENNER, 2016), que contém informações acerca das ligações hidroviárias e rodoviárias entre os municípios brasileiros. As ligações entre os municípios serão entendidas como uma rede social, desse modo parâmetros como distância entre cidades, e fluxo de pessoas poderiam ser utilizados para investigar as influências dessa rede sobre a difusão do LIRAA. No entanto, para este experimento, a distância em minutos entre os municípios foi entendida como o parâmetro mais importante a ser investigado com relação ao fluxo de pessoas. Dessa forma, os dados serão manipulados de maneira a construir grafos com as características que mais influenciaram a difusão do LIRAA.

2.2 Sistemas comparados

Dessa maneira serão definidos como sistemas de estudo, as comunidades presentes na rede de municípios brasileiros. Desse modo, poderemos conhecer os subgrupos da rede, para investigar se esses subgrupos se comportam de maneira semelhante ou distinta com relação à difusão do LIRAA. Assim, será possível determinar como, em cada comunidade (sistema), ocorreu a adoção da inovação, quais foram os primeiros municípios a adotar, e quais estruturas uma comunidade deve possuir para facilitar a difusão de uma inovação entre os seus membros. Para isso, será necessária a criação de diversas redes, e a validação destas por meio do índice de Moran. Destarte, espera-se determinar o comportamento da difusão da inovação nas diferentes comunidades, e identificar quais são as influências que a rede possui na difusão de uma inovação.

2.3 Métricas de desempenho

A distância em minutos entre os municípios, indica quanto tempo em média, por meio da rodovia e/ou hidrovia entre os municípios, leva-se para transitar de um município a outro. Estabelecemos como uma hipótese, que quanto maiores forem as distâncias, menos ligados politicamente estarão os municípios e portanto menos um influenciará na escolha do outro de adotar ou não a inovação. No entanto, esta informação isolada não é suficiente para explicar a difusão da inovação, sendo portanto, considerado também o grau de conectividade de cada sistema. Dessa forma, considerando que o grau de um vértice em uma rede indirecionada é o número de arestas que saem dele, o grau médio de cada sistema também será considerado, de modo a verificar a influência na difusão da inovação.

Dessa forma estabelecemos como métricas: A distância em minutos entre os municípios, o grau médio do sistema, e o ponto em que se iniciou a difusão da inovação (se na fronteira da rede, ou no centro). Assim, esperamos responder à todas as hipóteses que foram levantadas neste trabalho. Para investigar a influência dessas métricas na difusão da inovação, iremos utilizar os procedimentos descritos na sessão mais abaixo. Portanto, esperamos mapear como a difusão do LIRAA se comportou no território brasileiro, e até que ponto a estrutura de ligações hidroviárias e rodoviárias é capaz de influenciar este comportamento.

2.4 Metodologia de avaliação

Para realizar as análises será utilizada a modelagem analítica por meio de grafos, utilizando a linguagem de programação R, e os pacotes *igraph* e *netdiffuse*. Estas tecnologias são extremamente poderosas para a análise de dados, possuindo maneiras de obter-se

todas as métricas estabelecidas para o experimento. No entanto, apenas a modelagem analítica não é suficiente para explicar com confiança a influência das hidrovias e rodovias na difusão do LIRAA. Por esse motivo, espera-se que esse estudo seja tomado como base, e complementado por meio da construção de gráficos aleatórios (simulações), com características semelhantes às dos sistemas aqui estudados. Com isso, esperamos produzir uma análise poderosa do problema, porém ainda não completa.

3 Prototipação da modelagem analítica

O índice de Moran será utilizado para medir a correlação (influência) da estrutura da rede de rodovias e hidrovias entre os municípios brasileiros, e a adoção da inovação. O índice de Moran é capaz de indicar se a estrutura da comunidade influencia ou não no processo de adoção da inovação. Assim, definimos o índice de Moran como a saída, as comunidades como a carga de trabalho, e as métricas já explicitadas como os fatores que serão analisados (cuja a variação será investigada). Dessa forma, iremos construir uma estrutura (rede) para cada comunidade, aonde iremos analisar segundo o grau médio, a distância em minutos e aonde a inovação começou a se alastrar, qual o índice de Moran resultante (ou mais claramente, a correlação espacial) desta comunidade com a difusão da inovação.

3.1 Definição dos fatores

Para a definição dos fatores, por meio da análise exploratória dos dados, foi possível definir dois tipos de ligações por meio das distâncias: Os municípios que interagem fortemente, estão a no máximo 80 minutos de distância, enquanto os que interagem de maneira fraca estão a mais do que 80 minutos de distância um do outro. Essa divisão permitirá investigar a influência das rodovias e hidrovias na difusão da inovação, sendo considerada para cada sistema, as cargas com as ligações entre as duas faixas de distância. Dessa forma será possível determinar como essas ligações influenciaram na difusão do LIRAA. Assim, relacionando esta métrica com as outras que serão aqui citadas, poderemos ver qual a sua relevância para o problema estudado em cada ano de adoção do LIRAA.

Serão consideradas também, os vértices com grau inferior a 3, ou superior a 3. Assim, poderemos investigar como a conectividade de uma comunidade pode influenciar na difusão da inovação por entre os seus membros. Acreditamos que, quanto mais conectada for a comunidade, mais rápido a inovação irá se alastrar por entre os seus membros, pois acreditamos que quanto mais ligações, mais haverá pressão para adotar a inovação, dos outros membros pertencentes à cada sistema (comunidade), além disso, ao analisar isoladamente os graus menores e maiores, iremos verificar indiretamente a importância do ponto inicial da difusão da inovação (se iniciada em pontos de grau maior, ou menor). Dessa forma, iremos investigar por meio dos resultados do índice de Moran, como essa métrica influencia na difusão do LIRAA.

Para analisar qual dos fatores estudados influencia mais, iremos utilizar a técnica 2^2 fatorial. A técnica 2^2 fatorial ajuda a determinar quanto cada fator influencia no resultado, neste caso, o índice de Moran. Acreditamos que tanto a conectividade quanto a distância serão importantes para determinar o índice de Moran, no entanto, imaginamos que a conectividade será mais determinante. Desse modo, por meio da análise do 2^2 fatorial, esperamos ponderar a influência de cada fator, assumindo que os outros fatores, mantidos

constantes, não afetem os resultados, quando analisados conjuntamente com o ponto de início da difusão. Os resultados serão analisados como exemplificado pela tabela abaixo:

	< 3 graus	> 3 graus2
< 120 minutos	Índice de Moran	Índice de Moran
> 120 minutos	Índice de Moran	Índice de Moran

Figura 1 – Tabela 2² fatorial para os fatores escolhidos.

O ponto de início da difusão também deve ser considerado diretamente, este ponto será considerado de acordo com a posição majoritária dos primeiros adeptos da inovação (LIRAA) de cada sistema (comunidade), ou seja, os municípios que adotaram em 2009 o LIRAA. Dessa forma, será possível determinar o início da adoção em cada comunidade, de modo a analisar qual o índice de Moran neste sistema, considerando que os vértices centrais serão considerados aqueles com grau maior que o grau médio da rede e os periféricos, com o grau menor que o grau médio da rede. Assim, poderemos verificar se o índice de Moran possui relação com se a inovação inicia a sua difusão nas fronteiras da rede, ou no centro da rede, o que poderá determinar se a estrutura da rede foi importante para a adoção do LIRAA, e quais são os vértices com as características mais importantes para se iniciar uma difusão (os centrais ou os periféricos). Assim, por meio dessas análises, esperamos responder à todas as hipóteses levantadas neste trabalho.

4 Resultados

Para determinar qual a faixa ideal de distância (menor que, ou maior que) foi utilizada a observação experimental, além dos resultados do índice de Moran para a rede formada por todos os caminhos dois a dois, a partir dos municípios que fazem fronteira entre si (dado obtido no qGis por meio da análise do mapa do Brasil). O índice de Moran foi calculado para diferentes faixas de distância, para verificar qual a influência da distância no mesmo. Assim, por meio da observação do gráfico, e da observação de diferentes valores sucessivos abaixo dos 120 minutos de distância entre dois municípios, chegamos ao valor de 80 minutos, já citado em 2. Observando o gráfico abaixo, podemos verificar que o índice de Moran é mais alto para as redes formadas com distâncias inferiores aos 120 minutos.

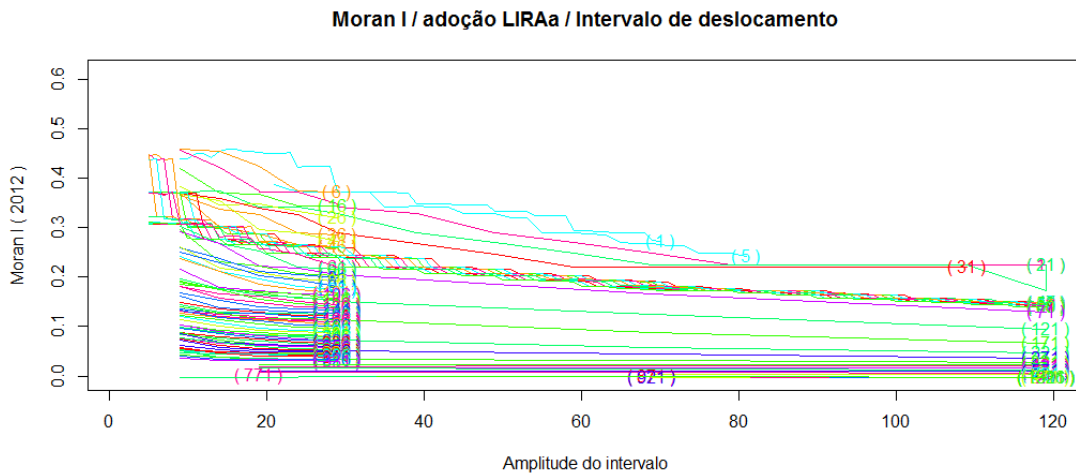


Figura 2 – Gráfico com o índice de Moran para cada faixa de valor - em intervalos de 20 em 20 unidades de minuto.

Desse modo, após decidir a faixa de corte de 80 minutos, foi montada a rede das ligações hidroviárias e rodoviárias entre os municípios brasileiros. Como um primeiro passo, essa rede foi analisada de maneira macro, com relação à adoção da inovação por entre os municípios, para investigar se a sua estrutura possuía alguma influência sobre a adoção do LIRAA. No entanto, para todos os anos, o índice de Moran calculado a partir da rede inteira, retornou o valor 0, com correlação inexistente, indicando que a estrutura da rede não influencia na difusão da inovação__ sendo que a rede também foi testada para verificar se é um pequeno mundo, retornando como menor caminho médio o valor de 3,14 passos, o que indica que a rede é um pequeno mundo. Com isso, as análises mais detalhas acerca da rede foram realizadas, a fim de investigar se características específicas influenciam ou não na difusão da inovação.

4.1 Análise isolada de cada sistema e comparação

Utilizando o algoritmo walktrap foram encontradas 111 comunidades distintas presentes na rede, para os estudos só foram consideradas as comunidades com um número arbitrário de vértices $|V|$ maior do que 50. Cada comunidade, foi entendida como um sistema, sendo esse sistema estudado da seguinte maneira: Foi calculado o índice de Moran em cada comunidade para os subconjuntos de ligações com vértices possuindo mais de 3 graus, e distância maior que 80 minutos, mais de 3 graus e distância menor que 80 minutos, menos de 3 graus e distância maior que 80 minutos e menos de 3 graus e distância menor que 80 minutos, para investigar a influência da distância e da conectividade no índice de Moran. Os valores foram encontrados para cada ano em que a difusão da inovação estava sendo estudada, e parte deles será apresentada nas tabelas logo abaixo. Dessa forma, foi possível notar que os fatores distância em minutos, e conectividade influenciam no valor do índice de Moran, e portanto, na difusão da inovação.

	comunidade	nComunidade	nsubset	distancia	conectividade	morán	ano
1	5	1186	292	> 80	< 3	0.61087597	2014
2	5	1186	292	> 80	< 3	0.57974602	2015
3	5	1186	292	> 80	< 3	0.55144889	2013
4	5	1186	854	< 80	< 3	0.54859926	2014
5	5	1186	854	< 80	< 3	0.52729490	2015
6	5	1186	292	> 80	< 3	0.51329013	2012
7	5	1186	351	< 80	> 3	0.51090827	2014
8	5	1186	292	> 80	< 3	0.50959427	2016
9	5	1186	351	< 80	> 3	0.50530623	2015
10	5	1186	854	< 80	< 3	0.49868907	2016
11	5	1186	854	< 80	< 3	0.49427235	2013
12	5	1186	351	< 80	> 3	0.45424438	2016
13	5	1186	351	< 80	> 3	0.44933721	2013
14	5	1186	854	< 80	< 3	0.43303332	2012
15	5	1186	351	< 80	> 3	0.38936011	2012
16	5	1186	27	> 80	> 3	0.37332744	2015
17	5	1186	27	> 80	> 3	0.36301969	2014

Figura 3 – tabela para o sistema 5. Onde nComunidade é o número de vértices da comunidade, nsubset é o número de vértices do subconjunto selecionado, distancia é a faixa de distância escolhida, conectividade é o grau de seleção para cada vértice, morán é o valor encontrado para o índice de Moran e ano é o ano para o qual o índice foi calculado

	comunidade	nComunidade	nsupset	distancia	conectividade	moran	ano
1	3	971	10	>80	>3	0.46812246	2015
2	3	971	10	>80	>3	0.42675453	2014
3	3	971	938	<80	<3	0.37856566	2015
4	3	971	938	<80	<3	0.37764261	2014
5	3	971	271	>80	<3	0.35480396	2015
6	3	971	938	<80	<3	0.35399555	2013
7	3	971	10	>80	>3	0.35288016	2013
8	3	971	271	>80	<3	0.35122883	2014
9	3	971	271	>80	<3	0.32018603	2013
10	3	971	10	>80	>3	0.31977070	2016
11	3	971	371	<80	>3	0.29124056	2015
12	3	971	371	<80	>3	0.28572268	2014
13	3	971	371	<80	>3	0.27178788	2013
14	3	971	271	>80	<3	0.26668089	2012
15	3	971	938	<80	<3	0.26317092	2012
16	3	971	271	>80	<3	0.21364482	2016
17	3	971	10	>80	>3	0.21118386	2012
18	3	971	938	<80	<3	0.20472783	2016

Figura 4 – tabela para o sistema 3.

	comunidade	nComunidade	nsupset	distancia	conectividade	moran	ano
1	40	51	18	<80	>3	0.349390108	2009
2	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2010
3	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2011
4	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2012
5	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2013
6	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2014
7	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2015
8	40	51	18	<80	>3	0.134386711	2016
9	40	51	42	<80	<3	0.084165192	2011
10	40	51	42	<80	<3	0.069530443	2012
11	40	51	42	<80	<3	0.069530443	2013
12	40	51	42	<80	<3	0.069530443	2014
13	40	51	42	<80	<3	0.069530443	2015
14	40	51	42	<80	<3	0.069530443	2016
15	40	51	12	>80	<3	0.039818646	2011
16	40	51	12	>80	<3	0.039818646	2012
17	40	51	12	>80	<3	0.039818646	2013
18	40	51	12	>80	<3	0.039818646	2014

Figura 5 – tabela para o sistema 40.

	comunidade	nComunidade	nsuset	distancia	conectividade	moran	ano
1	1	351	3	>80	>3	0.687623309	2010
2	1	351	110	<80	>3	0.380993434	2010
3	1	351	110	<80	>3	0.339295873	2011
4	1	351	110	<80	>3	0.298073810	2013
5	1	351	110	<80	>3	0.285341174	2012
6	1	351	287	<80	<3	0.277300043	2010
7	1	351	287	<80	<3	0.273308973	2011
8	1	351	113	>80	<3	0.263320845	2010
9	1	351	110	<80	>3	0.258649942	2015
10	1	351	110	<80	>3	0.257631015	2014
11	1	351	110	<80	>3	0.256285330	2016
12	1	351	287	<80	<3	0.244124433	2013
13	1	351	113	>80	<3	0.240936396	2011
14	1	351	287	<80	<3	0.236855137	2017

Figura 6 – tabela para o sistema 1.

Observando os resultados, podemos perceber que o índice de Moran possui valores moderados e portanto consideráveis, principalmente para os casos em que a distância é maior do que 80 e o grau maior do que 3, e a distância é menor do que 80 e o grau é maior do que 3. Estas são as conformações presentes nos maiores resultados para o índice de Moran, considerando ainda que os outros sistemas apresentaram valores fracos. No entanto, os sistemas 1, 3 e 5 abarcam a grande maioria dos municípios brasileiros, correspondendo provavelmente aos municípios mais integrados entre si no território brasileiro. Dessa forma, podemos dizer que os fatores influenciam no índice de Moran, para os sistemas de maior porte, e aparentemente, não influenciam no índice do Moran, para os sistemas de menor porte.

Assim, foi realizada a análise da relevância de cada fator, por meio da análise ²² fatorial, sendo considerada apenas quando o índice de Moran possuía em pelo menos um dos valores de cada ano, um valor superior a 0.30 (já podendo ser considerada uma correlação moderada). Com tal análise, foi possível determinar a influência no índice de Moran de cada um dos fatores, e da relação entre os fatores. Porém, não é possível atribuir total confiança a esta análise, pois como já foi citado, estamos considerando que todos os outros fatores mantidos constantes, não afetarão os resultados. Não obstante, foi possível perceber que tanto os dois fatores, quanto a sua relação, são importantes para determinar o índice de Moran, como demonstrado na tabela abaixo.

	comunidade	nComunidade	ano	vGraus	vDistancia	VRelacao
1	1	351	2009	0.388556051	0.44131858	0.170125369
2	1	351	2010	0.596684800	0.18330867	0.220006527
3	1	351	2011	0.023772866	0.63406085	0.342166285
4	1	351	2012	0.094886589	0.56875184	0.336361576
5	1	351	2013	0.081918215	0.59312524	0.324956546
6	1	351	2014	0.152133602	0.50461622	0.343250176
7	1	351	2015	0.134007206	0.50873023	0.357262563
8	1	351	2016	0.145712829	0.51580073	0.338486438
9	1	351	2017	0.708680148	0.15830121	0.133018639
10	3	971	2009	0.402358210	0.26804775	0.329594044
11	3	971	2010	0.172894814	0.55312354	0.273981644
12	3	971	2011	0.502265259	0.05277842	0.444956322
13	3	971	2012	0.966249169	0.02396879	0.009782042
14	3	971	2013	0.137039422	0.12496929	0.737991292
15	3	971	2014	0.006485125	0.31698839	0.676526481
16	3	971	2015	0.010494937	0.36418216	0.625322906
17	3	971	2016	0.018180162	0.53801210	0.443807739
18	3	971	2017	0.021800812	0.85637202	0.121827171
19	5	1186	2009	0.020441784	0.19523830	0.784319920

Figura 7 – tabela para a relevância dos fatores distância e conectividade. Onde comunidade indica o sistema sob estudo, nComunidade a quantidade de vértices presente no sistema, ano o ano em que o impacto no índice de Moran está sendo estudado, vGraus a relevância da conectividade, vDistancia a relevância da distância, e VRelacao a relevância da relação entre a distância e a conectividade.

4.2 Resultados para o índice de Moran de acordo com o ponto de início da difusão

O início da difusão na periferia foi entendido como quando a mediana dos graus dos primeiros vértices a adotar a inovação era inferior ao grau médio da rede, e no centro, caso contrário. Dessa forma, o tipo de início da difusão foi comparado ao índice de Moran, para verificar se haveria alguma relação com o seu valor para um determinado sistema. Entretanto, não foi considerado que, uma medida de correlação seria suficiente para resumir os resultados, devido à grande quantidade de fatores envolvidos. Ainda assim, encontramos que os maiores índices de Moran eram provenientes de difusões que começavam no centro da rede, como pode ser observado na tabela logo abaixo.

↕	comunidade ↕	nComunidade ↕	início ↕	moran ▼	ano ↕
126	5	1186	centro	0.544686535	2014
125	5	1186	centro	0.522351069	2015
124	5	1186	centro	0.488808749	2013
123	5	1186	centro	0.469695238	2016
122	5	1186	centro	0.436024820	2012
121	3	971	centro	0.351427614	2015
120	3	971	centro	0.350410002	2014
119	3	971	centro	0.327227087	2013
118	11	137	periferia	0.288006654	2013
117	1	351	centro	0.278085115	2010
116	40	51	centro	0.265613171	2009
115	1	351	centro	0.260469737	2011
114	3	971	centro	0.255887050	2012
113	11	137	periferia	0.254835223	2014
112	2	511	centro	0.254597170	2016
111	11	137	periferia	0.248091827	2015
110	2	511	centro	0.244933972	2013
109	1	351	centro	0.231587545	2013
106	9	88	periferia	0.231549502	2013

Figura 8 – tabela relacionando o índice de Moran ao ponto de início da adoção da inovação. Onde comunidade é o sistema, nComunidade é a quantidade de vértices presentes no sistema, início é o ponto de início da difusão do LIRAA, moran é o valor encontrado para o índice de Moran e ano é o ano para o qual o índice de moran foi calculado.

5 Análise dos resultados

Os sistemas estudados variaram em muito em seus resultados, quanto aos fatores alterados. Pode-se inferir que este resultado explicita o fato de que a rede de rodovias e hidrovias só influencia a difusão da inovação nos sistemas que estão muito conectados, sendo que, nos sistemas que não estão muito conectados, a distância não parece influenciar muito na difusão do LIRAA. No entanto, não podemos chegar a conclusões definitivas sem o estudo detalhado acerca dos sistemas mais desconectados. Assim, para confirmar os resultados aqui encontrados, ressaltamos a importância de se investigar em estudos futuros

os sistemas que não possuem alto grau de conectividade.

A distância em minutos entre dois municípios, e a conectividade são importantes para explicar a influência das hidrovias e rodovias entre os municípios para a adoção de uma inovação. Os resultados encontrados apontam que, para municípios distantes entre si, quanto mais conectados estiverem, mais estes irão influenciar um ao outro na adoção de uma inovação, os valores de acima de 80 minutos de distância e 3 graus para os vértices são especificamente importantes para a rede de municípios brasileiros, pois indicam que municípios com essas características influenciam muito um ao outro com relação a adoção de uma inovação, o índice de Moran para todos os vértices que possuem essa característica foi calculado, e diferente do resultado para a rede inteira, oscilou entre um valor entre fraco e moderado de 0,3, indicando uma correlação. Imaginamos que esse resultado seja explicado pelo fato de que, para haver alta conectividade entre municípios distantes, estes devem ser altamente integrados economicamente e/ou politicamente, e portanto, irão influenciar mais um ao outro.

Além disso, quando a conectividade é alta, e a distância entre os municípios é baixa, foi confirmado que os municípios tendem a influenciar um ao outro com relação a adoção do LIRAA, o índice de Moran para todos os vértices que possuem essa característica foi calculado, e diferente do resultado para a rede inteira, oscilou entre um valor moderado de 0,4, indicando uma correlação. Nesse sentido, e também com relação aos municípios com distâncias maiores entre si, se a inovação começar no centro da rede, a estrutura da rede tenderá a influenciar mais na difusão da inovação, do que se a mesma começar na periferia. Estes resultados demonstram não só a influência dos dois fatores isoladamente, mas a influência de sua relação na adoção do LIRAA. Esse resultado é apoiado pelos resultados obtidos pela técnica do 2^2 fatorial evidenciados anteriormente.

Assim podemos analisar cada uma das hipóteses levantadas neste trabalho na introdução (1) a difusão do LIRAA se caracterizou de maneira análoga à difusão de uma doença contagiosa, (2) a rede de municípios brasileiros é um pequeno mundo, (3) a estrutura das redes rodoviárias e hidroviárias dos municípios brasileiros influencia diretamente na difusão de uma inovação, (4) é possível encontrar pontos estratégicos para a engenharia social relativa à difusão de uma inovação e (5) os municípios isolados nas malhas rodoviárias e hidroviárias, podem ser vistos como isolados na rede social de municípios e portanto são pontos críticos de fragilidade em um sistema de inteligência e controle de doenças como o LIRAA. Ao receber resultados de correlação consideráveis, confirmamos as hipóteses (1) e (3), ao identificar os pontos mais influentes na difusão da inovação confirmamos a hipótese (4), enquanto que as hipóteses (2) e (5) precisam ser melhor discutidas. Dessa forma, ao difundir uma inovação deve-se concentrar nos municípios centrais, participantes de redes conectadas de municípios próximos, também dando importância as redes conectadas com maior distância entre os municípios.

Podemos então dizer que, a hipótese (1) é confirmada devido ao fato de que as doenças contagiosas se espalham segundo a estrutura da rede social, o que foi confirmado, a hipótese (2) recebeu indícios de que é verdadeira, ao realizar-se a análise da média entre os menores caminhos, e a hipótese (5) se confirma por não conseguirmos relacionar a estrutura da rede de municípios isolados com a adoção da inovação. Nesse sentido, a rede ser um pequeno mundo nos dá indícios de sua alta conectividade. No entanto, essa alta conectividade não é suficiente para explicar a difusão da inovação por si só, pois como visto, o índice de Moran não é relevante quando calculado para a rede como um todo. Assim, todos os resultados encontrados demonstram como a estrutura da rede influencia

na adoção da inovação, e ainda assim, nos dão poucas informações acerca dos municípios isolados, os quais precisam ser melhor estudados.

Considerações finais

Os estudos apresentaram resultados acima do esperado, permitindo o mapeamento da influencia da estrutura da rede de hidrovias e rodovias na adoção da inovação LIRAA. Fomos capazes de definir como estratégicos os vértices que possuem grande conectividade e grande distância, são centrais na rede, ou que possuem muitas relações com municípios próximos (chegando à valores específicos para a rede de municípios brasileira: mais de 80 minutos e mais de 3 graus, ou menos de 80 minutos e mais de 3 graus). No entanto, ainda não foi possível estudar os municípios isolados da rede, e os resultados deste experimento precisam ser validados por outras pesquisas. Dessa forma, esperamos que este trabalho seja base para muitos outros, afim de investigar os municípios mais isolados, e as fragilidades que isso traz ao sistema, como também confirmar e expandir os resultados aqui obtidos.

Referências

ABRAHAMSON, E.; ROSENKOPF, L. Social network effects on the extent of innovation diffusion: A computer simulation. *Organization science*, INFORMS, v. 8, n. 3, p. 289–309, 1997. Citado na página 3.

GETIS, A.; ORD, J. K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. In: *Perspectives on Spatial Data Analysis*. [S.l.]: Springer, 2010. p. 127–145. Citado na página 3.

MINTRON, M.; VERGARI, S. Policy networks and innovation diffusion: The case of state education reforms. *The Journal of Politics*, v. 60, n. 1, p. 126–148, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 3.

NOOY, W. D.; MRVAR, A.; BATAGELJ, V. *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2011. Citado na página 2.

PONS, P.; LATAPY, M. Computing communities in large networks using random walks. *J. Graph Algorithms Appl.*, v. 10, n. 2, p. 191–218, 2006. Citado na página 4.

STENNER, C. Ligações rodoviárias e hidroviárias. *IBGE cidades*, 2016. Citado na página 5.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *nature*, Nature Publishing Group, v. 393, n. 6684, p. 440, 1998. Citado na página 3.

ZEJNILOVIĆ, S.; GOMES, J.; SINOPOLI, B. Network observability and localization of the source of diffusion based on a subset of nodes. In: IEEE. *2013 51st Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*. [S.l.], 2013. p. 847–852. Citado na página 4.