

Mudanças espaciais na produção agropecuária da região do MATOPIBA, Brasil: uma aplicação da análise de redes

Milena Yumi Ramos¹

Fernando Luís Garagorry²

RESUMO

Este artigo examina a distribuição espacial e a dinâmica da produção agropecuária da região do MATOPIBA, Brasil, usando técnicas de natureza visual e quantitativa. Utilizou-se a análise de redes, para modelar a estrutura produtiva da região, para anos selecionados do período de 1990 a 2012, e o conceito matemático de distância para medir a intensidade das mudanças interanuais. Consideraram-se 65 produtos cuja produção está estabelecida em ao menos uma das 31 microrregiões componentes. Os resultados indicam a coexistência de distintos perfis produtivos na região que foram se diferenciando ao longo do período analisado, embora tenha persistido um núcleo relativamente estável de microrregiões que compartilham a produção de itens dos domínios da pecuária e dos produtos da pecuária. Esses resultados mostram, também, o uso da modelagem com redes como técnica analítica válida nos estudos regionais sobre agricultura.

Termos para indexação: agricultura, análise espaço-temporal, teoria de grafos.

Spatial changes in the agricultural production of the MATOPIBA region, Brazil: an application of the network analysis

Ideias centrais

- A região do MATOPIBA é analisada a partir da dos padrões produtivos e da dinâmica espaço-temporal da sua produção agropecuária
- O trabalho lida com múltiplos produtos com presença estabelecida na estrutura produtiva da região
- Utiliza-se amplamente da análise de redes como técnica auxiliar importante para o estudo quantitativo da agricultura, conforme ilustrado naquela região

ABSTRACT

This article examines the spatial distribution and the dynamics of agriculture production in the MATOPIBA region, Brazil, using visual and quantitative techniques. We used the network analysis to model the region's productive structure for selected years from the period from 1990 to 2012, and the mathematical concept of distance to measure the intensity of interannual changes. We considered 65 products with established incidence in at least one of the 31 constituent microregions. The results pointed out the coexistence of distinct productive profiles in the region which have been differentiating during the analyzed period, although a relatively stable core of microregions that share the production of livestock and livestock products has persisted. These results also show the use of network modeling as a valid analytical technique in the regional studies of agriculture.

Index terms: agriculture, spatio-temporal analysis, graph theory.

Recebido em
23/07/2019

Aprovado em
09/08/2019

Publicado em
25/10/2019



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

¹ Engenheira de alimentos (Unicamp, 2001), mestre em Administração (USP, 2005), doutora em Política Científica e Tecnológica (Unicamp, 2014), pesquisadora da Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas (SIRE) da Embrapa, Brasília, DF. E-mail: milena.ramos@embrapa.br.

² Mestre em Estatística Matemática (Universidad de Chile, 1963) e em Pesquisa Operacional (Cornell University, 1971), doutor em Pesquisa Operacional (Cornell University, 1971), pesquisador da Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas (SIRE) da Embrapa, Brasília, DF. E-mail: fernando.garagorry@embrapa.br.

INTRODUÇÃO

A modernização e a expansão recente da agricultura no Brasil são reconhecidas e fartamente evidenciadas pelo crescimento relativo significativo da produção, da produtividade, das exportações e da participação do agronegócio na composição do Produto Interno Bruto (PIB) do país (Gasques et al., 2004; OECD, 2015; Maranhão & Vieira Filho, 2017). No entanto, o dinamismo produtivo do setor não está homoganeamente distribuído no território nacional; ao contrário, tem ocorrido de forma regionalmente desigual, afetado por fatores naturais e intervenções humanas contextualizados com o local. Dessa forma, caracterizar os diferentes padrões produtivos da agricultura e sua dinâmica espaço-temporal constitui-se como elemento central para a compreensão do desenvolvimento regional brasileiro.

Buscando captar evidentes desigualdades e mudanças na distribuição espacial e dinâmica da produção agropecuária brasileira, escolheu-se como foco geográfico uma região considerada de fronteira agrícola que tem recebido grande atenção da parte de produtores, pesquisadores e gestores públicos: o MATOPIBA. Situada entre as macrorregiões Norte e Nordeste do Brasil, inclusive todo o território de Tocantins e partes dos territórios do Maranhão, do Piauí e da Bahia, a região engloba uma área de aproximadamente 73 milhões de hectares onde predomina o bioma Cerrado.

É comum que o assunto seja tratado, nos estudos quantitativos, em termos de produtos individuais, e são mais raros aqueles que lidam com agregados (por exemplo, grãos, hortaliças, tubérculos, raízes etc.) ou múltiplos produtos simultaneamente presentes na estrutura produtiva da região. No trabalho aqui apresentado considerou-se esta última situação, denominada multiprodutos, tendo-se aplicado a análise de redes para modelar a estrutura e medir a intensidade das mudanças produtivas na agricultura do MATOPIBA, no período de 1990 a 2012. Consideraram-se 65 produtos, distribuídos em seis domínios da atividade agropecuária (lavouras permanentes, lavouras temporárias, pecuária, produtos da pecuária, silvicultura e extração vegetal), com incidência estabelecida em ao menos uma das 31 microrregiões componentes.

O artigo está organizado em duas grandes seções, além desta introdução e da síntese e considerações finais. Os aspectos metodológicos detalham os conceitos e procedimentos utilizados e incluem: a delimitação espaço-temporal; a descrição dos dados originais e procedimentos de preparação para análise; o esclarecimento das situações multiprodutos; e a especificação das técnicas quantitativas aplicadas, que combinam teoria de grafos, otimização e distância matemática. Segue-se a exposição e análise dos resultados, com a descrição da construção, análise visual e quantitativa das redes agrícolas no MATOPIBA, a identificação e evolução do subgrafo de máxima densidade e a dinâmica das redes ao longo dos anos.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Esta seção detalha os procedimentos metodológicos empregados neste estudo, a saber: a seleção e a preparação dos dados; os conceitos e as técnicas quantitativas utilizadas na construção e a análise das redes agrícolas.

Delimitação espaço-temporal

Adotou-se a delimitação territorial proposta pelo Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (Gite) da Embrapa, conforme Miranda et al. (2014) (Figura 1). Nela, cada microrregião está identificada com um código, atribuído pelo IBGE, que é utilizado nas análises apresentadas a partir da seção seguinte. Os correspondentes nomes e unidades da federação estão apresentados na seção **Situações de multiprodutos** (Tabela 2).

A região apresentou rápido crescimento da produção agropecuária nas últimas décadas, o que a tornou conhecida como a mais nova fronteira agrícola do país (Carneiro et al., 2006; Buainain &

Garcia, 2015). Em estudo intrarregional, Garagorry et al. (2014, 2015) constataram: (i) aumento da concentração espacial da produção e existência de alguns polos de desenvolvimento agrícola, em que altos volumes de produção de diversos produtos foram registrados em certas microrregiões (Barreiras, Santa Maria da Vitória e Bom Jesus da Lapa, BA; e Médio Mearim, Alto Mearim e Grajaú, MA); (ii) aumento da especialização de algumas microrregiões relativamente à média do MATOPIBA (Gerais de Balsas, MA; Rio Formoso, TO; e Cotegipe, BA); e (iii) efeitos geográficos positivos no comportamento da produção intrarregional (Gerais de Balsas, MA; Jalapão, TO; Alto Parnaíba Piauiense, PI; e Barreiras, BA).

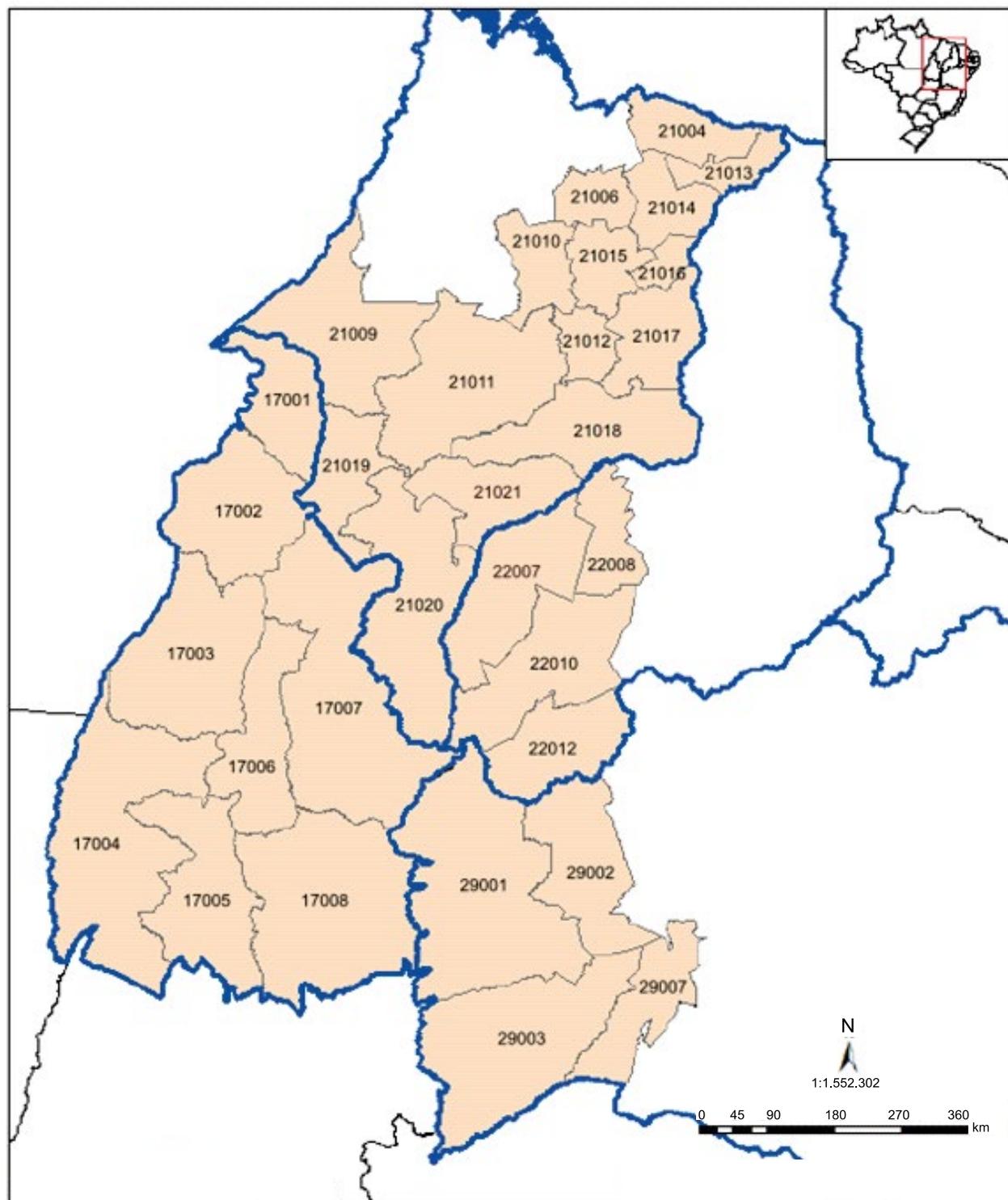


Figura 1. Delimitação territorial do MATOPIBA.

Fonte: adaptado de Miranda et al. (2014).

Em termos temporais, considerou-se o período de 1990 a 2012. Determinaram-se as médias móveis de três anos, com o intuito de suavizar a variabilidade interanual que se observou nos dados originais. Portanto, trabalhou-se com as médias trienais de 1991 a 2011. As situações verificadas em 1991, 2001 e 2011 foram detalhadas e comparadas.

Dados

Os dados originais, foram extraídos do IBGE (2019), das séries Produção Agrícola Municipal (PAM), Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), Produção da Silvicultura e Produção da Extração Vegetal. Após uma primeira filtragem, que permitiu identificar cerca de 75 produtos na região, resolveu-se trabalhar com 65 deles, porque os demais tinham registro estatístico em poucos anos e poucas microrregiões, de modo que era difícil associá-los a atividades razoavelmente estabelecidas.

Os produtos, agrupados nos respectivos domínios, são:

- lavouras permanentes: abacate, banana, borracha, café, castanha de caju, coco-da-baía, goiaba, laranja, limão, mamão, manga, maracujá, pimenta-do-reino, tangerina, urucu e uva.
- lavouras temporárias: abacaxi, algodão herbáceo, alho, amendoim, arroz, batata-doce, cana-de-açúcar, cebola, fava, feijão, fumo, mamona, mandioca, melancia, milho, soja, sorgo e tomate.
- pecuária: asininos, bovinos, bubalinos, caprinos, codornas, coelhos, equinos, galinhas, galos e frangos etc., muares, ovinos e suínos.
- produtos da pecuária: leite de vaca, mel de abelha, ovos de codorna e ovos de galinha.
- silvicultura: carvão e lenha.
- extração vegetal: acaí, angico, babaçu, buriti, carnaúba (cera), carnaúba (pó), carvão, jaborandi, lenha, madeira em tora, pequi, tucum e umbu.

Convém mencionar que, em certos anos, alguns produtos não apareceram em nenhuma microrregião do MATOPIBA, mesmo tendo-se considerado o procedimento para determinar as médias móveis. Também, em alguns anos para os quais havia dados correspondentes aos 65 produtos, muitos deles não apareceram nas 31 microrregiões.

Quartis, quartéis e grupos

Para captar aspectos estruturais da distribuição espacial e da dinâmica agrícola, seguindo abordagem preconizada por Garagorry & Chaib Filho (2008), as microrregiões foram inicialmente agrupadas para cada produto, em cada ano analisado, em quartéis de volume (aqui, refere-se ao efetivo, no caso dos animais, e à quantidade produzida, nos demais produtos). Diferentemente do algoritmo mais usado, que busca balanceamento da massa (no caso, o volume) entre os quartéis, o algoritmo desses autores garante que eles sejam assim formados: as microrregiões em Q4 reúnem, pelo menos, 25% (compõem o grupo denominado G25); adicionando-se as do Q3, reúne-se pelo menos 50% (nesse caso, forma-se o grupo G50); mais as do Q2, perfaz-se pelo menos 75% (G75); adicionando-se as do Q1 que, em geral, acumulam algo menos de 25%, chega-se aos 100% (G100). Em outras palavras, o algoritmo aplicado garante que foram identificados conjuntos de microrregiões que, em número mínimo, foram suficientes para reunir ao menos 25, 50, 75 ou 100% do total. A distribuição das microrregiões nos quartéis e grupos de volume está ilustrada na Tabela 1 para três produtos, em três anos.

Por conveniência, neste trabalho, designa-se também como G25 o conjunto das microrregiões formado pela união dos G25 dos diferentes produtos envolvidos.

Tabela 1. Exemplos de distribuição das microrregiões do MATOPIBA nos quartéis de quantidade produzida de produtos selecionados, 1991, 2001 e 2011.

Grupo	G100				Total
	G75			G25	
	G50		Q4		
	Q1	Q2			
Quartel	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
Milho					
1991	19	7	4	1	31
2001	24	5	1	1	31
2011	26	3	1	1	31
Soja					
1991	11	1	0	1	13
2001	18	2	0	1	21
2011	21	3	1	1	26
Abacate					
1991	5	2	2	1	10
2001	6	2	1	2	11
2011	0	0	0	1	1

Nota: cálculos dos autores.

Fonte: IBGE (2019).

Situações de multiprodutos

Garagorry et al. (2014) fizeram o estudo individual da concentração espacial e dinâmica de cada um dos 65 produtos na região do MATOPIBA (os mesmos considerados neste trabalho). Esses autores verificaram, considerando cada microrregião, que a existência de diferentes composições da produção agropecuária, quanto aos diversos produtos presentes, configurava situações que chamaram de **multiprodutos**. Verificaram, ainda, que tais situações mudavam no tempo. As situações de multiprodutos identificadas para o G25, nos anos de 1991, 2001 e 2011, estão resumidas na Tabela 2.

Implícitas nos números da Tabela 2 estão as ocorrências abaixo descritas.

- Houve produtos presentes e outros ausentes em um ano.
- Ao longo do tempo, os produtos presentes e ausentes do G25 mudaram: uma microrregião que antes não estava no G25 de um produto passou a integrar esse grupo, certo tempo depois; e microrregiões que antes se destacavam no G25 de certos produtos deixaram de produzi-los ou, simplesmente, caíram para um quartel inferior.
- Houve produtos cuja presença persistiu no G25 ao longo do tempo, em determinadas microrregiões.

O tratamento quantitativo dessas ocorrências não é trivial. Em particular, na presença de multiprodutos, os métodos tradicionais de estatística multivariada apresentam dois tipos de restrições: a) dificuldade para se interpretar os resultados; e b) dificuldade de aplicação em estudos de dinâmica da agricultura, em que é necessário comparar as situações em diferentes momentos.

Adicionalmente, métodos típicos de estudos regionais, tais como a análise estrutural-diferencial e o cálculo de coeficientes de especialização, testados em outros trabalhos (Garagorry et al., 2015), funcionaram satisfatoriamente no estudo de certos agregados de produtos, como no caso dos grãos, mas eles não seriam adequados a situações nas quais, por exemplo, aparecem simultaneamente efetivos pecuários e produtos da lavoura.

Esse é precisamente o tipo de situação encontrada no MATOPIBA, que leva à necessidade de se aplicar outros métodos para analisar a estrutura e dinâmica da agricultura na presença de multiprodutos na região. Neste estudo, apresentam-se resultados da modelagem com grafos ou redes, segundo uma aplicação não tradicional, influenciada pela análise de redes sociais (ARS) e combinada com técnicas de otimização. Os conceitos e procedimentos adotados estão descritos a seguir.

Tabela 2. Número de produtos para os quais a microrregião figurou no G25, nos anos de 1991, 2001 e 2011.

UF	Código	Microrregião	N.º de produtos no G25		
			1991	2001	2011
TO	17001	Bico do Papagaio	2	0	2
TO	17002	Araguaína	5	6	8
TO	17003	Miracema do Tocantins	4	3	4
TO	17004	Rio Formoso	4	4	2
TO	17005	Gurupi	1	2	1
TO	17006	Porto Nacional	1	0	1
TO	17007	Jalapão	0	0	0
TO	17008	Dianópolis	2	1	1
MA	21004	Lençóis Maranhenses	3	3	3
MA	21006	Itapecuru Mirim	0	2	3
MA	21009	Imperatriz	10	8	10
MA	21010	Médio Mearim	9	6	4
MA	21011	Alto Mearim e Grajaú	8	6	3
MA	21012	Presidente Dutra	0	1	3
MA	21013	Baixo Parnaíba Maranhense	4	3	5
MA	21014	Chapadinha	3	2	3
MA	21015	Codó	2	0	0
MA	21016	Coelho Neto	1	0	0
MA	21017	Caxias	4	3	1
MA	21018	Chapadas do Alto Itapecuru	3	4	1
MA	21019	Porto Franco	2	2	0
MA	21020	Gerais de Balsas	0	0	0
MA	21021	Chapadas das Mangabeiras	0	1	1
PI	22007	Alto Parnaíba Piauiense	1	0	0
PI	22008	Bertolínia	0	0	0
PI	22010	Alto Médio Gurguéia	1	3	1
PI	22012	Chapadas do Extremo Sul Piauiense	1	1	1
BA	29001	Barreiras	12	21	21
BA	29002	Cotegipe	5	3	2
BA	29003	Santa Maria da Vitória	3	6	5
BA	29007	Bom Jesus da Lapa	5	6	6

Nota: cálculos dos autores.

Fonte: IBGE (2019).

Grafos ou redes

Os grafos são objetos desenvolvidos inicialmente na matemática, para modelar (representar) as mais diversas situações. Na formulação mais comum e básica, um grafo é um par ordenado $(G = (V, A))$ formado por um conjunto não vazio V , de vértices, nós ou pontos, e um conjunto A de arestas, arcos ou linhas. Em princípio, entende-se que as arestas ligam dois vértices diferentes, de modo que elas aparecem como um par de vértices, isto é, $x = \{v_1, v_2\}$, em que x é uma aresta que liga os vértices v_1 e v_2 . Isso corresponde a uma aresta não orientada, que é do tipo usado no presente estudo.

Algumas generalizações foram necessárias para o trabalho aqui descrito. Em primeiro lugar, aceita-se que dois vértices diferentes possam ser ligados por mais de uma aresta, dando lugar ao que tem sido chamado de multigrafo. Em segundo lugar, aceita-se que uma aresta possa ir de um vértice até ele mesmo (isto é, os dois vértices poderiam coincidir), dando lugar a um laço (ou *loop*). O caso com múltiplas arestas entre dois vértices e *loops* tem sido chamado de pseudografo. Alguns autores limitam o conceito de grafo aos casos sem múltiplas arestas entre dois vértices e sem *loops* (como, por exemplo, Harary, 1969). Mas, no presente trabalho, usa-se o termo grafo no sentido mais geral, inclusive multigrafos e pseudografos.

Além de vértices e arestas, outros elementos podem ser associados a um grafo. É comum que se incluam números, para completar a descrição da situação representada com o grafo. Esses números podem estar associados a vértices ou a arestas; o segundo caso é mais frequente. Por exemplo, capacidade associada a tubulações ou estradas, custo unitário de transporte entre duas cidades, tempo previsto para execução de uma atividade etc. Nesses casos de grafos ponderados, é comum que se designe o conjunto do grafo com os elementos adicionais como sendo uma **rede**. No caso aqui apresentado, não foram considerados elementos adicionais, e os termos grafo e rede foram usados indistintamente (Figura 2).

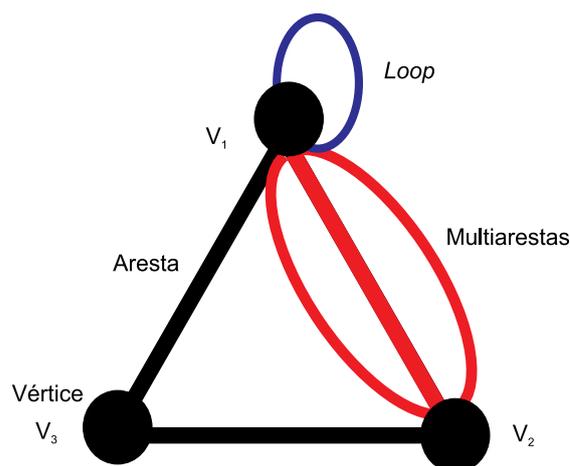


Figura 2. Grafo com multiarestas e loops.

Como referências gerais sobre a teoria de grafos, podem-se mencionar os livros de Berge (1963), Harary (1969) e Boaventura Netto (1979). Nas aplicações mais tradicionais da teoria de grafos, que incluem, por exemplo, circuitos elétricos, redes de transporte, controle de projetos e localização de instalações, as arestas representam predominantemente ligações de natureza física entre dois vértices. Uma compilação de aplicações desse tipo foi publicada por Wilson & Beineke (1979).

A partir de 1990, emergiu e tornou-se muito prolífica uma nova área de aplicação no campo da sociologia. Trata-se da atualmente conhecida **análise de redes sociais** (ARS), dedicada ao estudo empírico-quantitativo de redes que envolvem atores sociais (individuais ou coletivos, representados como vértices) e os relacionamentos entre eles (representados como arestas). Um dos aspectos distintivos da ARS é que ela aceita muitas possibilidades, tangíveis e intangíveis, para definir relacionamentos entre atores (Newman, 2010; Wasserman & Faust, 1994). A definição particular que se escolhe usar depende da questão que se quer analisar. Essa flexibilidade na modelagem de redes sociais permite tratar múltiplos problemas substantivos de natureza social, política, econômica, científico-tecnológica, entre outros.

A natureza distinta dos problemas tratados pela ARS tem estimulado a introdução de novos conceitos e técnicas de redes como extensões daqueles tradicionais na teoria de grafos. Acompanhando o desenvolvimento teórico-metodológico em ARS, um rápido desenvolvimento tecnológico em computação tem ocorrido, na forma de algoritmos, para o cálculo de indicadores e para a visualização de redes, incorporados a softwares específicos, dos quais dois foram particularmente explorados na preparação do trabalho aqui apresentado. Alguns desses softwares permitem expandir as ideias usuais sobre vértices e arestas, como meros pontos e linhas, mediante a alteração na espessura das arestas (usada para representar multiarestas ou o peso da relação), ou mudanças em atributos dos vértices, tais como o diâmetro (indicando alguma forma de importância relativa), cor do miolo e cor da borda (que podem codificar atributos notáveis dos atores e relacionamentos).

Na modelagem de redes sociais, múltiplos relacionamentos entre pares de atores podem ser pensados simultaneamente, o que torna possível a descoberta de grupos e de modos de interações em densas malhas. Tais características são desejáveis na escolha de um referencial analítico para estudar a organização e dinâmica regional da produção agropecuária, em que múltiplos produtos, com presença e distribuição variável no território e no tempo, precisam ser levados em conta simultaneamente.

Em síntese, diversas das noções conceituais, métodos, softwares e desafios típicos da ARS parecem adequados para tratar situações encontradas no estudo de mudanças na agricultura, tema em que se insere este estudo. Por isso, optou-se por usar a modelagem com grafos, tendo-se adotado uma definição de aresta inspirada na ARS (ou seja, representando-se ligações de natureza imaterial ou virtual entre vértices), para construir e estudar redes agrícolas.

Subgrafos de máxima densidade

Além de propriedades globais (referentes a todo o grafo) e locais (referentes a cada vértice do grafo), os grafos geralmente possuem partes que contribuem distintamente para suas propriedades globais. Tais partes, ou subgrafos, são constituídos por um subconjunto de vértices e arestas que se relacionam entre si de modo particular considerando todo o grafo.

Uma das propriedades de interesse para a aplicação apresentada neste estudo é a densidade associada a um subgrafo. Um subgrafo denso é formado por vértices que se ligam entre si por um número de arestas maior que em outras partes do grafo, isto é, estão mais fortemente inter-relacionados. O significado disso para o sistema modelado depende da definição de aresta adotada, mas, certamente, ele tem alguma importância especial dentro do funcionamento do sistema modelado com o grafo.

Nas apresentações usuais, em que se consideram grafos sem multiarestas e *loops*, a densidade do grafo tem sido definida como a razão entre o número total de arestas e o número total de vértices (West, 2001). Em particular, a definição de densidade para o total do grafo se aplica sem alterações para um subgrafo. Cabe mencionar que há todo um conjunto de problemas, nessa linha da determinação de subgrafos com máxima densidade, que é objeto de intensa atividade atual na procura de algoritmos adequados para resolvê-los (Goldberg, 1984; Lee et al., 2010; Dense subgraph, 2015; Zhang & Chen, 2015). No presente estudo, em que se trabalhou com multigrafos, foram considerados subgrafos sem a inclusão de *loops* que pudessem estar presentes no grafo total, mas que tinham, pelo menos, um determinado número de vértices.

Em termos algébricos, dado um grafo G , a densidade do subgrafo G_S , no subconjunto de vértices $V_S \subseteq V$, é definida como:

$$D = D(G_S) = \frac{|A_S|}{|V_S|}$$

onde o símbolo $|\cdot|$ representa a cardinalidade (isto é, número de elementos) do respectivo conjunto. Note-se que aqui se contam todas as múltiplas arestas envolvidas.

Considerando-se o objetivo de encontrar um subgrafo mais denso no total do grafo, definiu-se o seguinte problema de otimização:

$$\max_{V_S \subseteq V} D = \max_{V_S \subseteq V} \frac{|A_S|}{|V_S|}, \text{ com } |V_S| \geq 3$$

Ou seja, um subgrafo procurado deve ter, pelo menos, três vértices. Tal problema foi modelado no programa de planilhas eletrônicas Microsoft Excel, a partir das matrizes de incidência (representações numéricas dos grafos) correspondentes aos anos de 1991, 2001 e 2011. Ele consiste em duas etapas integradas:

- Operações preparatórias baseadas na multiplicação de matrizes, de modo a garantir a conexão interna das alternativas viáveis.
- Otimização executada com o suplemento Evolver (Palisade Corporation, 2013), que usa um algoritmo genético para encontrar um subgrafo ótimo.

Dinâmica em grafos

Garagorry & Chaib Filho (2008) propõem um conjunto de métodos e técnicas encadeados, para identificar e medir o movimento da agricultura no território nacional. Para medi-lo, recomendam o uso de diferentes conceitos de distância, segundo uma acepção matemática do termo, aplicada a uma coleção de dados previamente preparada e processada como, por exemplo, distribuições percentuais do volume de produção em um conjunto de microrregiões.

Para os fins do trabalho aqui apresentado, adaptou-se essa metodologia para uso com grafos. Adotou-se como ponto de partida a matriz de ocorrência de produtos agropecuários em cada microrregião do MATOPIBA integrante do G25, nos anos de 1991, 2001 e 2011. A matriz de ocorrência é uma matriz binária, em que a ocorrência de um produto recebe o valor 1, e a ausência de ocorrência, o valor 0. Optou-se por definir matrizes de tamanho fixo 65 x 31 de produtos agropecuários, por microrregiões, para cada ano considerado. Quando a microrregião estava presente no G25 para um produto, a célula recebeu o valor 1; quando a microrregião estava presente em outro quartel que não o Q4 ou, se não havia registro do produto naquele ano, a célula correspondente recebeu o valor 0.

O conceito de distância usado para o cálculo da dinâmica das redes agrícolas geradas foi o de Cantor (ou Jaccard). Dada uma tabela de contingência binária genérica (Tabela 3), define-se a persistência e a distância conforme segue:

$$\text{Persistência (p)} = a/(a+b+c) \text{ e Distância (d)} = 1-p$$

Tabela 3. Tabela de contingência binária genérica

Ano inicial	Ano final		Total
	Presença	Ausência	
Presença	a	b	a+b
Ausência	c	d	c+d
Total	a+c	b+d	a+b+c+d=n

Assim, a distância de Cantor (ou Jaccard) fornece uma medida do quanto a rede agrícola, com base em sua respectiva matriz de ocorrência, mudou de um ano para outro.

Os resultados da aplicação dos conceitos, procedimentos e técnicas descritas nesta seção encontram-se na próxima seção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Redes agrícolas no MATOPIBA

As redes agrícolas apresentadas nesta seção representam, no melhor de nosso conhecimento, aplicação inédita da análise de redes na agricultura. São redes que, embora mantenham conexão com a geografia, são construídas a partir de relações imateriais (presença de um mesmo produto) entre pares de vértices (microrregiões). O procedimento de construção, a análise visual e quantitativa, incluindo-se a determinação dos subgrafos de máxima densidade, e a dinâmica das redes estão detalhados nas subseções que se seguem.

Construção das redes agrícolas

Inicialmente, descreve-se o método geral para a construção das redes (ou grafos) analisadas na sequência. Cada grafo sintetiza a situação verificada em um determinado ano. Nesta seção, analisam-se as situações encontradas nos anos de 1991, 2001 e 2011. Cada microrregião do MATOPIBA foi modelada como um vértice, nó ou ponto de um grafo. As arestas ou linhas, que representam relacionamentos entre vértices, foram determinadas por produtos agropecuários presentes nas microrregiões relacionadas em cada ano considerado. Assim, se um determinado produto esteve presente num par de microrregiões, então uma aresta foi desenhada entre os respectivos vértices.

Em segundo lugar, foi necessário adotar um critério para determinar a presença dos produtos nas microrregiões. Em princípio, para cada um dos 65 produtos selecionados para análise, na fase de preparação dos dados, poderiam ser consideradas todas as microrregiões onde ele foi registrado. Isso significaria trabalhar com o grupo 100, o que implicaria um grafo muito denso, com um número excessivo de arestas, dificultando a visualização de aspectos estruturais. Neste trabalho, limitou-se a análise ao grupo 25 (ver seção **Quartis, quartéis e grupos**). Desse modo, fixado esse grupo no que segue, se um produto esteve presente no G25 em duas microrregiões, uma aresta fez a ligação entre elas.

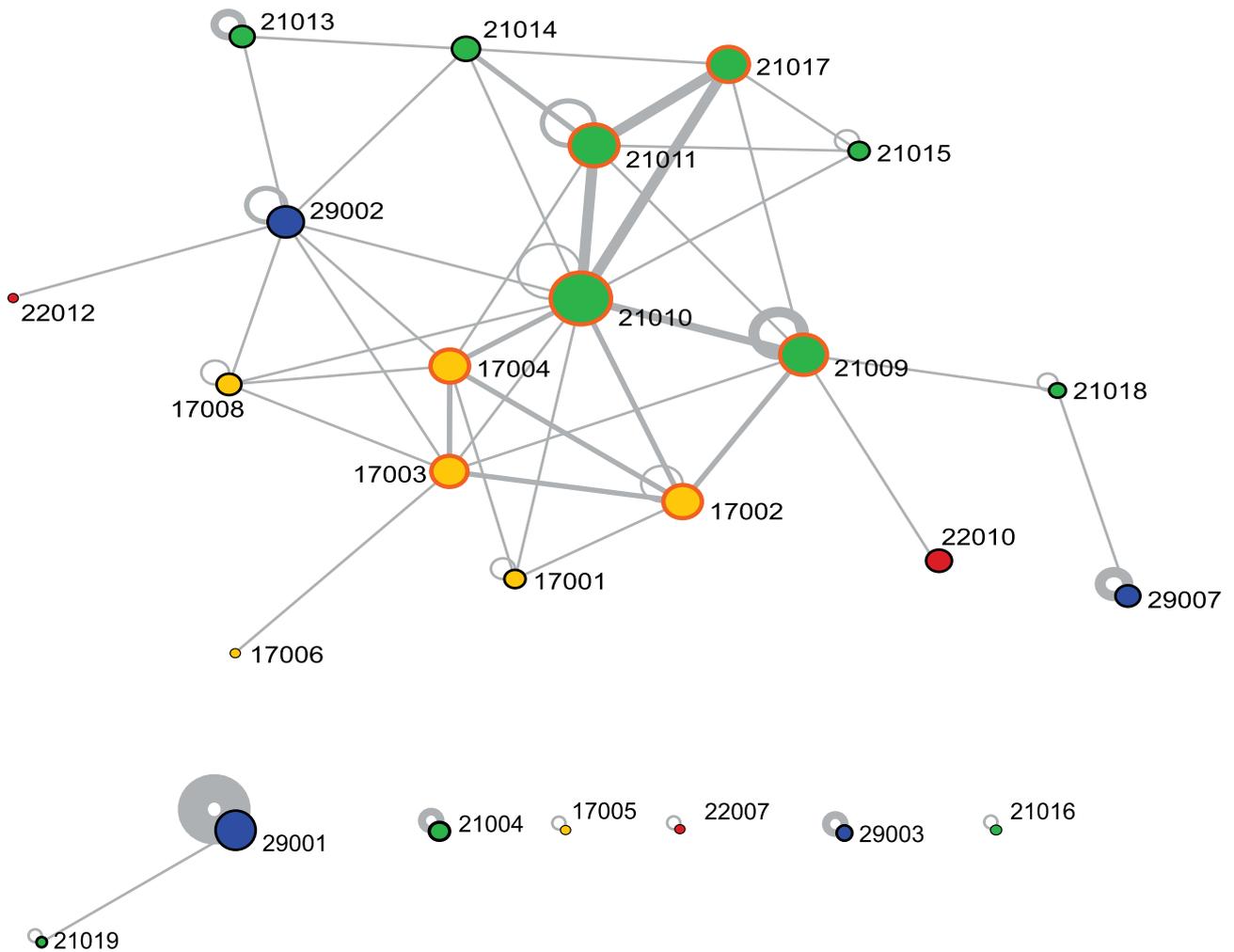
Em terceiro lugar, cabe indicar as diferentes situações observadas na construção dos grafos da agricultura registrada no MATOPIBA:

- Alguns dos 65 produtos não tiveram registro em nenhuma microrregião em um ano, de modo que só apareceram arestas para um número menor de produtos. Cada um dos produtos presentes no ano teve pelo menos uma microrregião no seu G25.
- Como foi indicado acima, se um produto esteve presente em certo par de microrregiões, uma aresta foi desenhada entre os respectivos vértices. No entanto, houve casos de mais de um produto presente no mesmo par de microrregiões, situação que corresponde a um multigrafo. Nos casos considerados, os multigrafos eram não direcionados, o que permitiu que multiarestas entre dois vértices fossem tratadas como uma aresta ponderada pelo número de produtos envolvidos. Normalmente, os softwares disponíveis representam graficamente tal situação, atribuindo a cada aresta uma espessura segundo o peso correspondente. A espessura é usada na representação gráfica, e o peso, nos cálculos.
- Alguns produtos estiveram presentes em somente uma microrregião. Nesse caso, para completar a modelagem com grafos, representou-se com um *loop* cada produto presente exclusivamente em uma microrregião. Uma microrregião pode ter vários *loops*, tantos quantos forem os produtos presentes exclusivamente nela. Houve casos de microrregiões que continham apenas produtos exclusivos, de modo que cada uma delas foi representada por um vértice isolado com um ou mais *loops*.
- Finalmente, houve microrregiões que não registraram presença de nenhum produto em um ano (isto é, elas não pertenceram ao G25 de nenhum produto). Do ponto de vista do grafo, os vértices correspondentes simplesmente não existem (foram denominados vértices inativos), e o grafo resultante tem menos de 31 deles.

Na representação visual das redes agrícolas do MATOPIBA (Figuras 3, 4 e 5), alguns parâmetros foram controlados para representar atributos de identificação de vértices e arestas. São eles:

- rótulo do vértice: código da microrregião;
- tamanho do vértice: grau ponderado da microrregião, isto é, o número de arestas que incidem no vértice, inclusive os *loops*;
- cor do miolo do vértice: UF a que pertence a microrregião;

- cor da borda do vértice: ausência (preto) ou presença (laranja) da microrregião no subgrafo mais denso;
- espessura da aresta: número de produtos compartilhados entre pares de microrregiões;
- espessura do *loop*: número de produtos exclusivos da microrregião.

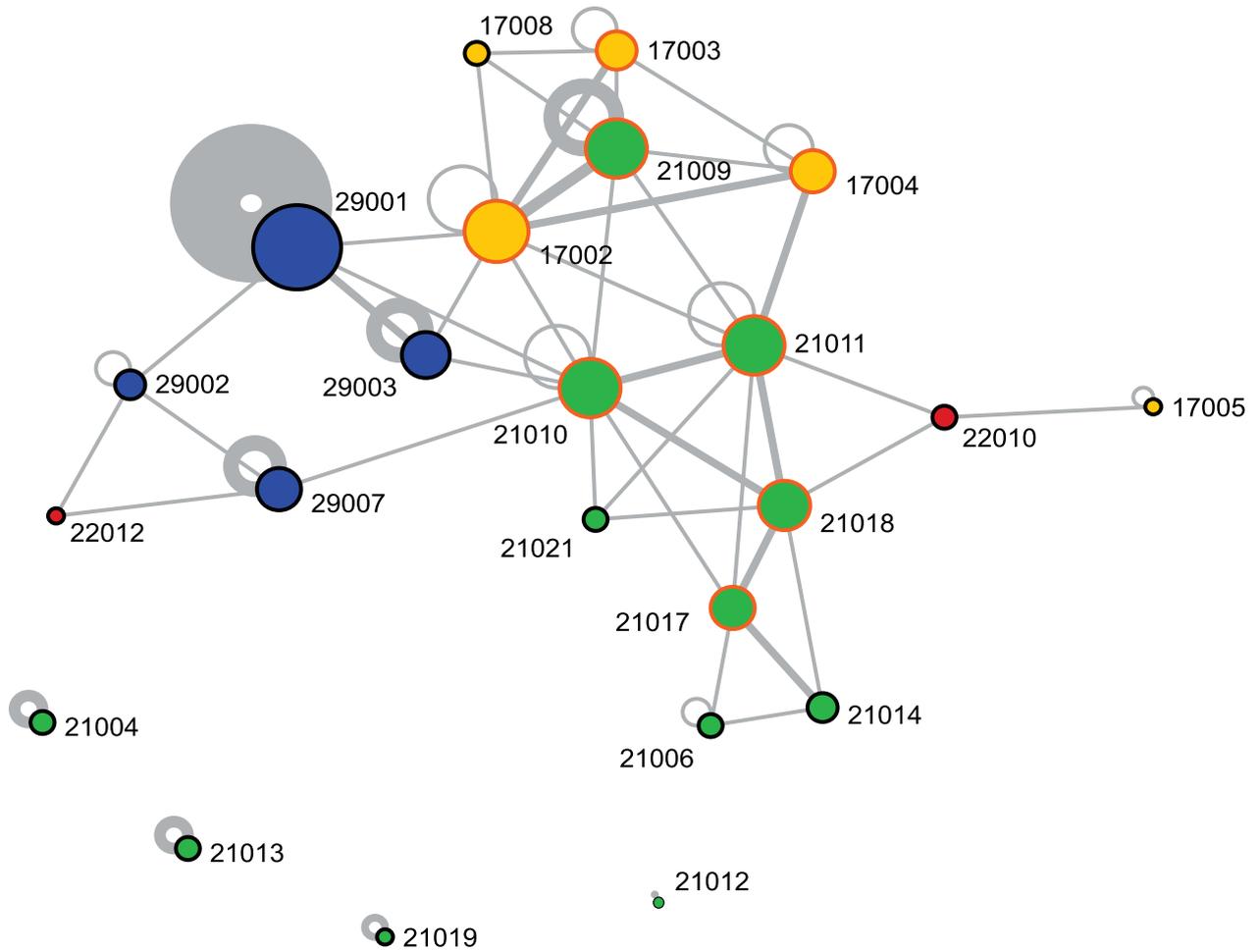


Legenda:

Vértices inativos:		Tamanho do vértice: grau ponderado (total relacionamentos)	Espessura da aresta: Cardinalidade (no. prods. compartilhados)	Cores dos vértices:
17007	21020	22	11	● TO ● PI
21006	21021	11	4	● MA ● BA
21012	22008	1	2	
			1	

○ Vértices componentes do subgrafo mais denso

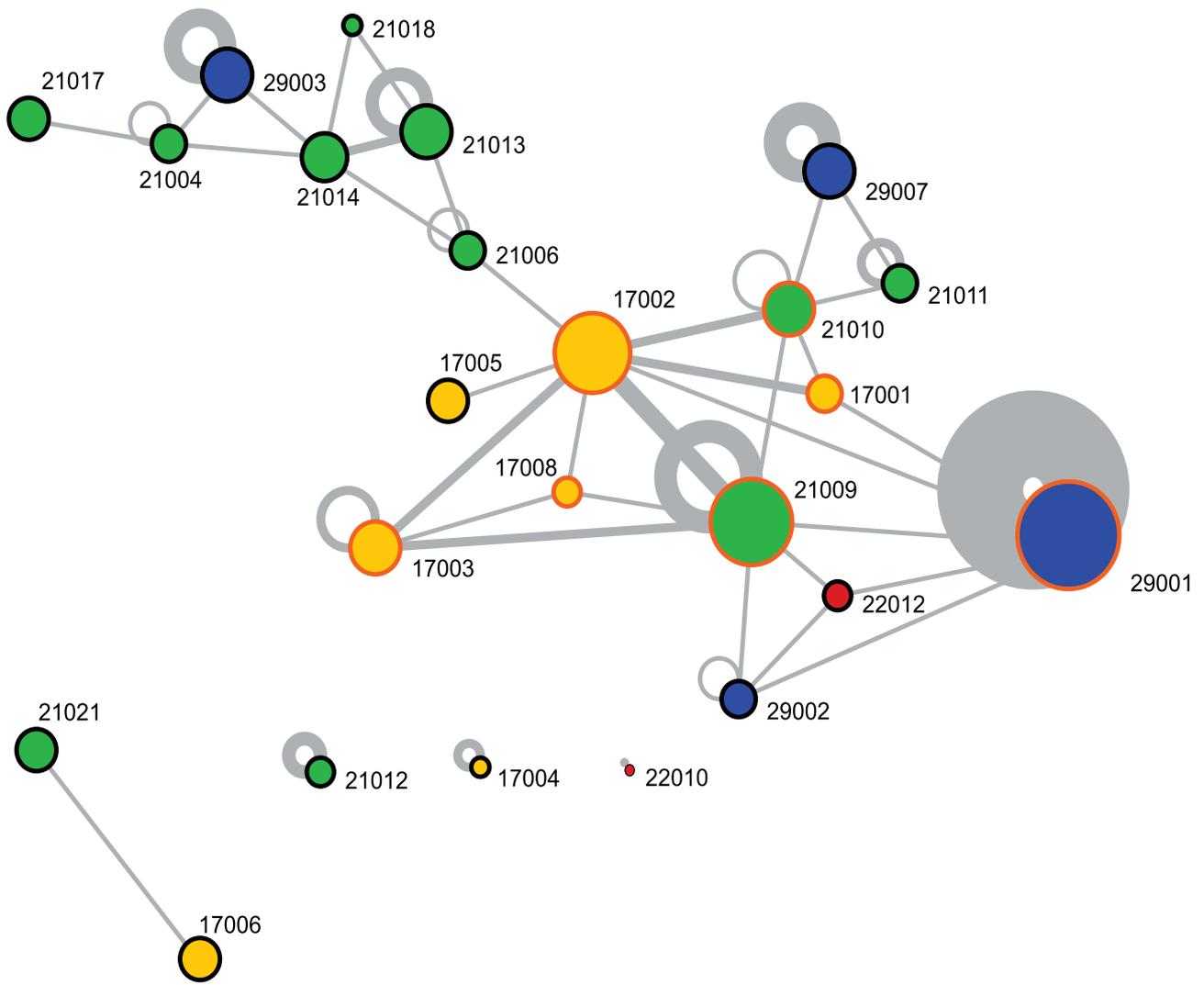
Figura 3. Rede agrícola no MATOPIBA, G25, 1991.



Legenda:

Vértices inativos:	Tamanho do vértice: grau ponderado (total de relacionamentos)	Espessura da aresta: Cardinalidade (no. prods. compartilhados)	Cores dos nós:
17001 21016	23	18	TO
17006 21020	12	4	MA
17007 22007	1	2	PI
21015 22008	1	1	BA
Vértices componentes do subgrafo mais denso			

Figura 4. Rede agrícola no MATOPIBA, G25, 2001.



Legenda:

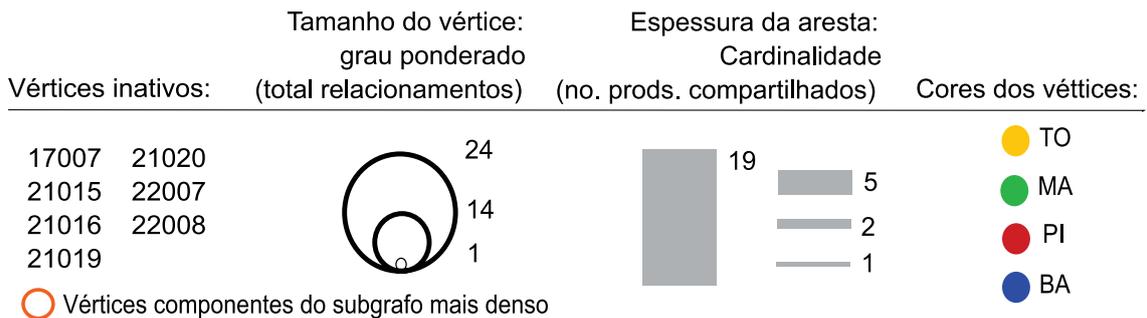


Figura 5. Rede agrícola no MATOPIBA, G25, 2011.

Para o G25, foram preparadas as matrizes de ocorrência referentes aos anos de 1991, 2001 e 2011. Elas contêm as informações necessárias para a geração dos grafos agrícolas e indicadores associados, bastando para tal apenas organizá-las de acordo com os requisitos de entrada de dados dos softwares utilizados: Sci2 Tool (SCI2 Team, 2009) e Gephi (Bastian et al., 2009). Desse modo, obteve-se a representação de grafos ponderados não direcionados, com *loops*. São não direcionados porque o relacionamento entre as microrregiões não possui origem e destino; representa apenas a coocorrência de produtos.

Análise visual e quantitativa

As Figuras 3, 4 e 5 mostram as redes agrícolas obtidas e a Tabela 4 apresenta indicadores de propriedades globais associadas a cada uma.

Tabela 4. Indicadores globais das redes agrícolas, G25, 1991, 2001 e 2011.

Indicador	Valor		
	1991	2001	2011
Número de vértices conectados	20	19	21
Número de vértices isolados	5	4	3
Número de vértices inativos	6	8	7
Número de arestas (sem <i>loops</i>)	58	51	47
Número de <i>loops</i> em vértices conectados	33	38	44
Número de <i>loops</i> em vértices isolados	9	9	6

Os valores da Tabela 4 mostram, por um lado, tanto uma queda do número de arestas, excluindo-se *loops*, quanto um aumento do número de *loops* em vértices conectados, ao longo dos anos examinados. Isso indica a ocorrência de um processo progressivo de diferenciação da produção agrícola entre as microrregiões que formam o G25 no MATOPIBA. Por outro lado, mostram também uma queda do número de vértices isolados, o que pode indicar mais integração produtiva ou mais dispersão da produção de certos itens agropecuários.

As redes agrícolas para o G25 mostram heterogeneidade e mudanças espaço-temporais nos perfis produtivos, das microrregiões do MATOPIBA, o que nos leva a tecer algumas considerações:

- Há microrregiões com perfil produtivo muito diferenciado em relação às demais. Elas estão graficamente representadas por vértices e componentes menores, isolados com *loops* (Figuras 3, 4 e 5). Cada uma foi capaz de produzir ao menos 25% do volume total dos respectivos produtos, indicados na Tabela 5.
- Há microrregiões que concentram, pelo menos, 25% de toda a produção de um ou mais produtos em um ano, situação esta representada pelos *loops* em cada grafo. O caso da microrregião 29001 (Barreiras, BA) se destaca: no nível do G25, ela tem exclusividade em mais de dez produtos em cada ano (Tabela 6 e Figuras 3, 4 e 5). Entre eles, merecem destaque o café, o feijão, o milho e a soja, quatro dos principais produtos da agricultura praticada na região do MATOPIBA (Buainain & Garcia, 2015; Carneiro et al., 2006). Tal produção se realiza, principalmente, em sistemas intensivos no uso de capital e tecnologia.

Tabela 5. Microrregiões isoladas no G25 e os produtos com que se destacaram, 1991, 2001 e 2011.

Microrregião	Ano / Produto		
	1991	2001	2011
17004			Arroz Melancia
17005	Sorgo		
21004	Açaí Buriti (palha) Coco-da-baía	Buriti (palha) Jaborandi Castanha de caju	
21012		Tomate	Batata-doce Tomate Ovos de codorna
21013		Tucum (amêndoa) Carnaúba (cera) Carnaúba (pó)	
21016	Cana-de-açúcar		
21019		Cana-de-açúcar Lenha (silvicultura)	
22007	Castanha de caju		
22010			Abacate
29003	Pequi (amêndoa) Fumo (folha) Mamona		

Nota: outros grafos auxiliares foram usados para identificar com facilidade os produtos envolvidos nos *loops*.

Tabela 6. Produtos que só aparecem em Barreiras, G25, 1991, 2001 e 2011.

Domínio	Produto	Ano		
		1991	2001	2011
Lavouras permanentes	Café		x	x
	Coco-da-baía		x	x
	Goiaba			x
	Laranja		x	x
	Limão		x	x
	Mamão	x	x	
	Manga			x
	Maracujá	x	x	x
	Tangerina		x	x
	Uva		x	x
Lavouras temporárias	Algodão herbáceo		x	x
	Amendoim	x		
	Batata-doce	x	x	
	Feijão	x	x	x
	Mamona		x	
	Melancia	x		
	Milho	x	x	x
	Soja	x	x	x
	Sorgo			x
Tomate	x			
Pecuária	Codornas			x
	Coelhos	x	x	x
Produtos da pecuária	Ovos de galinha		x	x
Extração vegetal	Angico	x	x	x
	Pequi		x	x
	Total	11	18	19

Nota: outros grafos auxiliares foram usados para identificar com facilidade os produtos envolvidos nos *loops*.

- Mesmo no nível do G25, a maioria das microrregiões compartilha a produção agropecuária do MATOPIBA com outras (integram o chamado componente gigante do grafo, ou seja, o maior componente conectado). Ademais, é possível notar relacionamentos mais densos em um subconjunto de microrregiões (Figuras 3, 4 e 5). Por exemplo, em 1991, as microrregiões 21010, 21011 e 21017, todas do Maranhão, estiveram mutuamente interligadas por quatro arestas, o que significa, sem considerar *loops*, uma densidade igual a quatro (12 arestas/3 vértices). Entende-se que esse subgrafo assinala alguma peculiaridade na produção agrícola que envolve essas três microrregiões. Isso leva ao problema de se determinar subgrafos de máxima densidade, que é um assunto de intensa atividade técnica na atualidade e que será detalhado na seção seguinte.

Subgrafos de máxima densidade nas redes agrícolas

O problema de otimização definido na subseção **Subgrafos de máxima densidade** foi especificado e resolvido, para cada ano (1991, 2001 e 2011), no programa de planilhas eletrônicas Microsoft Excel.

Cabe esclarecer que um problema de otimização do tipo definido neste estudo pode resultar em mais de uma solução ótima, ou seja, pode haver mais de um subgrafo de máxima densidade. A determinação da unicidade de uma solução constitui um problema adicional. Em particular, os subgrafos de máxima densidade encontrados nas redes agrícolas aqui construídas, para cada ano, são únicos e essa unicidade foi conferida por inspeção visual (Figuras 3, 4 e 5).

Outro problema frequente na determinação de subgrafos é a conexão entre os vértices que o integram. Em geral, busca-se determinar um subgrafo conexo, sem vértices isolados, em contraposição a situações em que uma solução é composta de subgrafos separados, cada um conexo internamente. Também nesse caso, a inspeção visual confirma que os subgrafos de máxima densidade encontrados a partir das redes agrícolas, para cada ano, são conexos (Figuras 3, 4 e 5).

Nota-se que o número de itens com produção compartilhada entre as microrregiões (isto é, o número de arestas) e a densidade máxima dos subgrafos diminuem com o tempo (Tabela 7). Adicionalmente, nos grafos de origem, o número de arestas diminui com o tempo (Tabela 4). Esses resultados indicam que tem havido uma diferenciação produtiva intrarregional gradual na agricultura do MATOPIBA, ao menos no nível do G25.

Tabela 7. Propriedades do subgrafo de máxima densidade, G25, 1991, 2001 e 2011.

Indicador	Valor		
	1991	2001	2011
Número de vértices ($ V_s $)	7	8	7
Número de arestas ($ A_s $)	32	26	20
Densidade ($D = A_s / V_s $)	4,57	3,25	2,86

Presença de microrregiões e produtos agropecuários

As microrregiões que formam o subgrafo mais denso para cada ano estão apresentadas abaixo (Tabela 8 e Figura 6). Elas também estão representadas nas redes agrícolas pelos vértices com bordas na cor laranja (Figuras 3, 4 e 5).

Tabela 8. Presença de microrregiões no subgrafo de máxima densidade, G25, 1991, 2001 e 2011.

UF	Código	Microrregião Nome	Ano		
			1991	2001	2011
TO	17001	Bico do Papagaio			x
TO	17002	Araguaína	x	x	x
TO	17003	Miracema do Tocantins	x	x	x
TO	17004	Rio Formoso	x	x	
TO	17008	Dianópolis			x
MA	21009	Imperatriz	x	x	x
MA	21010	Médio Mearim	x	x	x
MA	21011	Alto Mearim e Grajaú	x	x	
MA	21017	Caxias	x	x	
MA	21018	Chapadas do Alto Itapecuru		x	
BA	29001	Barreiras			x

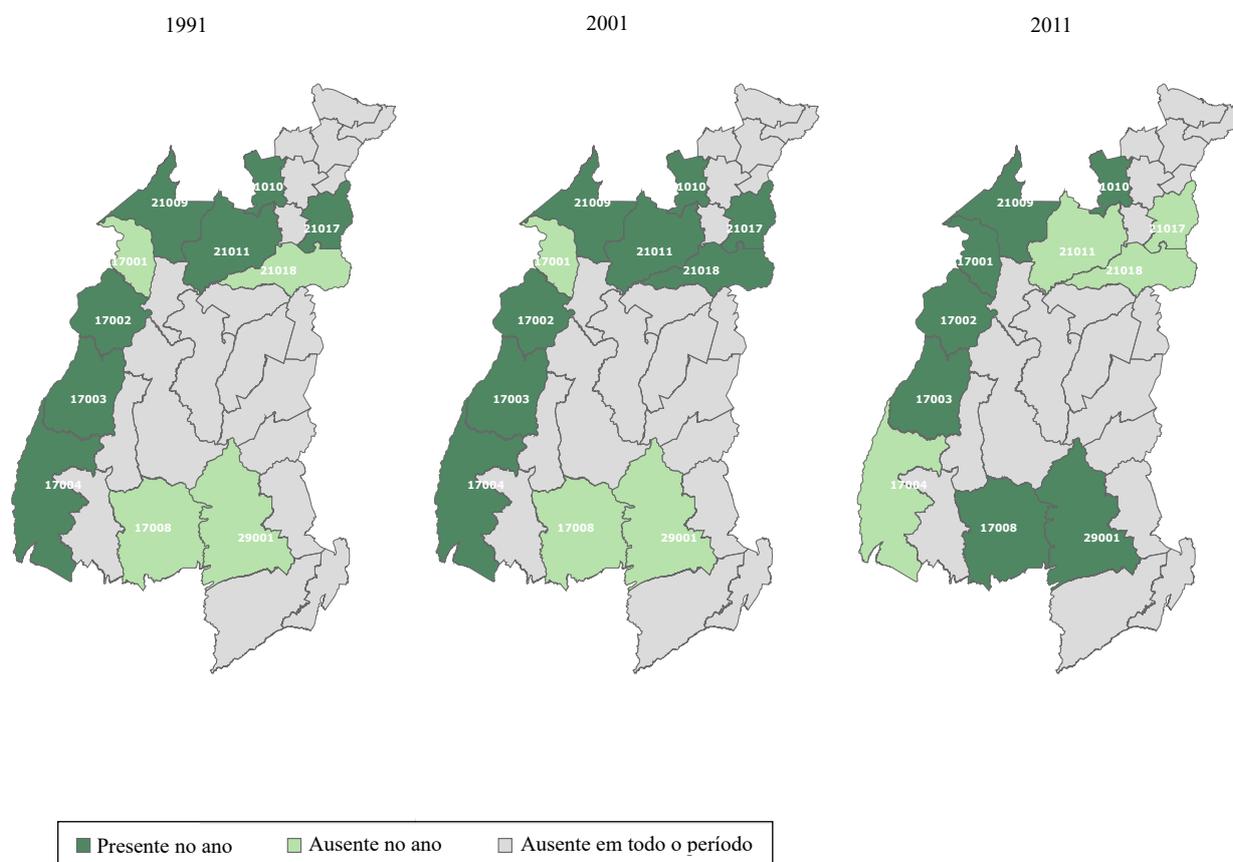


Figura 6. Presença de microrregiões no subgrafo mais denso, 1991, 2001 e 2011.

Quatro microrregiões (17002, 17003, 21009 e 21010) persistem no subgrafo de máxima densidade em 1991, 2001 e 2011. No G25, elas compartilham a produção de bovinos, equinos, muares, galinhas, galos, frangos e pintos, leite de vaca, ovos de galinha, banana e carvão (da extração vegetal).

As Tabelas 9 e 10 listam os produtos com ocorrência registrada em vértices do subgrafo de máxima densidade, nos três anos examinados. Eles eram 23 em 1991 e 2001, e 37 em 2011, cuja participação individual no volume global do MATOPIBA somava 25% ou mais (ver valores na coluna **Total**, nas Tabelas 9 e 10). No conjunto dos três anos, eram 48 produtos. Esses números dão uma ideia da diversidade agrícola nos subgrafos de máxima densidade. Ao mesmo tempo, as Tabelas 9 e 10 assinalam mudanças ocorridas nos produtos envolvidos, o que caracteriza uma dinâmica própria das microrregiões componentes desses subgrafos.

Tabela 9. Participação percentual de produtos com presença compartilhada no subgrafo de máxima densidade e vizinhança imediata (arestas), 1991, 2001 e 2011.

Domínio / Produto	1991			2001			2011		
	No subgrafo	Na vizinhança	Total	No subgrafo	Na vizinhança	Total	No subgrafo	Na vizinhança	Total
Lavouras permanentes									
Abacate	-	-	-	24,89	18,42	43,31	-	-	-
Banana	14,22	15,05	29,27	16,62	22,10	38,72	-	-	-
Laranja	16,42	10,37	26,79	-	-	-	-	-	-
Manga	16,31	17,66	33,97	-	-	-	-	-	-
Lavouras temporárias									
Arroz	31,21	0,00	31,21	30,16	0,00	30,16	-	-	-
Fava	-	-	-	22,51	13,77	36,27	-	-	-
Mandioca	13,78	12,31	26,09	-	-	-	-	-	-
Pecuária									
Asininos	25,94	0,00	25,94	23,51	5,75	29,26	9,70	16,38	26,09
Bovinos	27,49	0,00	27,49	32,69	0,00	32,69	31,43	0,00	31,43
Bubalinos	-	-	-	-	-	-	17,26	13,74	31,00
Caprinos	-	-	-	19,21	10,60	29,82	-	-	-
Equinos	14,79	14,04	28,82	20,39	7,75	28,14	31,85	0,00	31,85
Galinhas	27,23	0,00	27,23	11,60	18,50	30,10	28,93	0,00	28,93
Galos, frangos etc.	23,58	6,66	30,24	29,97	0,00	29,97	25,68	0,00	25,68
Muare	21,91	6,59	28,51	30,14	0,00	30,14	27,18	0,00	27,18
Ovinos	-	-	-	-	-	-	15,56	14,16	29,72
Suínos	21,84	8,28	30,11	8,44	20,97	29,41	-	-	-
Produtos da pecuária									
Leite de vaca	32,46	0,00	32,46	26,13	0,00	26,13	31,92	0,00	31,92
Mel de abelha	-	-	-	-	-	-	15,29	16,35	31,63
Ovos de galinha	28,07	0,00	28,07	-	-	-	-	-	-
Extração vegetal									
Carvão vegetal	36,52	0,00	36,52	33,41	0,00	33,41	-	-	-

Nota: outros grafos auxiliares foram usados para identificar com facilidade os produtos envolvidos nas arestas.

Cada um dos 48 produtos enquadra-se em uma das seguintes situações:

- ele ocorre exclusivamente em um vértice e, portanto, dá lugar a um *loop*;
- ele reúne ao menos 25%, mediante compartilhamento entre vértices do subgrafo denso; ou
- ele perfaz ao menos 25%, quando se amplia o subgrafo com vértices que são vizinhos imediatos.

Em qualquer caso, considerando-se eventuais vizinhos imediatos, esgota-se o grupo 25 para todos os produtos identificados no subgrafo determinado. Esta propriedade é muito mais geral e vale para qualquer subgrafo inicial – não necessariamente determinado em função da máxima densidade – e para qualquer nível percentual (não só 25%). Requer-se somente que a construção dos grupos no percentil escolhido, para todos os produtos, tenha usado um algoritmo análogo ao que foi utilizado aqui, para determinar os grupos 25, 50 e 75.

Outro fato notável que esses resultados permitem identificar é a composição dos *loops* e arestas em termos dos produtos envolvidos. Os itens dos domínios pecuária e produtos da pecuária predominam entre os que têm produção compartilhada, representados nas arestas. A entrada da microrregião de Barreiras (BA) no subgrafo de máxima densidade, em 2011, deveu-se justamente ao compartilhamento da produção de dois desses itens: galinhas e ovinos. Os itens de lavouras, permanentes em maior medida, mas também temporárias, predominam entre os que têm 25% ou mais de sua produção concentrada em apenas um vértice do subgrafo, em muitos casos correspondente a Barreiras.

Tabela 10. Participação percentual de produtos presentes exclusivamente numa microrregião do subgrafo de máxima densidade (*loops*), 1991, 2001 e 2011.

Domínio	Produto	1991	2001	2011
Lavouras permanentes	Borracha	100,00	60,12	56,95
	Café	-	-	82,82
	Coco-da-baía	-	-	30,30
	Goiaba	-	-	54,97
	Laranja	-	-	57,06
	Limão	39,20	-	97,19
	Manga	-	-	29,86
	Maracujá	-	-	65,31
	Pimenta-do-reino	86,70	100,00	100,00
	Tangerina	-	-	80,88
	Urucum	-	95,65	87,91
	Uva	-	-	95,44
Lavouras temporárias	Abacaxi	28,54	27,18	32,48
	Algodão herbáceo	-	-	75,97
	Amendoim	-	-	77,02
	Feijão	-	-	33,87
	Melancia	-	58,52	-
	Milho	-	-	40,49
	Soja	-	-	39,82
	Sorgo	-	-	35,44
Pecuária	Bubalinos	48,50	58,41	-
	Codornas	100,00	47,09	43,51
	Coelhos	-	-	100,00
Produtos da pecuária	Ovos de codorna	100,00	-	-
	Ovos de galinha	-	-	41,43
Silvicultura	Carvão vegetal	-	66,45	80,00
Extração vegetal	Açaí	-	-	83,08
	Angico	-	-	58,95
	Babaçu	-	36,68	49,72
	Jaborandi	56,33	-	-
	Pequi	-	-	46,19

Nota: outros grafos auxiliares foram usados para identificar com facilidade os produtos envolvidos nas arestas.

Dinâmica das redes na agricultura do MATOPIBA

Calcularam-se as distâncias de Cantor (ou Jaccard) – conforme detalhado na subseção **Dinâmica em grafos** – entre pares de matrizes de ocorrência de produtos agropecuários, nas microrregiões do MATOPIBA integrantes do G25 (Tabela 11). Incluíram-se os resultados das distâncias com respeito aos anos de 1996 e 2006, não mencionados anteriormente, para se ter mais informação sobre a velocidade das mudanças produtivas nas microrregiões do MATOPIBA.

Tabela 11. Distâncias de Cantor (ou Jaccard) entre redes agrícolas, G25, 1996, 2001, 2006 e 2011.

Ano inicial	Ano final			
	1996	2001	2006	2011
1991	58	69	74	75
1996		48	61	64
2001			49	52
2006				43

As distâncias podem tomar valores entre zero e 100, correspondentes a pontos percentuais (Tabela 11). Observa-se que predominam valores acima de 50, e todos estão acima de 40, o que indica uma grande mobilidade da agricultura dentro da região do MATOPIBA. A mudança observada na rede agrícola do MATOPIBA, correspondente ao G25, entre 1991 e 2011, foi muito grande, de 75 pontos percentuais. Considerando-se que o número total de produtos envolvidos mudou muito pouco entre esses anos, uma distância dessa magnitude deveu-se, essencialmente, a um grande deslocamento da agricultura dentro do território do MATOPIBA. Em termos simplificados, isso quer dizer, basicamente, que certos produtos foram aumentando sua presença relativa em algumas microrregiões.

Os valores que aparecem na diagonal principal indicam as distâncias percorridas em subperíodos sucessivos (Tabela 11). O subperíodo em que a mudança teve maior velocidade corresponde ao intervalo de 1991 a 1996, com 58 pontos percentuais (p.p.), o que significa uma velocidade de 11,6 p.p./ano. Esse é um valor muito alto que indica que, nesse subperíodo, ocorreram alterações substanciais nas principais microrregiões produtoras da região.

O exame dos valores em cada linha, de 1991 a 2001, mostra distâncias crescentes (Tabela 11). Isso significa que as alterações no G25 tiveram um caráter progressivo, sem retrocessos importantes. De todo modo, nota-se uma leve tendência a diminuir a velocidade das mudanças, como indicam os valores um pouco menores que aparecem no canto inferior direito (Tabela 11).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta uma aplicação da análise de redes, baseada na teoria de grafos e influenciada pelo enfoque da análise de redes sociais (ARS) como técnica auxiliar de análise de dados, no estudo quantitativo da agricultura brasileira. Explorar o potencial de aplicações não tradicionais no campo da Estatística Agrícola, de métodos desenvolvidos em outros contextos, torna-se especialmente relevante quando se busca uma descrição global da atividade agrícola, que considere muitos produtos simultaneamente.

Com foco na região do MATOPIBA, partiu-se de estatísticas nacionais da agricultura, ao nível de microrregiões geográficas, disponibilizadas pelo IBGE para os anos de 1990 a 2012. Após minucioso processo de preparação dos dados, estabeleceu-se como base de trabalho um conjunto de 65 produtos,

distribuídos em seis domínios da atividade agrícola, com incidência estabelecida em ao menos uma das 31 microrregiões. Os cálculos consideraram a presença ou ausência das microrregiões, no grupo das que mais produzem individualmente (G25), e compararam predominantemente as situações nos anos de 1991, 2001 e 2011.

Os resultados encontrados revelaram a existência de distintos perfis produtivos entre as microrregiões do MATOPIBA:

- Casos de elevada concentração do volume de produção de certos itens, representados nas redes agrícolas por *loops* em vértices e componentes menores isolados.
- Casos de produção com diferentes graus de compartilhamento, representados pelo componente gigante ou maior componente conectado na rede agrícola correspondente a cada ano.
- Singularidade do caso da microrregião 29001 (Barreiras, BA). Ela é a única no G25, em cada ano, com mais de dez *loops* (produtos exclusivos) entre os 65 produtos considerados. Embora tenha migrado de uma situação de isolamento, em 1991, para a integração ao componente gigante e ao subgrafo de máxima densidade, em 2011, segue concentrando a produção de itens economicamente relevantes na região, tais como café, feijão, milho e soja (Carneiro et al., 2006; Buainain & Garcia, 2015). Concentra, ainda, a produção de algodão herbáceo, um item que já teve ampla participação na produção agrícola no MATOPIBA e que, mais recentemente, retraiu-se em estreita relação com o comportamento dos mercados de commodities.

A maximização da função objetiva correspondente à densidade resultou em subgrafos conexos e únicos para cada ano examinado. No conjunto dos três anos, esses subgrafos abrangeram 11 microrregiões (do total de 31) e 48 produtos (do total de 65). Em 2011, nota-se a predominância de itens dos domínios de lavouras, permanentes e temporárias, com 25% ou mais da produção em apenas uma microrregião. Por outro lado, predominam itens dos domínios pecuária e produtos da pecuária na produção compartilhada entre microrregiões que compõem os subgrafos e vizinhas imediatas.

No que se refere à dinâmica, as distâncias de Cantor (ou Jaccard) confirmaram o grande movimento que as redes mostraram visualmente na produção agrícola do MATOPIBA: de 1991 a 2011, a mudança foi de 75 p.p., de um máximo possível de 100. O primeiro quinquênio do período foi aquele em que a mudança foi mais acelerada (58 p.p.; ou seja, uma velocidade de 11,6 p.p./ano).

Adicionalmente, a evolução do número de relacionamentos (arestas nas redes) e da densidade do subgrafo mais denso – que se reduziram ao longo dos anos – reforçam a tendência de diferenciação do perfil produtivo entre microrregiões do MATOPIBA.

Esses resultados mostram que as redes podem ser usadas como técnica auxiliar na caracterização da estrutura e dinâmica da agricultura brasileira, propiciando informações novas, ocultas nas séries estatísticas, complementares aos aspectos elucidados com outros métodos e técnicas já consolidados no campo da Estatística Agrícola.

Cabe notar que, para além do que foi utilizado no presente estudo, diversos conceitos e recursos disponíveis nos softwares para análise de redes empregados (Scie2 Tool e Gephi) não tinham justificativa clara para sua aplicação às redes agrícolas tal qual foram construídas. Porém, não há dúvidas de que eles oferecem algumas facilidades, que permitiriam exploração adicional dos dados disponíveis; por exemplo, eles auxiliariam na identificação dos produtos envolvidos nos vértices com maior grau. Isso poderia dar lugar a outros estudos.

Além disso, os softwares de redes mais comumente usados ainda não são capazes de tratar de forma plenamente satisfatória certas situações da realidade agrícola, nomeadamente aquelas modeladas como arestas ponderadas e *loops*. Possíveis alternativas incluem desenvolver algoritmos específicos para uma certa aplicação, ou recorrer a softwares voltados a finalidades distintas, como se fez aqui, para determinar um subgrafo de máxima densidade.

REFERÊNCIAS

- BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In: INTERNATIONAL AAAI CONFERENCE ON WEB AND SOCIAL MEDIA, 3., 2009, San Jose. [Palo Alto: AAAI], 2009. **Proceedings**. Available at: <<https://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154>>. Accessed on: 15 Feb. 2016.
- BERGE, C. **Théorie des graphes et ses applications**. 2.éd. Paris: Dunod Orléans, 1963.
- BOAVENTURA NETTO, P.O. **Teoria e modelos de grafos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1979.
- BUAINAIN, A.M.; GARCIA, J.R. Evolução recente do agronegócio no Cerrado nordestino. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v.23, p.166-195, 2015.
- CARNEIRO, W.M.A.; NARCISSO SOBRINHO, J.; COELHO, M. do C.S.G. **Grãos nos cerrados nordestinos: produção, mercados e estruturação das principais cadeias**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2006. (Banco do Nordeste do Brasil. Documentos do ETENE, 8).
- DENSE subgraph. In: WIKIPEDIA: the free encyclopedia. 2015. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dense_subgraph>. Acesso em: 21 mar. 2016.
- GARAGORRY, F.L.; CHAIB FILHO, H. **Elementos de agrodinâmica**. Brasília: Embrapa-SGE, 2008. Projeto 02.03.1.02.SGE Evolução da agricultura brasileira em um período recente. Relatório técnico.
- GARAGORRY, F.L.; MIRANDA, E.E. de; MAGALHÃES, L.A. **MATOPIBA: evolução recente da produção de grãos**. Campinas: Embrapa, 2015. (Embrapa. Nota técnica GITE, 9). Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT9_DinamicaGraos_Final.pdf>. Acesso em: 23 out. 2015.
- GARAGORRY, F.L.; MIRANDA, E.E. de; MAGALHÃES, L.A. **MATOPIBA: quadro agrícola**. Campinas: Embrapa, 2014. (Embrapa. Nota técnica GITE, 7). Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT7_Matopiba_Quadro_Agricola.pdf>. Acesso em: 23 out. 2015.
- GASQUES, J.G.; REZENDE, G.C. de; VILLA VERDE, C.M.; SALERNO, M.S.; CONCEIÇÃO, J.C.P.R. da; CARVALHO, J.C. de S. **Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil**. Brasília: Ipea, 2004. (Ipea. Texto para discussão, 1009).
- GOLDBERG, A.V. **Finding a maximum density subgraph**. Berkeley: University of California, 1984. Disponível em: <<http://digitalassets.lib.berkeley.edu/techreports/ucb/text/CSD-84-171.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2016. (Technical report).
- HARARY, F. **Graph theory**. Reading: Addison-Wesley, 1969.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
- LEE, V.E.; RUAN, N.; JIN, R.; AGGARWAL, C.C. A survey of algorithms for dense subgraph discovery. In: AGGARWAL, C.C.; WANG, H. (Ed.). **Managing and mining graph data**. New York: Springer, 2010. Cap.10, p.303-336. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6045-0_10.
- MARANHÃO, R.L.A.; VIEIRA FILHO, J.E.R. **Inserção internacional do agronegócio brasileiro**. Rio de Janeiro: Ipea, 2017. (Ipea. Texto para discussão, 2318).
- MIRANDA, E.E. de; MAGALHÃES, L.A.; CARVALHO, C.A. de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. (Embrapa. Nota técnica GITE, 1). Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMATOPIBA.pdf>. Acesso em: 23 out. 2015.
- NEWMAN, M.E.J. **Networks: an introduction**. Oxford: Oxford University, 2010.
- OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Innovation, agricultural productivity and sustainability in Brazil**. Paris, 2015. (OECD. Food and Agricultural Reviews). DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264237056-en>.
- PALISADE CORPORATION. **Evolver: solver de algoritmo genético para o Microsoft Excel, versão 6**. Ithaca, 2013. 158p. Manual do usuário.
- SCI2 TEAM. **Science of Science (Sci2) Tool**. [S.l.]: Indiana University: SciTech Strategies, 2009. Disponível em: <<https://sci2.cns.iu.edu>>. Acesso em: 28 jan. 2016.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. New York: Cambridge University Press, 1994.
- WEST, D.B. **Introduction to graph theory**. Patparganj: Pearson Education, 2001.
- WILSON, R.J.; BEINEKE, L.W. **Applications of graph theory**. London: Academic Press, 1979.
- ZHANG, J.; CHEN, Y. Monte Carlo algorithms for identifying densely connected subgraphs. **Journal of Computational and Graphical Statistics**, v.24, p.827-845, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10618600.2014.930040>.