

DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS EM SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS: ANÁLISE DO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO GORUTUBA, MINAS GERAIS

Autores: Rafael Faria de Abreu Campos
Dênis Antônio da Cunha
Newton Paulo Bueno

Filiações institucionais: Doutorando vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da UFMG (CEDEPLAR/UFMG)
Professor Adjunto vinculado ao Departamento de Economia Rural/UFV
Professor Doutor vinculado à Fundação Instituto Capixaba de Pesquisas em Contabilidade, Economia e Finanças (FUCAPE *Business School*)

Resumo

O objetivo deste estudo foi o de identificar se, por meio de apenas líderes de opinião, se é possível disseminar informações e novas práticas sustentáveis no Perímetro de Irrigação Gorutuba, no semiárido do norte de Minas Gerais. Metodologicamente, as abordagens de Dinâmica de Sistemas, Modelagem Baseada em Agentes e Análise de Redes Sociais foram utilizadas na construção de um modelo de simulação computacional híbrido. Os resultados permitiram concluir que políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo devem se basear na focalização de agentes líderes.

Palavras-chave: disseminação de informações, sistemas de irrigação, Dinâmica de Sistemas, Modelagem Baseada em Agentes, Análise de Redes Sociais.

Área temática de submissão: 2. Economia Mineira.

1. Introdução

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change – IPCC*, 2014) afirma que as recentes alterações do clima global têm tido impactos generalizados sobre os sistemas humanos e naturais. Eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, geadas intensas e incêndios florestais têm ocorrido com maior frequência. Isso revela a significativa vulnerabilidade de alguns ecossistemas e dos sistemas humanos à variabilidade climática atual, o que se traduz em desafio para a comunidade científica das mais variadas áreas.

Uma importante manifestação das mudanças climáticas diz respeito às alterações nos padrões de precipitação. A queda nos níveis de precipitação e fenômenos extremos como a seca, tem se manifestado, sobretudo, nas regiões áridas e semiáridas. O IPCC (2014), afirma que a perspectiva é de autorreforço, de modo que, dentre as regiões de latitudes médias, aquelas secas e subtropicais terão sua precipitação média diminuída.

As regiões áridas e semiáridas representam 55% das terras do mundo (NUNES, 2011). No Brasil, o semiárido ocupa cerca de 10% do território nacional e compreende grande parte da região Nordeste e o norte de Minas Gerais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2005). O Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, 2013) revela que os indicadores sociais para o semiárido, nas áreas de mortalidade infantil, educação e renda *per capita*, são piores que os indicadores médios nacionais, o que torna tais regiões ainda mais vulneráveis socioeconomicamente.

Além disso, o setor agrícola dessas regiões é um dos mais afetados por tais fenômenos, pois as condições ambientais, sobretudo a disponibilidade hídrica, são cruciais para sua produtividade (NELSON *et al.*, 2014). Em períodos de estiagem prolongada, as perdas econômicas vão desde valores imediatos modestos até grandes prejuízos no longo prazo (SILVA, 2003). Nesse sentido, a irrigação é uma das principais formas de adaptação aos menores índices pluviométricos que

atingem tais regiões. Nos diversos municípios do semiárido brasileiro, com sua característica baixa precipitação, a irrigação se torna ferramenta indispensável para o incremento da produtividade na agricultura (CUNHA *et al.*, 2015; COELHO *et al.*, 2006).

No entanto, a possibilidade de redução da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental atribuída à irrigação vem sendo comprometida em função da crise hídrica que o Brasil vem enfrentando nos últimos anos. Como a agricultura é responsável pela maior parte do consumo de água no Brasil, surge daí a necessidade de adoção de práticas mais econômicas e o uso racional da água. O problema é que, embora a adoção de novas práticas já tenha levado à queda do consumo de água em determinadas culturas irrigadas no sul do país – cerca de 40% de redução –, há indícios de que os agricultores do Sudeste ainda não foram persuadidos a adotarem tais práticas mais econômicas em água. Isso leva à necessidade de investimento de enormes aportes financeiros na implantação de campanhas visando persuadir a população sobre a redução do consumo de água (BUENO, 2015).

Diante da urgência e da importância dessas questões, a presente pesquisa procura oferecer subsídios para melhor compreender a necessidade de comunicação mais eficiente entre os órgãos governamentais responsáveis por mitigação e adaptação à seca e os agricultores irrigantes. A ideia principal é que os líderes de opinião podem acelerar a difusão de informações (WATTS; DOODS, 2007), reduzindo a necessidade de investimento em políticas que visem o convencimento geral dos agricultores acerca da necessidade de redução do consumo de água.

Para o desenvolvimento e teste desses argumentos, optou-se por realizar um estudo de caso no Perímetro de Irrigação Gorutuba – PGO. Tal perímetro se localiza na região semiárida do norte de Minas Gerais, área bastante seca e dependente da agricultura. A fragilidade socioeconômica dos produtores do perímetro se revela na medida em que a agricultura da região vem sendo afetada, negativamente, pela diminuição dos índices pluviométricos já há alguns anos (Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba – DIG, 2015). O uso de irrigação, portanto, minimiza as perdas.

O PGO, cuja fonte hídrica é a Barragem Bico da Pedra, tem área de pouco mais de 11 mil hectares. Situa-se no município de Nova Porteirinha, a jusante desta barragem, a partir da qual a água é conduzida por 134,3 km de canais, que abastecem cerca de 5 mil hectares irrigáveis, localizados a margem direita do rio Gorutuba. Configurando-se num grande polo de fruticultura irrigada do país, o PGO gera aproximadamente 9,5 mil empregos diretos e indiretos, produzindo cerca de 70 mil toneladas por ano de produtos agrícolas, o que representa geração de renda na ordem de 48 milhões de reais por ano (Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba – DIG, 2011). Considerando a área total irrigável do PGO, pode-se afirmar que aproximadamente 50% são de pequenos produtores familiares de subsistência e 50% de grandes produtores comerciais, tendo como principais culturas a banana, manga, mamão, uva e goiaba.

A abordagem desenvolvida neste estudo visa fornecer elementos para a construção de uma linha de pesquisa capaz de contemplar simultaneamente as dimensões técnica, climática, econômica e institucional da agricultura irrigada no PGO. Para tanto, são utilizadas as abordagens de Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics*) – DS, Modelagem Baseada em Agentes (*Agent Based Modeling*) – MBA e Análise de Redes Sociais (*Social Network Analysis*) – ARS. O objetivo é gerar um ambiente de simulação computacional que produza resultados capazes de dar base a sugestões, aos órgãos governamentais responsáveis por mitigação e adaptação à seca na região, quanto à melhor forma de se aplicar políticas públicas que visem à disseminação de novas informações e práticas mais econômicas em água.

A presente pesquisa, então, dá sua contribuição utilizando técnicas que permitem contemplar as complexas interações entre os ambientes físico e institucional que influenciam a formulação e a implantação de políticas específicas. O problema principal foi responder a seguinte pergunta: qual é a melhor forma de se disseminar novas informações a produtores rurais, de forma que os mesmos desenvolvam regras de comportamento coletivo, frente ao recurso escasso água, capazes de assegurar a perenidade do sistema socioecológico do qual são parte? Em outras palavras, a ideia é analisar se incentivos e informações precisam ser dados a todos agentes ou somente a parte deles,

garantindo assim que a maioria dos produtores do perímetro adotem posturas adaptativas ou inovadoras adequadas à manutenção do sistema em que operam.

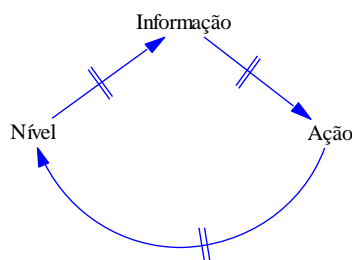
A disseminação e, ou, inserção de novas práticas e tecnologias mais econômicas em água aos irrigantes do PGO é modelada no presente estudo como sendo um choque exógeno. Na economia, trabalhos recentes têm se valido da Análise de Redes Sociais para a construção de modelos de difusão de choques exógenos (CARVALHO, 2014; ACEMOGLU *et al.*, 2012). Tais trabalhos têm mostrado que a presença de concentradores (*hubs*) – os quais seriam os agentes mais centrais da rede – na estrutura produtiva aumenta a volatilidade das economias a esses choques. Isso porque se o choque atinge um concentrador ou agente-chave, ele facilmente se dissemina por todo o restante da rede. Tais agentes fazem com que novas informações cheguem aos indivíduos mais periféricos, criando novas instituições ou transformando as já existentes (CRONA *et al.*, 2011). De acordo com essa literatura, a capacidade de um determinado agente promover mudanças em todo o sistema é maior se o mesmo ocupa uma posição central na rede social (BODIN; CRONA, 2011). Dessa forma, a tentativa de convencimento geral dos produtores sobre mitigação ou adaptação aos problemas oriundos das secas, pode ser menos eficiente que a focalização de agentes-chave para a disseminação de informações numa rede social. O estudo de como agentes-chave podem afetar a governança de sistemas de irrigação, no entanto, tem sido negligenciado em grande parte da literatura sobre o manejo da irrigação (MEINZEN-DICK, 2007). Nesse sentido, o presente esforço de pesquisa visa preencher essa lacuna.

É válido mencionar que, apesar de o foco desta pesquisa estar num sistema de irrigação, as análises desenvolvidas são aplicáveis para estudar diversos tipos de sistemas socioecológicos. A justificativa para o estudo de irrigantes reside no fato de que sistemas de irrigação podem perder resiliência devido a pequenas variações nas condições ambientais (BUENO, 2014b). Ademais, Bueno (2009) destaca que, mais do que em qualquer outro tipo de sistema, é nos perímetros de agricultura irrigada que interagem, de forma mais fundamental, as dimensões técnica, climática, econômica e institucional de uma atividade. Por fim, o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2006) afirma que o interesse dos agricultores pelo emprego da irrigação tem aumentado graças a perdas de produção devido a fatores climáticos. Assim, a partir dos resultados deste estudo, pretende-se incentivar a criação de políticas específicas de treinamento, incentivos e créditos para a adoção de novas práticas de uso mais consciente do recurso hídrico no PGO, dada a importância vital da agricultura irrigada para a região.

2. Metodologia

A metodologia de Dinâmica de Sistemas foi desenvolvida para rastrear as consequências de ações isoladas sobre o comportamento de variáveis que se encontram interligadas em ciclos de retroalimentação (*feedback loops*), nas quais as relações entre causas e consequências estão geralmente distanciadas no tempo (STERMAN, 2000). Em outras palavras, em que as variáveis relacionam-se com defasagens temporais normalmente não captadas em modelos mentais.

Essa metodologia pode, assim, ser definida sinteticamente como uma abordagem informação/ação/consequências, como representado na Figura 1 (COYLE, 1996):



Fonte: Adaptado de Coyle (1996).

Figura 1 – A abordagem de Dinâmica de Sistemas.

Conforme demonstrado na Figura 1, novas informações levam a ações (fluxos), por meio de variáveis auxiliares e parâmetros. Tais ações, em seguida, irão modificar o estado (nível) das

condições de um sistema após certa defasagem de tempo. As duas marcas paralelas sobre a seta indicam a existência de defasagem temporal entre a execução da ação e a mudança no estado do sistema. Um exemplo prático da abordagem de Dinâmica de Sistemas em perímetros de irrigação é a existência do ciclo de retroalimentação que abarca as decisões individuais dos produtores, com base nas informações que cada um tem à sua disposição, influenciando as condições do ambiente em que operam, as quais sendo alteradas, por sua vez, retroagem sobre o comportamento do irrigante, podendo até gerar alterações institucionais na comunidade.

As equações fundamentais da Dinâmica de Sistemas são:

$$Nível_{t+1} = Nível_t + Fluxo_{t\ t+1} \quad (1)$$

$$Fluxo_{t\ t+1} = f(Nível_t, Variáveis\ Auxiliares_t, Parâmetros) \quad (2)$$

em que $Nível_{t+1}$ é o nível de um determinado estoque no período “t+1”; $Nível_t$ é o nível desse mesmo estoque no período “t”; $Fluxo_{t\ t+1}$ é o somatório de todos os fluxos, seja de entrada ou de saída, daquele estoque entre os períodos “t” e “t+1”; $Variáveis\ Auxiliares_t$ representa todas as variáveis auxiliares do sistema, tais como os benefícios (*pay-offs*) da adoção de uma nova tecnologia em sistemas de irrigação; e $Parâmetros$ representa todos os parâmetros do sistema. O acesso irrestrito a todo o processo de verificação e validação do modelo é crucial para se obter sucesso na utilização da Dinâmica de Sistemas (SENGE; FORRESTER, 1980).

As mudanças no nível das condições de um sistema geram novas informações para os agentes relevantes, implicando que ação, nível e informação interligam-se em ciclos de retroalimentação. Esses ciclos podem ser de dois tipos. O primeiro é o ciclo de retroalimentação negativa ou de equilíbrio, em que o sistema reage a mudanças, compensando-as. O segundo tipo é o ciclo de retroalimentação positiva ou de autorreforço, em que o sistema amplifica eventuais perturbações. A dinâmica de um sistema, assim, é comandada pela interação de ciclos de retroalimentação.

Os ciclos de retroalimentação produzem três padrões básicos de comportamento refletidos na taxa de variação líquida da variável de interesse: a) Linear, quando o valor absoluto da taxa de variação líquida da variável é constante [$(d^2x/dt^2) = 0$]; b) Crescimento ou declínio exponencial, quando o valor absoluto da taxa de variação líquida é crescente [$(d^2x/dt^2) > 0$]; e c) Crescimento ou declínio logarítmico, quando o valor absoluto da taxa de variação líquida da variável de interesse decresce no tempo [$(d^2x/dt^2) < 0$].

Combinações desses três padrões são capazes de descrever a maioria dos comportamentos apresentados por sistemas (FORD, 1999). O comportamento oscilatório ou cíclico, por exemplo, pode ser obtido por ciclos de retroalimentação negativa (que gera crescimento ou declínio logarítmico) com retardos temporais.

Alguns trabalhos (BUENO, 2009; FORD, 1999) têm mostrado como identificar pontos que, por implicarem mudanças de dominância de ciclos de retroalimentação, representam “pontos de virada” (*tipping points*) dos sistemas. A partir desses pontos, os sistemas socioecológicos podem perder resiliência.

De modo geral, esse ferramental metodológico se aplica à presente pesquisa na medida em que permite a identificação de quantos produtores rurais adotantes de, por exemplo, uma nova técnica de produção são necessários para que se consiga que todos os produtores do perímetro de irrigação também adotem tal técnica. Cabe aqui ressaltar que a expressão “uma nova técnica de produção”, nesse caso, foi utilizada como exemplo. Outros exemplos seriam uma nova postura frente às mudanças climáticas, ou um novo comportamento com relação à colaboração para a manutenção do canal de irrigação, dentre outros.

A Modelagem Baseada em Agentes permite representar, em múltiplas escalas de análise, a emergência de estruturas em níveis hierarquicamente mais elevados a partir da ação individual. Tais modelos consistem de agentes, os quais em geral são constituídos por partes distintas de um programa de computador, usados para representar atores sociais. Os agentes interagem em um ambiente também modelado em computador, de modo a representar o ambiente real em que eles operam (GILBERT, 2008).

De acordo com Macy e Willer (2002), as premissas-chave de um modelo baseado no agente típico são: a) Os agentes são autônomos, isto é, padrões sistêmicos emergem de baixo para cima (*bottom up*), das interações locais entre tomadores de decisão autônomos; b) Os agentes são interdependentes, sendo que esta interdependência pode se manifestar tanto por meio do contato interpessoal, com os agentes imitando o comportamento dos demais, ou via modificações no ambiente produzidas por outros agentes e que afetam o comportamento dos demais; c) Os agentes seguem regras simples, dadas, por exemplo, por instituições formais e informais, como as normas e convenções sociais. Tais regras, embora possam ser bastante simples (como a regra para mudar de vizinhança no modelo de SCHELLING, 1971), podem produzir resultados não intuitivos e difíceis de entender. Modelos baseados em agentes tentam identificar o conjunto mais simples possível de regras capazes de gerar um macropadrão de interesse; e d) Agentes são adaptativos e ajustam suas expectativas com base em observações e não em cálculos sofisticados sobre estratégias futuras.

Essas pressuposições podem ser sintetizadas nos seguintes princípios práticos para construir um modelo baseado em agentes (GILBERT, 2008): a) os agentes devem ser capazes de perceber seu ambiente, isto é, de detectar quais objetos e agentes estão localizados em sua vizinhança; b) eles devem poder se mover em seu ambiente; c) devem ser capazes de mandar e receber mensagens de outros agentes, de interagir com seu meio ambiente e de armazenar informações e percepções de estados anteriores; e d) devem dispor de um conjunto de regras, heurísticas ou estratégias que determinam seu comportamento a partir das informações disponíveis. O conjunto de informações, instituições e estratégias e dos agentes possuindo determinadas características, assim como determinadas características físicas do ambiente como a disponibilidade de área para a agricultura na vizinhança relevante dos agentes, constitui o ambiente em que eles se movem.

Esse ferramental metodológico vem sendo utilizado na construção de modelos de análise institucional e se aplica ao problema de pesquisa aqui tratado na medida em que permite, por exemplo, a modelagem dos produtores do PGO individualmente. Em outras palavras, a Modelagem Baseada em Agentes permite que se visualize as características e comportamentos de cada produtor. É possível que se observe, por exemplo, com quais outros produtores determinado agricultor se relaciona tecnicamente; se ele está adotando ou não uma nova técnica ou prática ou mesmo sua posição geográfica.

Os modelos de difusão tecnológica, tradicionalmente aplicados em estudos sobre adoção de novas práticas na agricultura, baseiam-se nos resultados obtidos em trabalhos importantes, principalmente para os Estados Unidos. Griliches (1957), por exemplo, mostrou que a difusão do milho híbrido nos EUA foi um processo essencialmente econômico, mas que compreendeu um componente de imitação entre os produtores relevantes. A conjugação dessas características deu origem ao padrão de difusão da nova tecnologia em forma de “S” (ou padrão logístico), que pode ser descrito pela equação (3):

$$S_t = \frac{K}{1 + e^{-(\alpha + \beta t)}} \quad (3)$$

em que S_t é o nível de adoção da nova tecnologia (medido, por exemplo, pela porcentagem de produtores que a adotaram) em cada período; K é o nível máximo esperado de adoção; α é um parâmetro que define o nível de adoção inicial; e β é um parâmetro que mede a rapidez com que os produtores adotam a nova tecnologia. Esses parâmetros podem ser estimados por Mínimos Quadrados Ordinários – MQO – tomando os logaritmos da função de ambos os lados. O processo é essencialmente econômico porque K , α e β são afetados pela lucratividade esperada com a adoção da nova tecnologia.

O ponto importante a destacar é que, embora os modelos inspirados no modelo clássico de difusão obviamente contemplem o fato de que influência e imitação são características básicas do processo de difusão tecnológica, eles não distinguem entre quem influencia e quem imita durante o processo. Isto é, ao assumirem que as decisões de adoção de novas tecnologias e comportamentos são tomadas com base no que está ocorrendo na população como um todo, eles não enfatizam o poder da influência interpessoal e outras características das diferentes redes sociais (TUTZAUER *et al.*, 2011; VALENTE; DAVIS, 1999). Uma das linhas de pesquisa exploradas mais recentemente

nessa direção é a interação de modelos de difusão com a dinâmica de redes sociais, como pode ser observado em Valente (2005). Esses modelos indicam que, se as interações sociais ocorrem em redes relativamente densas, o sistema pode apresentar múltiplos equilíbrios, o que significa que os mesmos fundamentos, por exemplo, as mesmas condições ambientais, podem produzir impactos muito diferentes sobre os sistemas econômicos em geral (SCHEINKMAN, 2008) e sobre sistemas de produção baseados na agricultura (WEISBUCH; BOUDJEMA, 1999).

Para incorporar informações sobre como os agentes se distribuem no território e outras, como seus limiares (*thresholds*) para a aceitação de novos comportamentos, tem-se crescentemente recorrido à Modelagem Baseada em Agentes (MATTHEWS *et al.*, 2007). Entretanto, esses modelos são insuficientes para entender a influência da topologia das redes sociais sobre o processo de difusão de inovações. Para fechar essa lacuna, propõe-se a metodologia proposta por Newman (2012), baseada nas descobertas da Análise de Redes Sociais e Modelos de Percolação, como já vem sendo feito em outros campos da Teoria Econômica, como o de Economia Regional (KRUGMAN, 1996). A teoria postula que, quanto mais conectados estiverem os vértices de uma matriz de interação social e maior sua predisposição a imitar o comportamento de seus vizinhos mais próximos, mais rápido tende a ser o processo de difusão de novas ideias ou tecnologias, pois essas tendem a atingir mais rapidamente uma massa crítica de agentes (NEWMAN, 2012).

Duas das mais importantes medidas computadas para as redes foram o coeficiente de agrupamento (*clustering coefficient*) e o coeficiente de correlação de Pearson (ajustado) entre as redes observadas e uma estrutura núcleo-periferia ideal. Há diversas formas de computar o grau de assortatividade de uma rede, as quais são mais informativas dependendo da aplicação que se tem em mente. Neste estudo, foram utilizadas quatro medidas de centralidade para caracterizar os agentes estudados. O grau de centralidade de um agente (*degree*) mede simplesmente o número de agentes com os quais ele interage de forma frequente; o grau de conectividade (*betweenness*) baseia-se na frequência com que um agente situa-se entre pares de outros agentes tomando por referência o caminho geodésico¹ mais curto entre eles; o grau de proximidade (*closeness*) baseia-se na medida em que um determinado agente encontra-se próximo a todos os outros agentes; e a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*), finalmente, é um indicador tradicionalmente usado para avaliar o *status* social em estudos sociológicos, o qual sintetiza, além dos contatos diretos, os indiretos dos agentes (PRELL, 2012; PODOLNY, 2010).

Para se avaliar quem são os agentes-chave para a disseminação de informações nas redes será utilizado, em princípio, o primeiro indicador, que pode ser computado sob duas formas, *in* e *out-degree*. Um agente com elevado *in-degree* de centralidade é um formador de opinião, alguém a quem muitas pessoas recorrem com frequência para se informar. Já um agente com elevado *out-degree* relaciona-se com grande número de pessoas, mas atua como disseminador de informações e não como formador de opinião. Ambos são importantes em determinada rede social (PRELL, 2012). Contudo, se for considerado que as pessoas tendem a se inspirar mais em formadores de opinião, estes deverão ser os agentes focalizados por políticas que visem apressar o ritmo de introdução de inovações técnicas ou comportamentais.

O indicador do grau de conectividade será computado para identificar indivíduos com maior poder de controle sobre a informação e eventuais lacunas estruturais no sistema (BURT; MERLUZZI, 2014). Indivíduos com elevado grau de conectividade são capazes, por exemplo, de reter ou distorcer informações vitais para os demais agentes sobre, por exemplo, as condições ambientais reais de um sistema particular. Uma lacuna estrutural (*structural hole*) ocorre quando dois subgrupos de uma rede não interagem devido à inexistência de agentes com elevado grau de conectividade e que, por isso, poderiam potencialmente atuar como conectores entre esses grupos (STEVENSON; GREENBERG, 2000).

¹ Caminho geodésico é o comprimento do grafo geodésico entre dois vértices. Na Teoria dos Grafos da Matemática, esse comprimento é o número de arestas presentes no menor caminho que conecta esses vértices. Em outras palavras, denomina-se distância $d(v, w)$ de um grafo como sendo o comprimento do menor caminho entre v e w (BOUQUIER *et al.*, 2003).

Os modelos híbridos surgem para lidar com questões que os modelos descritos anteriormente não podem responder suficientemente bem se utilizados separadamente. Ambas as metodologias anteriormente descritas se mostraram importantes na realização deste estudo. Porém, ao serem utilizadas individualmente, deixariam a desejar no que tange a aproximação à realidade da comunidade dos produtores irrigantes do PGO. Isso porque se perderia realismo ao não considerar as características individuais dos produtores ou ao não retratar o fato de as alterações no ambiente retroagirem sobre as decisões individuais dos mesmos. Faz-se necessário modelar a massa crítica de agentes (possível pela Dinâmica de Sistemas), bem como as características e nuances individuais de cada agente (possível pela Modelagem Baseada em Agentes). Fica clara, então, a importância de se fazer um modelo híbrido que permita a consideração de características individuais, bem como de efeitos gerais sobre os produtores.

A metodologia geral de análise da pesquisa, então, é aquela na qual estruturas complexas emergem da interação de agentes atuando em condições de racionalidade limitada e, por isso, adotando regras decisórias e comportamentais simples. A emergência desses agregados, entretanto, pode afetar o ambiente em que os agentes interagem por meio de ciclos de retroalimentação a serem identificados pela análise baseada na Dinâmica de Sistemas. Essas mudanças ambientais, finalmente, podem forçar os agentes a redefinir suas estratégias, o que levará à emergência de novas estruturas. O principal interesse em um modelo híbrido é a combinação dos efeitos de retroalimentação produzidos por massas críticas de agentes relativamente homogêneos e os efeitos sistêmicos espontâneos da interação de agentes heterogêneos (RAHMANDAD; STERMAN, 2008).

Para dotar o indivíduo da capacidade de escolher entre, por exemplo, adotar ou não uma nova prática, foi utilizada a ideia de autômato celular. Para tanto, define-se um conjunto contável de estados como, por exemplo, “adotando” ou “não adotando” e as regras de transição entre esses estados – descritas por variáveis auxiliares como as que representarão o limiar (*threshold*) para decisão sobre adoção, o benefício (*pay-off*) pela adoção e também a pela não adoção. Osgood (2009) indica que, em pesquisas como a aqui documentada, não é necessário definir detalhadamente um número exaustivo de estados, mas apenas estabelecer regras genéricas que definam condições de transição entre um estado e outro. Isto pode ser feito utilizando a função de condição disponível nos *softwares* para modelagem de Dinâmica de Sistemas e de Modelagem Baseada em Agentes (TESFATSION; JUDD, 2006).

Gilbert e Terna (2000) relacionam alguns princípios práticos como, por exemplo: a) é útil que os agentes sejam modelados dentro de um ambiente físico que lhes imponha restrições sobre suas respectivas localizações; b) quanto mais próximos estão dois agentes, mais propensos eles estarão de interagirem um com o outro e, também, mais capazes de influenciarem-se mutuamente; e c) cada agente tem um estado (por exemplo, “adotando” ou “não adotando”).

Modelos híbridos atendem a tais princípios práticos. Uma vez que os indivíduos são capazes de observar seu meio ambiente e reagir às mudanças nele ocorridas, as informações são transmitidas de duas maneiras: observando o nível das variáveis de estoque e avaliando o número de agentes aos quais um indivíduo está conectado que apresentam certas características; e os agentes interagem com seu ambiente, visto que as decisões individuais de se adotar ou não alteram esse ambiente por meio de variações no nível de variáveis de estoque, as quais podem colocar em ação ciclos de retroalimentação até então inativos, o que alterará as condições em que os agentes tomam decisões nos períodos seguintes.

A Figura 2 mostra que o modelo híbrido construído pode ser dito híbrido por se utilizar das abordagens de Dinâmica de Sistemas – DS – e de Modelagem Baseada em Agentes – MBA – de tal forma que uma complemente a outra. Na parte de Modelagem Baseada em Agentes, os agentes são modelados individualmente com suas respectivas características, dentre as quais estão seus relacionamentos, produto da Análise de Redes Sociais.

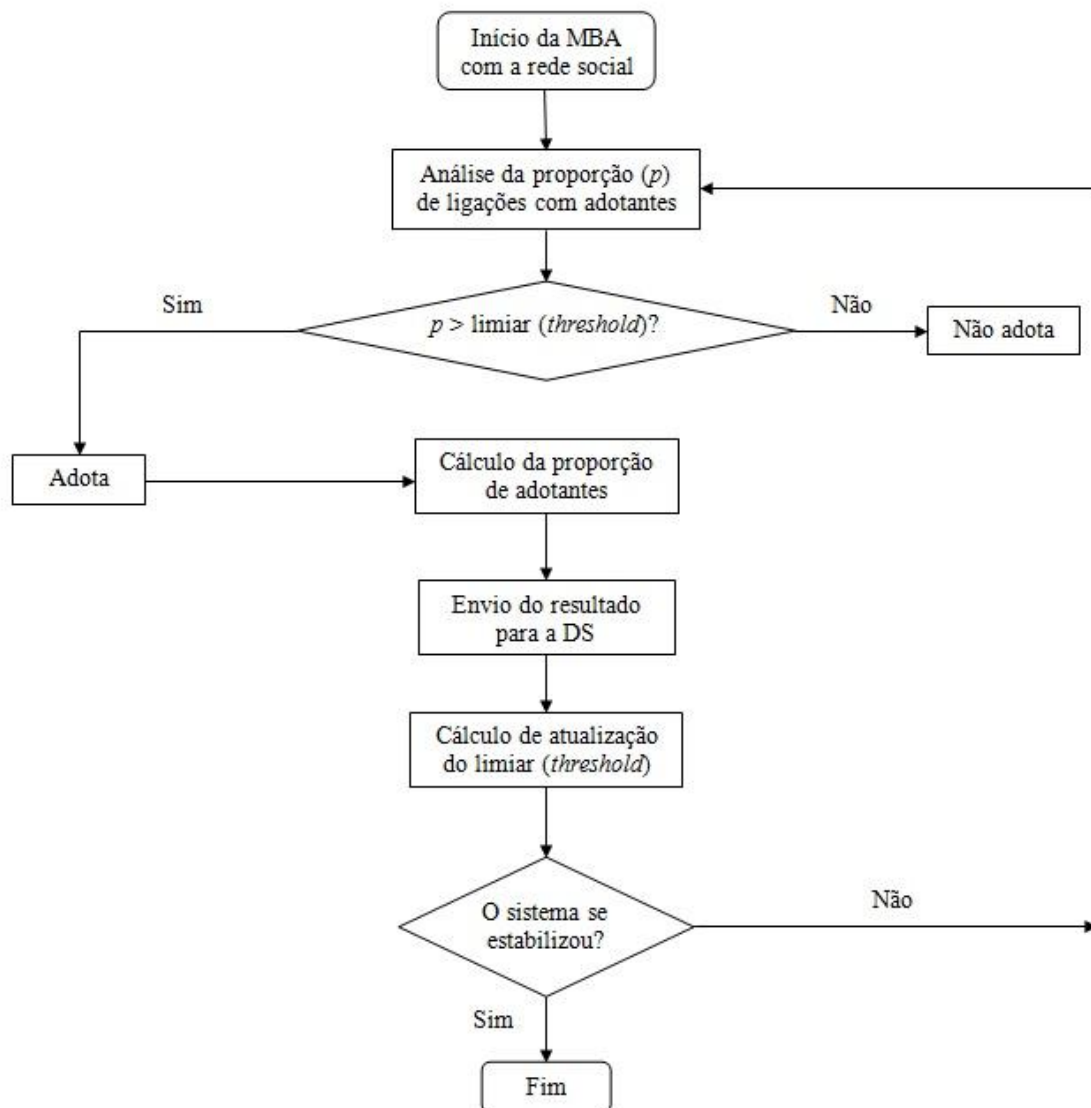


Figura 2 – Descrição do modelo de difusão utilizando agentes.

Pode-se observar na Figura 2 que, depois de tomadas as decisões individuais de se adotar ou não, a proporção total de adotantes é calculada. Essa proporção diz respeito a toda a rede, ou seja, nada mais é do que a relação entre o número de agentes adotantes e o número total de agentes nessa rede. As decisões individuais são tomadas observando o que fazem aqueles indivíduos que são importantes (por exemplo, tecnicamente) para cada agente (Modelagem Baseada em Agentes – MBA). Porém, a junção de todas essas decisões individuais provoca resultados gerais que afetam o ambiente no qual eles vivem (envio dos resultados da Modelagem Baseada em Agentes para a Dinâmica de Sistemas). Uma mudança no ambiente, por sua vez, retroage sobre os modelos mentais dos agentes tomadores de decisão (através da atualização do limiar decisório).

Os relacionamentos individuais dos agentes são modelados e analisados, dentro da Modelagem Baseada em Agentes, através da Análise de Redes Sociais. Cada agente analisa a proporção – p – de suas indicações que se dá com agentes adotantes, ou seja:

$$p = \frac{\text{número de adotantes dentre os indicados}}{\text{número de agentes indicados}} \quad (4)$$

em que p é a proporção de adotantes dentre todos aqueles agentes indicados por um indivíduo específico; *número de adotantes dentre os indicados* é o número daqueles agentes, indicados por um indivíduo específico, que adotam a nova prática ou tecnologia ou comportamento, dentre outros; e *número de agentes indicados* é o número total de agentes indicados como importantes

(tecnicamente ou afetivamente, dependendo da rede de interesse, se a Técnica ou a de Amizade, como explicitado na próxima subseção do texto) por um indivíduo específico.

A simulação considera o benefício de se adotar (*pay-off*) de “cinco por um” em relação à situação original (não adotante), ou seja, o benefício de se adotar uma nova tecnologia ou o de se estar informado é cinco vezes maior que o de não adotar ou não estar informado. Cabe ressaltar que esse é somente o possível benefício inicial. Isso porque a diferença entre os ganhos de adotar ou ter a informação e os de não adotar ou não ser informado é dinâmica e, inclusive, a principal ligação entre a Modelagem Baseada em Agentes e a Dinâmica de Sistemas. Essa arbitrariedade na determinação do benefício inicial, graças a esse benefício dinâmico, não impede o modelo de ser capaz de retratar uma propriedade fundamental dos sistemas complexos: a evolução. Decisões econômicas afetam o ambiente físico, que por sua vez determina o benefício associado à estratégia adotada. O benefício informacional inicial depende de qual informação está se tratando. O parâmetro, aqui suposto “cinco por um”, pode ser facilmente alterado de acordo com a necessidade do estudo. Por exemplo, no caso de se desejar estudar a difusão de uma nova tecnologia irrigante, pode-se computar monetariamente o ganho estimado de se adotar a nova tecnologia e colocar sua relação com os ganhos realizados sem a mesma como sendo os benefícios (*pay-offs*) iniciais.

Deve-se destacar que o protótipo aqui desenvolvido ainda é simplificado, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. Para os objetivos aqui pretendidos, supôs-se apenas que existe uma relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede no ganho com a adoção (BIRKE, 2009). Assim, a regra inicial para o cálculo do limiar decisório (*threshold*), ao verificar qual é o benefício maior entre o de se adotar e o de não adotar a nova prática, comportamento ou tecnologia, fica sendo:

$$p \cdot d \cdot a > (1 - p) \cdot d \cdot b \quad (5)$$

$$p \cdot a > b - p \cdot b \rightarrow p \cdot a + p \cdot b > b \rightarrow p > \frac{b}{(a + b)} \rightarrow p > \frac{1}{(5 + 1)}$$

$$p > 0,166667 \quad (6)$$

em que p continua sendo a proporção de indicados adotantes; $(1-p)$ é a proporção de indicados não adotantes; d é o total de indicações feitas por este indivíduo (*out-degree*); a é o benefício (*pay-off*) de se adotar; e b é o benefício (*pay-off*) de não se adotar.

A equação (5) é a regra decisória ao longo de toda a simulação. Porém, o resultado – observado na equação (6) – qual seja, o de que cada agente que tiver mais que 16,7% de suas indicações adotando também adotará, é o resultado da primeira unidade de tempo do modelo. No tempo 2 do modelo, esse valor pode se alterar, pois a e b dependem da proporção total de adotantes na rede (o que é aquela ligação da parte de Modelagem Baseada em Agentes com a de Dinâmica de Sistemas neste modelo), calculada ao fim da primeira unidade de tempo. O benefício de se adotar – a – aumenta à medida que a maior proporção dos agentes da rede adota; o oposto acontece com o benefício de não adotar – b .

A metodologia aqui utilizada permite identificar a capacidade de reação do PGO a choques, como a seca por exemplo. Isso se dá a partir da topologia de sua rede social. Pode-se entender agora que a parte de Dinâmica de Sistemas – DS – do modelo é usada para descrever propriedades agregadas de sistemas complexos, cuja dinâmica estoque-fluxo está sujeita a não linearidades e ciclos de retroalimentação – como em sistemas de irrigação e reservas pesqueiras – e que, por isso, podem apresentar propriedades não intuitivas, como perda súbita de sustentabilidade devido à ultrapassagem de “pontos de virada” (*tipping points*). Por sua própria natureza, entretanto, uma abordagem evolucionária como a proposta pela base teórica da Análise e Desenvolvimento Institucional deve ter necessariamente uma natureza algorítmica, em que sejam fornecidas instruções detalhadas aos agentes sobre como ajustar seus comportamentos em resposta a mudanças no contexto (ARTHUR, 2006). Como existe ampla gama de diferentes reações concebíveis em condições de racionalidade limitada, os agentes devem ser considerados individualmente na parte de Modelagem Baseada em Agentes do modelo híbrido, de modo a se levar em conta a heterogeneidade de seus atributos, como dotação de fatores, localização geográfica e capacidade de influenciar e ser influenciado por outros agentes. A modelagem da Análise de Redes Sociais

estabelece o contexto social em que as mudanças microcomportamentais ocorrem, definindo como estas se difundem pelas redes de conexão social e alteram as redes de interconexão pré-existentes. A parte de Dinâmica de Sistemas do modelo, novamente e por fim, especifica como a difusão dessas mudanças afeta o ambiente físico e institucional em que os indivíduos estão localizados.

2.1 Descrição da área de estudo e fonte de dados utilizados

O Perímetro de Irrigação Gorutuba (PGO) é um sistema de irrigação de médio porte alimentado por gravidade e localizado na região conhecida como polígono da seca no norte de Minas Gerais. Sua fonte hídrica é a Barragem Bico da Pedra e sua área total é de aproximadamente 11 mil hectares (sendo pouco mais de 7 mil hectares ocupados por produtores irrigantes). Situa-se no município de Nova Porteirinha, a jusante desta barragem, a partir da qual a água é conduzida por 134,3 km de canais (1 canal principal e outros 14 secundários), que abastecem cerca de 5 mil hectares irrigáveis, localizados a margem direita do rio Gorutuba.

O método de irrigação principal é o realizado por sulcos, que é utilizado em cerca de 50% da superfície irrigada por 443 produtores de frutas, grãos e outras culturas, em respectivamente 61%, 25% e 15% da área irrigada total do perímetro. Os irrigantes ocupam, além de uma área empresarial, 11 assentamentos distribuídos em cinco regiões, que operam com diferentes níveis de produtividade.

Configurando-se como grande polo de fruticultura irrigada do país, o PGO gera aproximadamente 9,5 mil empregos diretos e indiretos, produzindo cerca de 70 mil toneladas por ano de produtos agrícolas, o que representa geração de renda na ordem de 48 milhões de reais por ano (Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba – DIG, 2011). Considerando a área total irrigável do PGO, pode-se afirmar que aproximadamente 50% são de pequenos produtores familiares de subsistência e 50% de grandes produtores para comércio, tendo como principais culturas a banana, manga, mamão, uva e goiaba.

A forma mais simples de construir uma matriz de relações sociais como a que é adotada nesta pesquisa, é estabelecer, com base em dados levantados em pesquisa de campo previamente realizada, como os indivíduos se relacionam com os demais, por meio de uma matriz binária (BUENO, 2014a). Por exemplo, com base na simples informação de com quem o agente se relaciona socialmente de forma mais frequente ou a quem ele recorre para obter informações sobre o estado do sistema, pode-se identificar se cada agente mantém ou não relações sociais com os demais. Se ele as mantém, o valor atribuído à célula correspondente será “1” e “0” caso contrário. A Tabela 1 apresenta um exemplo hipotético de uma matriz de relações sociais entre três indivíduos.

Tabela 1 – Exemplo hipotético de matriz de relações sociais

	Indivíduo 1	Indivíduo 2	Indivíduo 3
Indivíduo 1	0	1	0
Indivíduo 2	1	0	1
Indivíduo 3	1	1	0

Fonte: elaboração própria.

No exemplo da Tabela 1, o Indivíduo 1 indicou, por exemplo, ter relação social ou buscar informações técnicas somente com o Indivíduo 2. O Indivíduo 2, por sua vez, indicou relações com o Indivíduo 1 e com o Indivíduo 3. Por fim, o Indivíduo 3 afirmou se relacionar com os indivíduos 1 e 2. Note que a diagonal principal da matriz relacional será sempre preenchida por zeros, ou seja, ninguém pode indicar a si mesmo. Os questionamentos são individuais, então, a matriz não precisa necessariamente ser simétrica, ou seja, pode não haver reciprocidade de indicações. Observe no exemplo acima que, mesmo o Indivíduo 3 tendo indicado o Indivíduo 1, esse não indicou aquele.

As informações para a elaboração das matrizes sociais foram obtidas por meio de um instrumento principal, no qual foi adotada a metodologia do tipo lista (*roster*, VALENTE *et al.*, 2008), em que questionários foram aplicados a cada um dos 443 produtores do PGO. No questionário havia uma lista de todos os produtores no perímetro e, assim, cada indivíduo foi requerido a responder questões sobre os demais produtores segundo escalas de níveis de concordância (escalas *Likert*), para facilitar as análises quantitativas (BUENO, 2014a). As duas

principais questões foram as seguintes: a) “A quem você recorre, ou recorreria, para obter informações ambientais e técnicas, tais como as sobre o clima, as condições de mercado para seus produtos, as novas técnicas produtivas e as novas tecnologias em irrigação?”; b) “Quem são aqueles, desta lista, com os quais você se encontra frequentemente em ocasiões sociais?”.

Nesta pesquisa foram construídas duas redes reais para o PGO, obtidas a partir dos dados primários coletados ao longo do ano de 2013 por Bueno (2014a). A primeira é a Rede Técnica. Nessa rede, as ligações (*links*) entre os agentes se dão com base na pergunta cuja resposta mostra quem são os agentes tecnicamente mais importantes para o respondente (a); ou seja, a quem aquele indivíduo recorre quando precisa de auxílio técnico, quais outros agentes ele observa se está adotando novas técnicas produtivas, dentre outros. A segunda rede é a Rede de Amizade, na qual as ligações representam os agentes com os quais o respondente mais se relaciona fora do tempo dedicado à produção, isto é, as relações de amizade ou de parentesco (b).

É importante ressaltar que apenas os irrigantes que mantêm pelo menos uma ligação técnica ou pelo menos uma ligação de amizade na respectiva rede foram considerados (VALENTE *et al.*, 2008). Na Rede Técnica, além dessa consideração, foi utilizada a técnica de se manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes (BUENO, 2015). Tal procedimento foi realizado para retirar os pequenos grupos de produtores desconectados da rede como um todo e assim obter resultados não viesados e consistentes no que tange à caracterização estrutural da rede (BORGATTI *et al.*, 2002). Na Rede de Amizade isso não foi necessário, pois não foram observados grupos de produtores desconectados. Isso já era esperado, na medida em que as pessoas que responderam ao questionário, em geral, têm relações fora do tempo dedicado à produção, quer elas sejam de amizade, quer de parentesco. Por outro lado, quando se tratar de relações técnicas, pequenas “ilhas” de produtores isolados poderiam mesmo existir.

A partir da matriz de relações sociais pode-se computar diversas características fundamentais para a difusão de novas tecnologias ou comportamentos em cada sistema e para diferentes redes sociais. Se, por exemplo, há interesse em entender como fluem novas tecnologias e práticas de produção, mais eficientes e economicamente sustentáveis, pode-se basear a análise em redes elaboradas com base nas respostas às questões relacionadas a esses temas. Por outro lado, se o interesse maior for à adoção de comportamentos mais consistentes com a resiliência dos sistemas produtivos a choques ambientais, é provável que questões sobre quem são os agentes conectores do sistema (agentes com maior grau de conectividade) sejam mais relevantes. Uma possível razão para isso é que esses indivíduos, por atuarem como pontes na difusão de informações, às vezes, mesmo preenchendo uma lacuna estrutural da rede, são frequentemente capazes de filtrar ou mesmo deturpar informações relevantes em seu próprio benefício.

3. Resultados e Discussão

Preliminarmente, de posse das informações extraídas dos dados primários coletados em campo por Bueno (2014a), e utilizando-se do programa Ucinet 6 (PRELL, 2012; BORGATTI *et al.*, 2002), foram computadas diversas características fundamentais para a difusão de novas práticas ou técnicas para o PGO. Tais características são importantes para definir a eficácia relativa de políticas para a disseminação de inovações capazes de elevar a eficiência no uso da água, reduzir despesas desnecessárias, elevar o cuidado com a manutenção dos canais de irrigação, dentre outras necessidades da agricultura irrigada do perímetro. Para realizar esses cálculos, foram construídas inicialmente duas matrizes binárias de interação social. A primeira foi a Rede Técnica. Nessa rede, as ligações entre os agentes se dão com base nas perguntas cujas respostas mostram quem são os agentes tecnicamente mais importantes para o respondente, ou seja, quem são os indivíduos procurados ou observados quando se precisa de auxílio técnico ou de capacitação. A segunda foi a Rede de Amizade, na qual as ligações representam os agentes com os quais o respondente mais se relaciona fora do tempo dedicado à produção. Em ambas as matrizes, uma célula qualquer apresenta o valor 1 no caso em que o produtor daquela linha indicou o produtor da coluna e 0 caso contrário.

A partir da Figura 3, pode-se fazer a análise gráfica das redes Técnica e de Amizade. O diagrama da parte (a) da Figura 3 mostra o resultado da análise de centralidade para os agentes

individuais da Rede Técnica, enquanto que a parte (b) da Figura 3 mostra o mesmo resultado para os da Rede de Amizade. A análise do grau de centralidade de cada agente nada mais é do que a observação do número de indicações recebidas pelos mesmos. Cada nó (círculo) representa um produtor irrigante do PGO e seu tamanho representa o respectivo grau de centralização, isto é, o número de agentes que o indicou como importante quando da resposta do questionário. O grau de centralização individual, assim, indica a importância desse agente para a disseminação de informações pelo sistema.

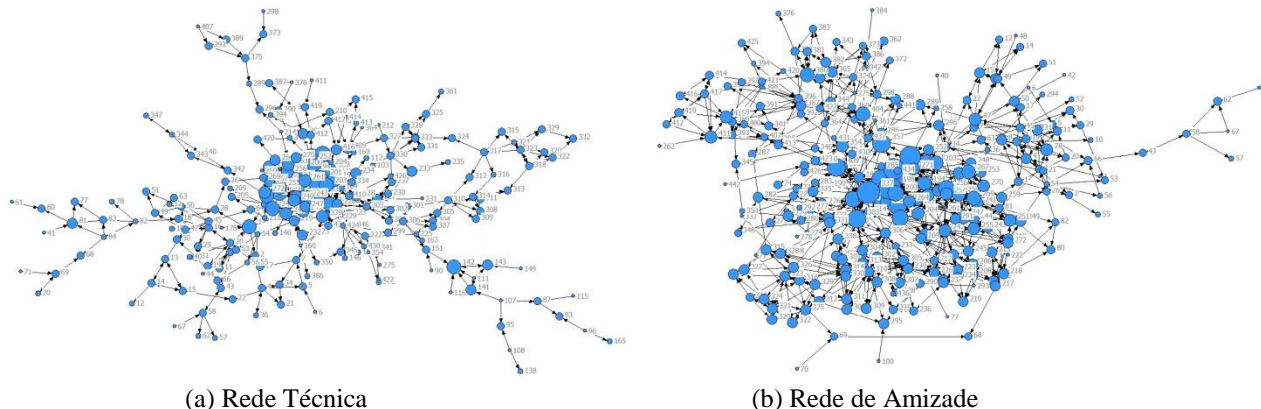


Figura 3 – Redes sociais do Perímetro de Irrigação Gorutuba.

Embora o grau de centralização do sistema como um todo pareça reduzido visualmente em ambas as redes (os nós, em geral, são pequenos), como mostra a Figura 3, é possível identificar agentes, principalmente na Rede Técnica, que se relacionam com número maior de outros produtores e, assim, deveriam ser vistos com mais atenção em termos de difusão de informações sobre novas práticas, comportamentos ou tecnologias de irrigação. Por exemplo, o agente de número 82, na Rede Técnica, é indicado por 10 outros agentes da rede como importante tecnicamente, demonstrando sua capacidade de influência sobre aproximadamente 5% dos indivíduos dessa rede social. Indivíduos como esse, ao se situarem em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação, podem filtrar, reter ou até mesmo distorcer as informações produzidas, por exemplo, por agências governamentais ou inovadoras. Surge daí a necessidade de se testar a hipótese de que, em sistemas socioecológicos, a adoção de novas práticas não depende apenas da disponibilidade de informação, mas da disseminação – ou não – de tais comportamentos.

Ainda com relação à análise da Figura 3, é importante ressaltar que na Rede Técnica foi utilizado o procedimento de se manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes. Tal procedimento foi realizado para retirar os pequenos grupos de produtores desconectados da rede como um todo e assim obter resultados não viesados e consistentes no que tange à caracterização estrutural da rede (BORGATTI *et al.*, 2002). Na Rede de Amizade isso não foi necessário, pois não se observou grupos de produtores desconectados. Pelo fato de as pessoas, em geral, terem relações além das de produção, como as de amizade e de parentesco, isso era esperado. Por outro lado, não raro, existem produtores isolados no que tange às relações técnicas.

O tamanho dos nós na Figura 3, como colocado anteriormente, representa o número de indicações recebidas (*in-degree*). Portanto, a análise gráfica daquelas duas redes sociais sugere que uma relação núcleo-periferia (*core-periphery*) é mais provável de ser encontrada na Rede Técnica em comparação com a Rede de Amizade. Essa indicação sugere que, na Rede Técnica, exista maior grau de heterofilia e, conseqüentemente, que esta rede seja mais disassortativa que a Rede de Amizade. Como a recíproca é verdadeira, aquela indicação sugere que, na Rede de Amizade, exista maior grau de homofilia e, conseqüentemente, que esta rede seja mais assortativa que a Rede Técnica. Em termos práticos, isso implica que os agentes, na Rede de Amizade, têm maior tendência a se conectarem preferencialmente com agentes semelhantes a si. Entenda-se que a semelhança aqui pode ser tanto em termos de topologia da rede quanto de atributos dos produtores, tais como sexo, raça, idade, classe social, tamanho da propriedade, região de localização da propriedade ou canal utilizado. Exemplo disso é o fato de que, em redes de amizade em geral,

pessoas de idades semelhantes tendem a estarem conectadas entre si, pois a similaridade entre os agentes facilita a transmissão de informações e conhecimento, aumenta a cooperação e evita potenciais conflitos (WEITZEL, 2013; MCPHERSON *et al.*, 2001; IBARRA, 1992).

Neste ponto do trabalho, então, optou-se por construir uma terceira rede social, somente a título de comparação. Para a construção dessa terceira rede foi feito o processo de religação (*rewiring*) de algumas conexões entre os agentes na Rede Técnica. Essa transformação é feita de modo que os agentes com maior número de indicações recebidas (*in-degree*) têm maior probabilidade de receber uma nova indicação. Isso se dá para que se tenha uma Rede Livre de Escala (*Scale-Free Network*). As redes do tipo “livre de escala” são caracteristicamente disassortativas, ou seja, caracteristicamente apresentam ligações que conectam diferentes grupos, apresentando nitidamente concentradores e raios (*hubs and spokes*), como em redes de aeroportos, por exemplo (COSTA *et al.*, 2007). O termo “*hubs and spokes*” é proveniente dos vários raios de uma bicicleta que apontam na direção do seu eixo central (concentrador). Isso significa que informações sobre as condições ambientais, mudanças climáticas, novas práticas, comportamentos e tecnologias disponíveis tendem a depender mais, teoricamente, dos agentes mais centrais do sistema. A Figura 4 apresenta a Rede Técnica Religada que é, então, do tipo “livre de escala”.



Figura 4 – Rede Técnica Religada do Perímetro de Irrigação Gorutuba.

A nova rede construída a partir da Rede Técnica – a Rede Técnica Religada – mostrou ainda mais nitidamente uma estrutura disassortativa com a predominância da heterofilia nas ligações entre os agentes (Figura 4). Diferentemente das duas redes anteriores, nesta, os concentradores são facilmente identificáveis e a mensuração de sua importância relativa se torna ainda mais urgente. Por exemplo, o agente de número 111, na Rede Técnica Religada, foi indicado por 28 outros agentes da rede como importante tecnicamente, demonstrando sua capacidade de influência sobre aproximadamente 12% dos indivíduos dessa rede social. Recorde-se aqui que, como já mencionado anteriormente, indivíduos como esses, ao se situarem em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação, podem filtrar, reter ou até mesmo distorcer as informações produzidas, por exemplo, por agências governamentais ou inovadoras. Esses agentes são cruciais para o teste sobre a primeira hipótese desta pesquisa, aquela que afirma que a adoção de novas práticas, em sistemas socioecológicos, depende da ocorrência da disseminação de informações e não da disponibilidade dessas.

O primeiro passo para o teste da referida hipótese é a mensuração do grau de assortatividade das redes sociais estudadas. A forma como a rede se distribui – assortativa ou disassortativamente – dará a indicação da importância relativa da disseminação e difusão do que quer que seja nessa rede.

A Tabela 2 apresenta as métricas computadas para se avaliar o grau de assortatividade das três redes sociais construídas. O coeficiente de agrupamento (*clustering coefficient*) é a fração de pares de produtores que têm ligação com um mesmo agente e também têm ligação entre si. A outra medida utilizada para se avaliar o grau de assortatividade das redes foi o coeficiente de correlação de Pearson (ajustado)² entre as redes observadas e uma estrutura núcleo-periferia ideal, a qual seria a rede de grau zero de assortatividade.

Tabela 2 – Indicadores de assortatividade para o PGO

Rede	Coeficiente de agrupamento	Coeficiente de correlação de Pearson (ajustado)
Técnica	0,097	0,183
De Amizade	0,180	0,206
Técnica Religada	0,013	0,093

Fonte: elaboração própria.

Redes sociológicas assortativas, normalmente, têm altos coeficientes de agrupamento, enquanto redes tecnológicas e biológicas – em geral disassortativas –, por sua vez, têm baixos valores para tal coeficiente (NEWMAN, 2012). Sistemas sociais tendem a se organizar assortativamente porque os indivíduos têm opções de escolha e as fazem a fim de criarem estruturas sociais que os favoreçam de alguma forma. Aí está o alto grau de homofilia presente nesse tipo de redes. Os semelhantes escolhendo conectarem-se aos semelhantes. Por outro lado, em sistemas nos quais a coleta de informações é mais valiosa, como nos ambientes físicos ou sociais altamente dinâmicos e, ou, com alto grau de incertezas, essas conexões mais convenientes são mais custosas ou menos recompensadoras quando se trata da obtenção de informações ou de relações comerciais (BRASS *et al.*, 2004). Nesse caso, como é o de um grande sistema de irrigação, a conexão a agentes mais centrais e mais conectados torna-se a melhor opção. Fica claro, portanto, que a heterofilia, ou seja, ligações com indivíduos social e espacialmente distantes, aparecerá espontaneamente em sistemas desse tipo. Os agentes que, por conta dessas características subjetivas, podem fechar as lacunas estruturais entre os diferentes agrupamentos, terão maior *status* social nessas redes (EVERETT; BORGATTI, 2005). A presença desses “agentes ponte”, então, explica os baixos coeficientes de agrupamento nas redes estudadas neste trabalho.

O grau de assortatividade medido pelo coeficiente de correlação de Pearson (ajustado), com relação a uma estrutura núcleo-periferia ideal, varia entre zero e a unidade e, quanto mais próximo de zero, maior a importância dos líderes para a difusão de informações, ou seja, menor a homofilia e, conseqüentemente, a assortatividade de uma determinada rede social. Assim, tomando as duas métricas calculadas (Tabela 2), é possível classificar ambas as redes como disassortativas, além de confirmar que a Rede Técnica é mais disassortativa que a Rede de Amizade, o que permite não rejeitar a primeira hipótese deste trabalho. Em outras palavras, a adoção de novas práticas, em sistemas socioecológicos como o aqui estudado, depende da ocorrência da disseminação de informações e não apenas da disponibilidade das mesmas, pois as ligações sociais de perímetros de irrigação desse tipo são disassortativamente distribuídas. Além disso, a Rede Técnica Religada, logicamente, é ainda mais disassortativa que a Rede Técnica originalmente observada. Em uma rede mais disassortativa, a importância de agentes mais influentes ou dos que agora preenchem lacunas estruturais no sistema fica aumentada. Assim, uma conclusão a que se chega é que, sob essas condições, a presença de uma massa crítica de agentes facilmente influenciáveis é menos importante para a difusão de informações do que a atuação de agentes mais influentes. Essa

² O coeficiente de correlação de Pearson é adimensional e varia entre -1 e +1. Valores mais próximos de -1 indicam forte correlação negativa; valores mais próximos de +1 indicam forte correlação positiva; e valores próximos a 0 indicam ausência de correlação. O ajustamento aqui foi realizado, então, de forma que o resultado fosse analisado da seguinte forma: quanto maior o valor resultante, maior é o grau de assortatividade da rede social analisada. Assim, valores mais próximos a 0 indicam maior correlação com a estrutura núcleo-periferia ideal (menor assortatividade), enquanto que valores mais próximos a +1 indicam menor correlação com a referida estrutura (maior assortatividade).

conclusão está em consonância com a literatura em Análise de Redes Sociais (WATTS; DODDS, 2007).

Os resultados acima expostos também geram importantes conclusões específicas para o PGO. A principal implicação prática, do fato de se identificar que a rede social dos produtores do PGO é disassortativa, é que campanhas de conscientização, para o uso mais racional da água, por exemplo, que visem atingir a todos os produtores, serão menos eficientes nesta rede do que treinamentos e capacitações específicas aos produtores mais influentes do perímetro de irrigação. Esse tipo de conclusão e sugestão aos gestores políticos do Distrito de Irrigação do Perímetro do Gortuba – DIG – implica em consequências benéficas para toda região, tais como economia de recursos, maior produção, menos desperdícios, manutenção mais adequada, disseminação da conscientização, dentre outras.

Agora, debruçando-se sobre os resultados para uma rede social como um todo, pode-se computar indicadores individuais, observando-se, assim, as características peculiares a cada um dos agentes que, somadas, representam bem a rede em questão. A Tabela 3 apresenta os valores médios, máximos e mínimos para quatro desses indicadores individuais.

Tabela 3 – Síntese de quatro indicadores individuais para os produtores do PGO

	Rede Técnica			Rede de Amizade		
	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo
Centralidade	2,11	10	0	3,25	11	0
Conectividade	285,11	3758,65	0	967,54	17036,94	0
Proximidade	3311,03	3745	2808	3230,87	5094	2298
Beta-centralidade	1180,22	28161,56	-1614,5	189,96	3072,24	0

Fonte: elaboração própria.

Deve-se ressaltar que as medidas são individuais e ordenáveis. Porém, dado o grande número de produtores do perímetro (443), fica inviável a listagem individualizada aqui. Portanto, valeu-se dos valores médios e extremos.

Em relação às métricas para os agentes sociais das redes, observa-se que o indicador de centralidade médio (*average in-degree*) do PGO é baixo para as duas redes sociais observadas, como mostra a Tabela 3. Isto indica que não há diferenças significativas entre os agentes em termos de capacidade de influenciar os demais, pois o grau de centralidade é baixo. Cada agente foi indicado em média por apenas dois outros agentes na Rede Técnica, enquanto que, na de Amizade, em média os agentes receberam três indicações. Porém, é interessante notar a discrepância entre o valor médio e o valor máximo para esse indicador. Isso porque o baixo valor médio, sinalizando a não diferenciação significativa entre os agentes em termos de capacidade de influenciar os demais, não está de acordo com os resultados de conclusões da seção anterior. Contudo, ao se observar aquela grande discrepância, logo nota-se que o baixo valor médio provém do fato de se ter muitos agentes pouco indicados e poucos agentes muito indicados. A implicação dessa observação é que há, sim, diferenças significativas entre os agentes em termos de capacidade de influenciar os demais, porque o baixo grau de centralidade provém do valor médio, o que não reflete bem as peculiaridades individuais.

O grau de conectividade (*betweenness*) mostra que, quando se compara o indivíduo médio da Rede Técnica com o da Rede de Amizade, o grau de intermediação daquele é menor que o deste. Isso quer dizer que, de forma geral, a capacidade de se articular informações entre grupos de indivíduos é maior na Rede de Amizade, o que valida o resultado encontrado no coeficiente de agrupamento para as redes (também maior na Rede de Amizade, Tabela 2). Além disso, os produtores relativamente mais conectados podem ser importantes para preencher lacunas estruturais no sistema em termos de informação. Essa capacidade se deve ao fato de se ligarem a indivíduos pouco conectados do sistema como um todo. Por isso, aqueles podem, pelo menos em princípio, servir como “pontes” de informação entre os agentes mais conectados e os menos conectados.

O grau de proximidade (*closeness*) menor, em média, na Rede de Amizade também está de acordo com aquele maior agrupamento encontrado anteriormente nesta rede social. Por fim, deve-se

analisar a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*), que é um indicador tradicionalmente usado para avaliar o *status* social em estudos sociológicos, o qual sintetiza os contatos diretos e indiretos dos agentes (PRELL, 2012). Este indicador foi maior na Rede Técnica. Dessa forma, ao considerar o grau de centralidade dos agentes aos quais um determinado indivíduo em análise está ligado, o resultado aponta para a maior probabilidade de existência de concentradores e raios (*hubs and spokes*) nesta rede em comparação à Rede de Amizade. Em outras palavras, é mais provável que os agentes elejam, mesmo que não intencionalmente, determinados indivíduos como centros de distribuição (*hubs*) de informações na Rede Técnica do que na Rede de Amizade. A implicação disso, em termos práticos, é que fica mais fácil de gerar disseminação via líderes de opinião naquela do que nessa rede.

A análise apresentada nesta seção do trabalho permitiu a identificação dos agentes mais influentes em cada uma das redes sociais estudadas. Esses resultados possibilitaram que se fizesse uma classificação para cada uma das medidas individuais, que indicam a ordem de importância dos produtores do PGO para a respectiva medida, atingindo mais um objetivo proposto para este trabalho.

Além disso, avaliou-se a melhor forma de se consolidar e expandir a adoção de novas práticas na agricultura irrigada, se estuda o papel da liderança na difusão e se obtém as sugestões de políticas eficientes para tal difusão. Deve-se recordar aqui que a análise realizada neste trabalho ainda é simplificada, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. A seção que apresentou a metodologia desta pesquisa deixou claro que, para os objetivos aqui pretendidos, supôs-se apenas que existe uma relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede no ganho com a adoção (BIRKE, 2009).

A Figura 5 mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, proporcionando a informação, inicialmente, aos agentes de maiores métricas de centralidade (*in-degree*). O tempo do modelo é adimensional e pode ser adequado para o caso específico que se almeja tratar (informação, prática ou tecnologia), fazendo-o ser mensurado em horas, dias, meses, anos etc. A parte (a) da figura apresenta o gráfico referente à Rede Técnica, enquanto que a parte (b) o referente à Rede de Amizade.

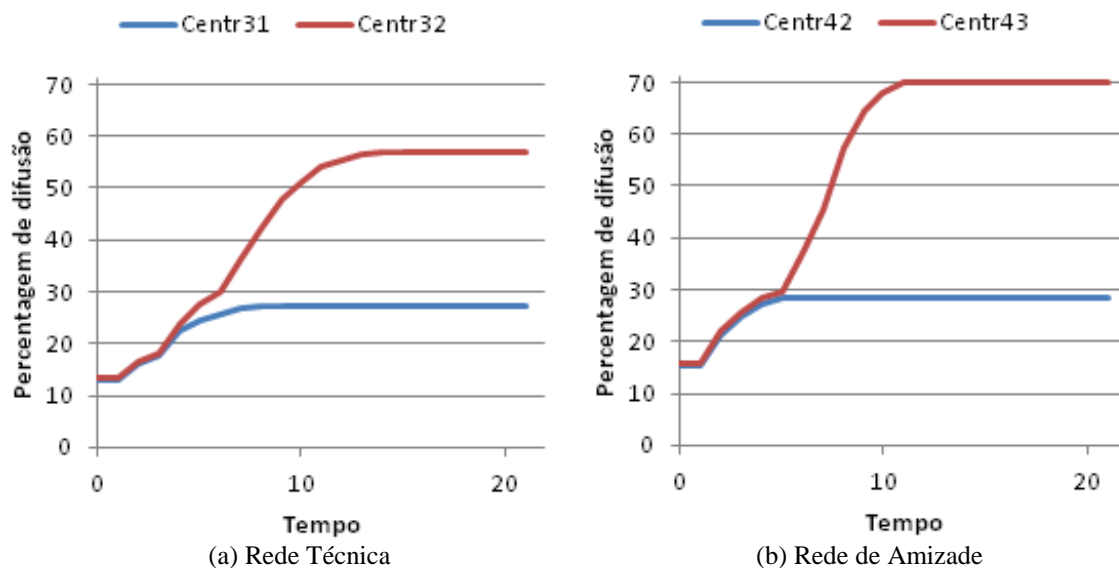


Figura 5 – Difusão pelos agentes de maior centralidade.

Nota: “Centr31”, “Centr32”, “Centr42” e “Centr43” indicam, respectivamente, os casos nos quais se informou inicialmente os 31, os 32, os 42 e os 43 agentes de maior grau de centralidade.

Na parte (a) da Figura 5, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação discreta mínima (um indivíduo) no número de agentes informados inicialmente na Rede Técnica. Nota-se que, quando se informa inicialmente os 31 agentes mais centrais da Rede Técnica, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Porém, basta informar os 32 indivíduos que receberam mais indicações, ou seja, somente se acrescenta o trigésimo segundo agente mais central à experiência

anterior, e se obtém a difusão de informações em cerca de 60% da Rede Técnica. Esses 32 indivíduos representam somente 14% dos 236 indivíduos da Rede Técnica. Esse resultado implica que, com um pequeno esforço – informar 14% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede. Cabe ressaltar que a Rede Técnica ficou com esse número de agentes após se utilizar da técnica de manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes, como explicado anteriormente.

Na Rede de Amizade (Figura 5b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para cerca de 70% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 43 produtores mais indicados. Aqui, 43 indivíduos representam 16% do total de indivíduos da Rede de Amizade. O resultado foi semelhante ao da Rede Técnica, também implicando que, com um pequeno esforço – informar 16% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difusão para a maior parte da rede.

Cabe ressaltar que o fato de a difusão ser mais difícil de ser alcançada na Rede de Amizade – 16% representa um esforço inicial maior que os anteriores 14% – está em acordo com os resultados anteriores que apontam a Rede Técnica como mais disassortativa que a Rede de Amizade. Além disso, o fato de, após a difusão, se atingir uma percentagem maior da rede na parte (b) da Figura 5 também está de acordo com os resultados anteriores. Isso ocorre, pois a Rede de Amizade é mais assortativa, ou seja, tem maior homofilia, ou maior coeficiente de agrupamento, sendo mais difícil de alcançar a difusão. Entretanto, quando a propagação é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam tal percentagem maior. Confirma-se a segunda hipótese deste trabalho. Os resultados supracitados mostraram que a eficiência da disseminação de novas práticas no PGO depende da forma como a rede social desse perímetro de irrigação está estruturada (mais assortativa ou mais disassortativamente).

A Figura 6, por sua vez, mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, informando inicialmente os agentes de maiores métricas de conectividade (*betweenness*). A parte (a) da figura apresenta o gráfico referente à Rede Técnica, enquanto que a parte (b) o referente à Rede de Amizade.

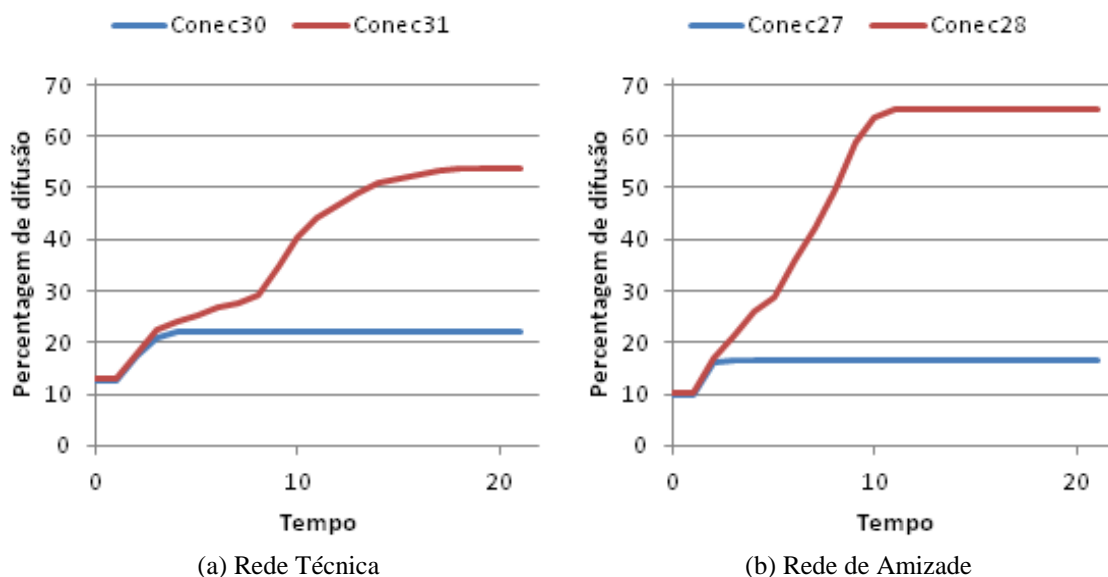


Figura 6 – Difusão pelos agentes de maior conectividade.

Nota: “Conec30”, “Conec31”, “Conec27” e “Conec28” indicam, respectivamente, os casos nos quais se informou inicialmente os 30, os 31, os 27 e os 28 agentes de maior grau de conectividade.

Na parte (a) da Figura 6, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação discreta mínima (um indivíduo) no número de agentes informados inicialmente na Rede Técnica. Nota-se que, quando se informa inicialmente os 30 agentes com maiores valores de conectividade da Rede Técnica, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Porém, basta informar os 31 indivíduos mais conectados, ou seja, somente se acrescenta o trigésimo primeiro agente mais conectado à experiência anterior, e se obtém a difusão de informações em mais de 50% da Rede Técnica. Cabe ressaltar que 31 indivíduos representam somente 13% do total de indivíduos da Rede Técnica que, após se utilizar da técnica de manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes, tem

236 produtores. Esse resultado implica que, com um pequeno esforço – informar 13% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede.

Na Rede de Amizade (Figura 6b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para aproximadamente 70% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 28 produtores mais conectados. Aqui, 28 indivíduos representam 10% do total de 271 indivíduos da Rede de Amizade. O resultado foi semelhante ao para a Rede Técnica, também implicando que, com um pequeno esforço – informar 10% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede.

Cabe ressaltar que o fato de se atingir percentagem maior da rede após a difusão – na parte (b) da Figura 6 – está de acordo com os resultados anteriores. Isso ocorre porque, novamente, a Rede de Amizade é mais assortativa, ou seja, tem maior homofilia, ou maior coeficiente de agrupamento e, dessa forma, quando a difusão é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam tal percentagem maior. Ao contrário dos resultados obtidos quando se analisou a centralidade, com relação à conectividade, a difusão foi alcançada mais facilmente na Rede de Amizade. Porém isso não contradiz os resultados da seção 4.1 deste trabalho, que apontaram a Rede Técnica como mais disassortativa que a Rede de Amizade. Deve-se recordar que, naquele momento, do cômputo dos coeficientes de agrupamento e de correlação de Pearson, a medida individual em voga era a centralidade (*in-degree*) e não a conectividade (*betweenness*).

A Figura 7 mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, informando inicialmente os agentes de maiores graus de proximidade (*closeness*). A parte (a) da figura apresenta o gráfico referente à Rede Técnica, enquanto que a parte (b) o referente à Rede de Amizade.

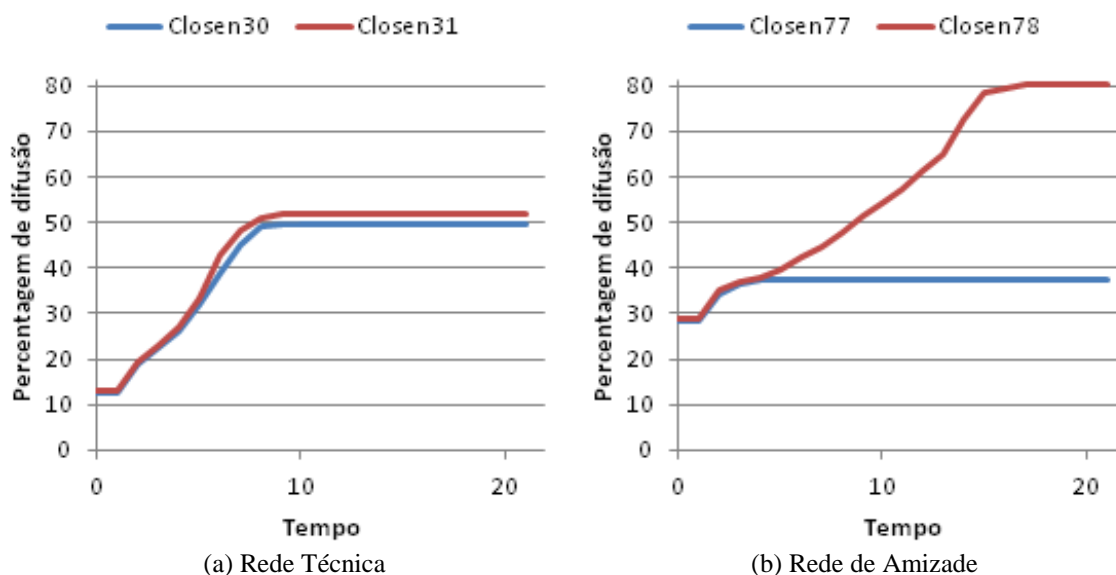


Figura 7 – Difusão pelos agentes de maior grau de proximidade.

Nota: “Closen30”, “Closen31”, “Closen77” e “Closen78” indicam, respectivamente, os casos nos quais se informou inicialmente os 30, os 31, os 77 e os 78 agentes de maior grau de proximidade.

Na parte (a) da Figura 7, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação discreta mínima (um indivíduo) no número de agentes informados inicialmente na Rede Técnica. Nota-se que, quando se informa inicialmente os 30 agentes com maiores graus de proximidade da Rede Técnica, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Além disso, quando se informa os 31 indivíduos com maiores graus de proximidade, ou seja, quando se acrescenta o trigésimo primeiro agente mais conectado à experiência anterior, se obtém a difusão de informações em mais de 50% da Rede Técnica. Porém, não houve um salto para a difusão ou um “ponto de virada” (*tipping point*). Aqui, 31 indivíduos representam somente 13% do total de componentes da Rede Técnica que, após se utilizar da técnica de se manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes, tem 236 produtores. Esse resultado implica que os gestores do DIG conseguiriam difusão para a maior parte da rede informando somente 13% de seus agentes.

Na Rede de Amizade (Figura 7b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para cerca 80% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 78 produtores de maiores grau de proximidade. Aqui, 78 indivíduos representam 29% do total de 271 indivíduos da Rede de Amizade. O resultado foi semelhante aos anteriores para Rede Técnica, também implicando que, com um pequeno esforço – informar 29% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difusão para quase que a totalidade da rede.

Cabe ressaltar que o fato de, após a difusão, se atingir uma percentagem maior da rede na parte (b) da Figura 7 está de acordo com os resultados anteriores. Novamente, quando a difusão é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam tal percentagem maior porque a Rede de Amizade é mais assortativa, ou seja, tem maior homofilia, ou maior coeficiente de agrupamento. Ao contrário dos resultados obtidos anteriormente, com relação à proximidade, não houve um salto para a difusão a partir de uma variação discreta na informação inicial para a Rede Técnica. Porém, isso não contradiz os resultados da seção 4.1 deste trabalho, que apontaram a Rede Técnica como mais disassortativa que a Rede de Amizade. Isso é explicado, pois, além de o grau de proximidade ser menos importante para a difusão que as métricas analisadas anteriormente, deve-se recordar que, no momento do cômputo dos coeficientes de agrupamento e de correlação de Pearson, a medida individual em voga era a centralidade (*in-degree*) e não a proximidade (*closeness*).

A Figura 8 mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, informando inicialmente os agentes de maiores beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*). A parte (a) da figura apresenta o gráfico referente à Rede Técnica, enquanto que a parte (b) o referente à Rede de Amizade.

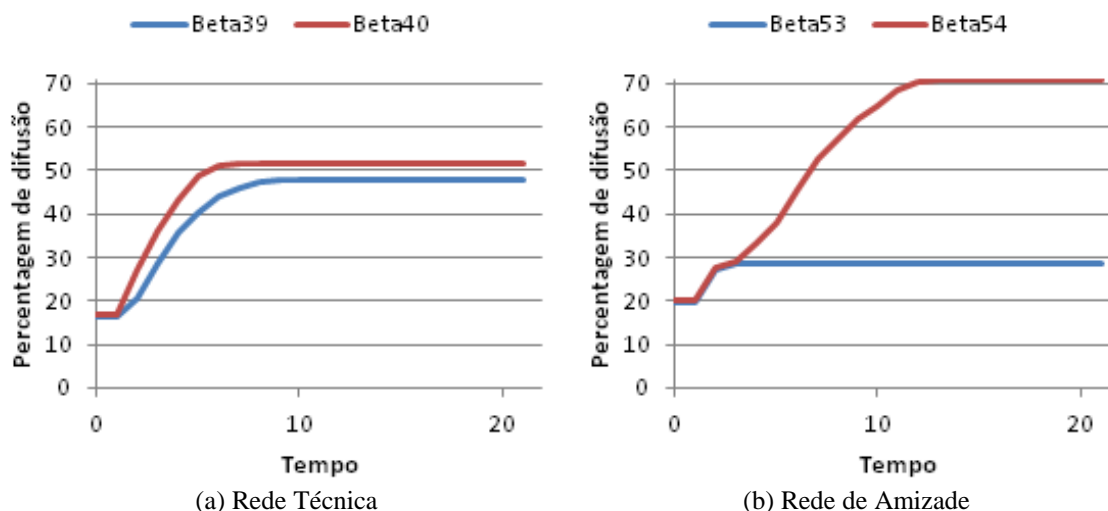


Figura 8 – Difusão pelos agentes de maior beta-centralidade.

Nota: “Beta39”, “Beta40”, “Beta53” e “Beta54” indicam, respectivamente, os casos nos quais se informou inicialmente os 39, os 40, os 53 e os 54 agentes de maior beta-centralidade de Bonacich.

Na parte (a) da Figura 8, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação discreta mínima (um indivíduo) no número de agentes informados inicialmente na Rede Técnica. Nota-se que, quando se informa inicialmente os 39 agentes com maiores beta-centralidade de Bonacich da Rede Técnica, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Além disso, quando se informa os 40 indivíduos com maiores beta-centralidade de Bonacich, ou seja, quando se acrescenta o quadragésimo agente de maior beta-centralidade de Bonacich à experiência anterior, se obtém a difusão de informações em mais de 50% da Rede Técnica. Porém, assim como para a proximidade, não houve um salto para a difusão ou um “ponto de virada” (*tipping point*). Aqui, 40 indivíduos representam somente 17% do total de indivíduos da Rede Técnica que, após se utilizar da técnica de se manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes, tem 236 produtores. Esse resultado implica que, com um pequeno esforço – informar 17% da rede – os gestores do DIG conseguiriam propagação da informação, prática ou técnica almejada para a maior parte da rede.

Na Rede de Amizade (Figura 8b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para cerca 70% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 54 produtores de maiores beta-centralidade

de Bonacich. Aqui, 54 indivíduos representam 20% do total de 271 indivíduos da Rede de Amizade. O resultado foi semelhante aos anteriores para Rede Técnica, também implicando que, com um pequeno esforço – informar 20% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difusão para grande parte da rede.

Cabe ressaltar que o fato de, após a difusão, se atingir uma percentagem maior da rede na parte (b) da Figura 8, está de acordo com os resultados anteriores. Mais uma vez, como a Rede de Amizade é mais assortativa, ou seja, tem maior homofilia, ou maior coeficiente de agrupamento, quando a difusão é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam tal percentagem maior. Como os resultados obtidos para a proximidade, com relação à beta-centralidade de Bonacich, não houve um salto para a difusão a partir de uma variação discreta na informação inicial para a Rede Técnica. Porém, isso não contradiz os resultados da seção 4.1 deste trabalho, que apontaram a Rede Técnica como mais disassortativa que a Rede de Amizade. Porque, além de a beta-centralidade de Bonacich ser menos importante para a difusão que as métricas analisadas anteriormente, deve-se recordar que a medida individual em voga era a centralidade (*in-degree*) e não a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*) naquele momento em que se computou os coeficientes de agrupamento e de correlação de Pearson.

Para finalizar esta seção do texto, cabe evidenciar que a análise tanto da medida de centralidade, quanto da de conectividade, mostrou-se eficaz na identificação dos comportamentos mais adequados para a disseminação de boas práticas adaptativas ou inovadoras por parte dos gestores políticos do DIG, atingindo um dos objetivos específicos deste trabalho. Os resultados deste esforço de pesquisa apontam que, por se tratarem de duas redes sociais disassortativamente distribuídas, políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo devem se basear na focalização de agentes líderes, resultado ainda mais evidenciado na Rede Técnica – mais disassortativa que a Rede de Amizade. Este resultado pode ser considerado compatível com uma série de estudos na difusão de novas tecnologias e comportamentos (BUENO, 2014a; WATTS e DODDS, 2007; ROGERS, 2003; MORRIS, 2003). Para além de ter os resultados suportados pela literatura, o presente trabalho proporciona resultados originais para o PGO na medida em que identifica os pontos de virada específicos de acordo com as principais medidas individuais e das redes, valendo-se de simulador e modelo robustos.

Pode-se afirmar que um resultado essencial deste estudo é a afirmação de que não é necessário persuadir toda a massa de indivíduos da rede social do PGO com novas informações. Pelo contrário, tais informações podem ser disseminadas por grande parte do perímetro de irrigação atingindo-se agentes-chave. Esse resultado tem importantes implicações políticas. Por exemplo, poderia ser indicado aos gestores do DIG quantos produtores – e quais seriam eles – devem ser capacitados sobre mitigação ou adaptação aos problemas oriundos das mudanças climáticas. Alternativamente, poderiam ser oferecidos subsídios para a adoção de novas tecnologias mais econômicas em água, insumo que é cada vez mais escasso na região, dentre outras possibilidades.

4. Conclusões

As recentes mudanças climáticas globais vêm sendo discutidas com maior intensidade por conta dos comprovados aumentos de temperatura acompanhados pela elevação também da frequência e severidade dos ditos eventos climáticos extremos, além das drásticas mudanças nos regimes de chuvas. A economia não está alheia à busca por soluções nessa área, haja vista a tamanha vulnerabilidade, não só dos ecossistemas, mas também dos sistemas humanos frente a tais mudanças. Apesar do fato de os impactos adversos das mudanças climáticas serem sobre todos os sistemas humanos ou naturais, eles afetam de forma variada as diferentes regiões e os diferentes setores da economia. As regiões áridas e semiáridas são as maiores prejudicadas pelas alterações pluviométricas, as tornando ainda mais dependentes da agricultura irrigada. Os setores nos quais se espera maiores perdas são os agrícolas dos países em desenvolvimento. No Brasil, perdas econômicas na produção agropecuária são fortemente indesejáveis, uma vez que essa produção responde por parcela significativa da renda nacional. Ademais, o Brasil tem grande parte de seu

território em áreas áridas ou semiáridas, com indicadores socioeconômicos alarmantes na maioria das vezes.

Este estudo procurou contemplar simultaneamente as dimensões técnica, climática, econômica e institucional da agricultura irrigada de um perímetro característico do semiárido brasileiro. A presente pesquisa estudou o Perímetro de Irrigação Gorutuba – PGO, que está localizado no semiárido do norte de Minas Gerais, região bastante seca e dependente da agricultura irrigada. Além disso, as mudanças climáticas vêm nitidamente contribuindo para a fragilidade socioeconômica dos produtores do PGO.

A estratégia de trabalho considerada foi a de gerar um ambiente de simulação computacional que fosse capaz de apontar a melhor forma de se disseminar novas práticas, informações e, ou, tecnologias por todo o perímetro de irrigação. O objetivo é o de proporcionar aos gestores políticos e aos produtores do PGO formas de se identificar e, eventualmente, solucionar problemas sistêmicos que amplificam o efeito dos choques ambientais causados pelas mudanças climáticas, sobre os sistemas em que operam.

Metodologicamente, as abordagens de Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics*), Modelagem Baseada em Agentes (*Agent Based Modeling*) e Análise de Redes Sociais (*Social Network Analysis*) foram utilizadas na construção de um modelo de simulação híbrido. O motivo de utilização das duas primeiras é o fato de contemplarem as interações complexas entre os ambientes físico e institucional que culminarão no ambiente político. A terceira abordagem foi utilizada dentro da segunda na análise de como as topologias das redes sociais – tecnológicas ou sociológicas – influenciam no desenvolvimento de comportamento coletivo capaz de assegurar a resiliência do sistema socioecológico do PGO.

A análise das características e aspectos estruturais das redes sociais do PGO, tais como seus coeficientes de agrupamento e de correlação de Pearson, permitiram a identificação dos fatores fundamentais para a difusão de novas práticas ou técnicas nesse perímetro de irrigação. Tais características se mostraram importantes na definição da eficácia relativa de políticas para a disseminação de inovações capazes de elevar a eficiência no uso da água, reduzir despesas desnecessárias, elevar o cuidado com a manutenção dos canais de irrigação, dentre outras necessidades da agricultura irrigada do perímetro. Mesmo com um grau de centralização baixo para o sistema, tanto na Rede Técnica quanto na Rede de Amizade, identificou-se agentes que se relacionam com número maior de outros produtores. A teoria aponta que esse resultado implica a necessidade de maior atenção – em termos de difusão de informações sobre novas práticas, comportamentos ou tecnologias de irrigação – com relação a tais agentes. Conclui-se, a partir desse resultado, que aqueles agentes mais centrais encontram-se em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação. Essa localização dentro da rede social os permite ser disseminadores, o que pode ser positivo ou negativo dependendo se tal disseminação se trata de uma nova prática mais econômica em água ou de uma crise econômica por exemplo. Confirmou-se a expectativa de que a adoção de novas práticas não depende tão somente da disponibilidade de informação, mas da disseminação – ou não – de tais comportamentos por determinado sistema socioecológico.

A busca por relações com indivíduos semelhantes tanto em termos de topologia da rede quanto de atributos dos produtores, tais como sexo, raça, idade, classe social, tamanho da propriedade, região de localização da propriedade ou canal utilizado, foi mais caracteristicamente observada na Rede de Amizade em comparação com a Rede Técnica. Isso implica que naquela rede se tem maior grau de homofilia que nessa, apesar de ambas serem classificadas como disassortativas. Como a literatura aponta redes tecnológicas como mais disassortativas, enquanto que redes sociológicas como mais assortativas, os resultados deste trabalho vão ao encontro da literatura na medida em que apontam que as relações na Rede Técnica são mais disassortativamente distribuídas do que na Rede de Amizade. Esse resultado permite concluir que quando se trata de informações técnicas, tais como as referentes às mudanças climáticas ou às novas tecnologias disponíveis, a disseminação das mesmas é dependente dos agentes mais centrais do sistema – os concentradores (*hubs*). O que é uma importante conclusão dada a confirmação da hipótese de que,

em sistemas como o aqui estudado, a adoção de novas práticas e comportamentos depende da ocorrência da propagação das informações e não somente da disponibilidade dessas.

Em se tratando de um grande sistema de irrigação, as relações técnicas com agentes mais centrais e mais conectados se mostraram a melhor opção. Ficou claro que a heterofilia aparece espontaneamente em sistemas desse tipo. Pode-se concluir que os agentes que podem fechar as lacunas estruturais entre os diferentes agrupamentos terão maior *status* social em redes técnicas. Sob essas condições, a presença de uma massa crítica de agentes facilmente influenciáveis é menos importante para a difusão de informações do que a atuação de agentes mais influentes. Assim, campanhas de conscientização como, por exemplo, para o uso mais racional da água que visem atingir a todos os produtores serão menos eficientes do que treinamentos e capacitações específicas aos produtores mais influentes do PGO.

Os cálculos dos graus de centralidade, de conectividade, de proximidade e de beta-centralidade para cada produtor do PGO permitiram a identificação dos agentes-chave para a disseminação de práticas que aumentem a resiliência desse sistema. Diferenças significativas entre os agentes, em termos de capacidade de influenciar os demais, foram observadas. Os resultados permitiram que se fizesse uma classificação indicativa da ordem de importância dos produtores do PGO para cada uma das medidas individuais computadas – grau de centralidade (*degree*), grau de conectividade (*betweenness*), grau de proximidade (*closeness*) e beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*) –, o que foi um dos objetivos proposto para este trabalho.

Por fim, a análise dos resultados obtidos pela simulação da difusão de informações permitiu a identificação dos prováveis comportamentos mais adequados e inadequados para a disseminação de práticas adaptativas ou de novas tecnologias no PGO. O objetivo foi o de se avaliar a melhor forma de se consolidar e expandir a adoção de novas práticas na agricultura irrigada, além de se estudar o papel da liderança no PGO e se obter as sugestões de políticas eficientes para tal difusão de adoção. As análises das medidas de centralidade e de conectividade mostraram-se mais eficazes na identificação dos comportamentos mais adequados para a disseminação de boas práticas adaptativas ou inovadoras por parte dos gestores políticos do Distrito de Irrigação do Perímetro do Gortuba – DIG.

De forma geral, os resultados mostraram que, com um pequeno esforço, os gestores do DIG podem conseguir difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede social do PGO. A eficiência dessa difusão depende da forma como a rede social desse perímetro de irrigação está estruturada, sendo que a em questão foi provada ser estruturada disassortativamente. Assim, políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo devem se basear na focalização de agentes líderes. Não é necessário persuadir toda a massa de indivíduos da rede social do PGO com novas informações, pois tais informações podem ser disseminadas por grande parte do perímetro de irrigação atingindo-se somente os agentes-chave. Esse resultado é a principal sugestão política aos gestores do DIG. Após este trabalho, é possível se dizer quantos produtores – e quais seriam eles – devem ser capacitados sobre mitigação ou adaptação aos problemas oriundos das mudanças climáticas. Mostrou-se que, além de mais dispendiosa, a tentativa de convencimento geral dos produtores sobre os temas supracitados seria menos eficiente e, portanto, deve ser evitada. Essas são apenas algumas das inúmeras aplicações que se espera fazer da abordagem proposta.

Por fim, é necessário ressaltar algumas limitações do estudo. A análise realizada neste trabalho ainda é simplificada, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. Além disso, para os objetivos aqui pretendidos, supôs-se apenas que existe uma relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede nos ganhos com a adoção. Por se tratar de um estudo específico, este trabalho não permite a verificação das implicações de seus resultados sobre outros sistemas que não os de irrigação, apesar de ser um grande passo para o futuro desenvolvimento de modelos semelhantes para tais. Sugere-se que futuros trabalhos levem em consideração esses pontos levantados.

5. Referências Bibliográficas

- ACEMOGLU, Daron; CARVALHO, V.; OZDAGLAR, A.; TAHBAZ-SALEHI, A. The network origins of aggregate fluctuations. **Econometrica**, v. 80, n. 5, p. 1977-2016, 2012.
- ARTHUR, W. Brian. Out-of-equilibrium economics and agent-based modeling. In: TEFATSION, Leigh; JUDD, Kenneth L. (Ed.). **Handbook of computational economics: agent-based computational economics**. Elsevier, v. 2, p. 1551-1564, 2006.
- BIRKE, Daniel. The economics of networks: a survey of the empirical literature. **Journal of Economic Surveys**, v. 23, n. 4, p. 762-793, 2009.
- BODIN, Örjan; CRONA, Beatrice. Barriers and opportunities in transforming to sustainable governance: the role of key individuals. In: BODIN, Örjan; PRELL, Christina (Ed.). **Social networks and natural resource management: uncovering the social fabric of environmental governance**. Cambridge University Press, 2011.
- BORGATTI, Stephen P.; EVERETT, Martin G.; FREEMAN, Linton C. Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis. Harvard, MA: Analytic Technologies, 2002.
- BOUETTIER, Jérémie; DI FRANCESCO, Philippe; GUITTER, Emmanuel. Geodesic distance in planar graphs. **Nuclear Physics B**, v. 663, n. 3, p. 535-567, 2003.
- BRASS, Daniel; GALASKIEWICZ, J.; GREVE, H. R.; TSAI, W. Taking stock of networks and organizations: A multilevel perspective. **Academy of management journal**, v. 47, n. 6, p. 795-817, 2004.
- BUENO, Newton Paulo. Are opinion leaders important to spread information to cope with extreme droughts in (all) irrigation systems? A network analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 817-824, 2015.
- _____. Improving communication in drought preparedness campaigns in irrigation systems: a network analysis. **Business and management review**, v. 4, n. 1, 2014a.
- _____. Misperceptions of feedbacks and the resilience of common-pool resource systems: a discussion for irrigation systems based on loop dominance analysis. **International Journal of the Commons**, v. 8, n. 1, p. 79-106, 2014b.
- _____. Institutions and Natural Resources Sustainability in Poor Socio-Ecological Systems: Closing some Dynamical Loops. **Journal of Interdisciplinary Economics**, v. 21, n. 3, p. 233-253, 2009.
- BURT, Ronald S.; MERLUZZI, Jennifer. Embedded brokerage: hubs versus locals. In: BORGATTI, S. P.; MEHRA, A.; LABIANCA, G. J.; BRASS, D. J. (Ed.). **Contemporary perspectives on organizational social networks**. Emerald Group Publishing Limited, p. 161-177, 2014.
- CARVALHO, Vasco M. From micro to macro via production networks. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 28, n. 4, p. 23-47, 2014.
- COELHO, E.; COELHO FILHO, M.; SIMÕES, W.; COELHO, Y. Irrigação em citrus nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja, Cordeirópolis**, v. 27, n. 2, p. 297-320, 2006.
- COSTA, L. da F.; RODRIGUES, F. A.; TRAVIESO, G.; VILLAS BOAS, P. R. Characterization of complex networks: A survey of measurements. **Advances in Physics**, v. 56, n. 1, p. 167-242, 2007.
- COYLE, Robert Geoffrey. **System dynamics modelling: a practical approach**. CRC Press, 1996.
- CRONA, Beatrice *et al.* Combining social network approaches with social theories to improve understanding of natural resource governance. In: BODIN, Örjan; PRELL, Christina (Eds.). **Social networks and natural resource management: uncovering the social fabric of environmental governance**. Cambridge University Press, 2011.
- CUNHA, Dênis Antônio da; COELHO, Alexandre Bragança; FÉRES, José Gustavo. Irrigation as an adaptive strategy to climate change: an economic perspective on Brazilian agriculture. **Environment and Development Economics** (Online), v. 20, n. 01, p. 57-79, 2015.
- DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO PERÍMETRO DO GORUTUBA – DIG. Histórico e diagnóstico hidrológico do Perímetro de Irrigação Gorutuba. Janaúba - MG, setembro, 2015. Disponível em: <

<http://www.dig.org.br/noticia/HISTORICO-E-DIAGNOSTICO-HIDROLOGICO-DO-PERIMETRO-DE-IRRIGACAO-GORUTUBA-distrito-do-gorutuba/139/>. Acesso em 14 janeiro 2016.

- _____. Caracterização do Perímetro de Irrigação Gorutuba, 2011. Disponível em: <<http://www.dig.org.br/noticia/Caracterizacao-do-Perimetro-de-Irrigacao-Gorutuba-distrito-do-gorutuba/31/>>. Acesso em 24 junho 2015.
- EVERETT, Martin; BORGATTI, Stephen P. Ego network betweenness. **Social networks**, v. 27, n. 1, p. 31-38, 2005.
- FORD, David N. A behavioral approach to feedback loop dominance analysis. **System Dynamics Review**, v. 15, n. 1, p. 3, 1999.
- GILBERT, Nigel. Agent-based models (quantitative applications in the social sciences). **Series**, v. 7, p. 2006, 2008.
- GILBERT, Nigel; TERNA, Pietro. How to build and use agent-based models in social science. **Mind & Society**, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2000.
- GRILICHES, Zvi. Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. **Econometrica, Journal of the Econometric Society**, 25: p. 501-522, 1957.
- IBARRA, Herminia. Homophily and differential returns: Sex differences in network structure and access in an advertising firm. **Administrative science quarterly**, v.37, n.3, p. 422-447. 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE: Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm>>. Acesso em 24 junho 2015.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (Ed.). Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- KRUGMAN, Paul. Confronting the mystery of urban hierarchy. **Journal of the Japanese and International economies**, v. 10, n. 4, p. 399-418, 1996.
- MACY, Michael W.; WILLER, Robert. From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling. **Annual review of sociology**, p. 143-166, 2002.
- MATTHEWS, Robin B.; GILBERT, N. G.; ROACH, A.; POLHILL, J. G.; GOTTS, N. M. Agent-based land-use models: a review of applications. **Landscape Ecology**, v. 22, n. 10, p. 1447-1459, 2007.
- MCPHERSON, Miller; SMITH-LOVIN, Lynn; COOK, James M. Birds of a feather: Homophily in social networks. **Annual review of sociology**, v.27, p. 415-444, 2001.
- MEINZEN-DICK, Ruth. Beyond panaceas in water institutions. **Proceedings of the national Academy of sciences**, v. 104, n. 39, p. 15200-15205, 2007.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Caderno Setorial de Recursos Hídricos: agropecuária. Brasília: MMA. 2006.
- MORRIS, Martina. **Local rules and global properties: Modeling the emergence of network structure**. na, 2003.
- NELSON, Gerald C.; VALIN, H.; SANDS, R. D.; HAVLÍK, P.; AHAMMAD, H.; DERYNG, D.; KYLE, P. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 9, p. 3274-3279, 2014.
- NEWMAN, Mark E. J. **Networks: an introduction**. Oxford University Press, 2012.
- NUNES, Cleonice Dos Santos. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, 2011.
- OSGOOD, Nathaniel. Representing progression and interactions of comorbidities in aggregate and individual-based systems models. In: **Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society**. Albuquerque, New Mexico, 2009.

- PRELL, Christina. **Social Network Analysis, History, theory and methodology**. Los Angeles: Sage, 2012.
- PODOLNY, Joel M. **Status signals: A sociological study of market competition**. Princeton University Press, 2010.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD (Organização das Nações Unidas – ONU); FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (Minas Gerais); INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA (Brasil). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: 24 junho 2015.
- RAHMANDAD, Hazhir; STERMAN, John. Heterogeneity and network structure in the dynamics of diffusion: Comparing agent-based and differential equation models. **Management Science**, v. 54, n. 5, p. 998-1014, 2008.
- ROGERS, Everett M. Elements of diffusion. **Diffusion of innovations**, v. 5, p. 1-38, 2003.
- SCHEINKMAN, J. Social interactions, theory. In: DURLAUF, Steven N.; BLUME, Lawrence (Ed.). **The new Palgrave dictionary of economics**. Basingstoke: Palgrave MacMillan, 2008.
- SCHELLING, Thomas C. Dynamic models of segregation. **Journal of mathematical sociology**, v. 1, n. 2, p. 143-186, 1971.
- SENGE, Peter M.; FORRESTER, Jay W. Tests for building confidence in system dynamics models. **System dynamics, TIMS studies in management sciences**, v. 14, p. 209-228, 1980.
- SILVA, Roberto Marinho Alves da. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. **Sociedade e estado**. Brasília, v. 18, n. 1-2, p. 361-385, 2003
- STERMAN, John D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- STEVENSON, William B.; GREENBERG, Danna. Agency and social networks: Strategies of actions in a social structure of position, opposition, and opportunity. **Administrative Science Quarterly**, v. 45, n. 4, p. 651-678, 2000.
- TESFATSION, Leigh; JUDD, Kenneth L. (Ed.). **Handbook of computational economics: agent-based computational economics**. Elsevier, 2006.
- TUTZAUER, F.; KNON, K.; ELBIRT, B. Network diffusion of two competing ideas. In: VISHWANATH, A.; BARNETT, G. (Ed.). **The Diffusion of Innovations – a Communication Science Perspective**. New York: Peter Lang, p. 145-170, 2011.
- VALENTE, Thomas W. Network models and methods for studying de diffusion of innovations. In: CARRINGTON, P.; SCOTT, J.; WASSERMAN, S. (Ed.). **Models and methods in social network analysis**. New York: Cambridge University Press, v. 28, p.98, 2005.
- VALENTE, Thomas W.; CORONGES, K.; LAKON, C.; COSTENBADER, E. How correlated are network centrality measures?. **Connections (Toronto, Ont.)**, v. 28, n. 1, p. 16, 2008.
- VALENTE, Thomas W.; DAVIS, Rebecca L. Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. **The Annals of the American Academy of Political and Social Science**, v. 566, n. 1, p. 55-67, 1999.
- WATTS, Duncan J.; DODDS, Peter Sheridan. Influentials, networks, and public opinion formation. **Journal of consumer research**, v. 34, n. 4, p. 441-458, 2007.
- WEISBUCH, Gérard; BOUDJEMA, Gérard. Dynamical aspects in the adoption of agri-environmental measures. **Advances in Complex Systems**, v. 2, n. 01, p. 11-36, 1999.
- WEITZEL, Leila Coelho da Silva. Abordagem baseada na Análise de Redes Sociais para estimativa da reputação de fontes de informação em saúde. Porto Alegre, 2013. Tese (Doutoramento em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.