

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE ESTUDOS SOCIAIS APLICADOS
CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ADMINISTRAÇÃO**

MÁRIO JOSÉ MAIA LEITÃO

**UM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM AGENTES
EVOLUTIVOS PARA APRENDIZAGEM COLABORATIVA**

**FORTALEZA - CE
2014**

MÁRIO JOSÉ MAIA LEITÃO

**UM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM AGENTES
EVOLUTIVOS PARA APRENDIZAGEM COLABORATIVA**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Acadêmico em Administração
da Universidade Estadual do Ceará como
requisito parcial para a obtenção do grau
de Mestre em Administração.
Área de Concentração: Pequenos e
Médios Negócios.

Orientador: Prof. Dr. Marcos José
Negreiros Gomes.

**FORTALEZA - CE
2014**

RESUMO

Os estudos sobre inovação com foco em redes têm enfatizado principalmente o papel das redes na difusão da inovação. O que não foi destacado é a forma como a estrutura da rede afeta o processo e a velocidade da inovação focada nas empresas e na co-evolução. Modelos que utilizam métodos de simulação tornaram-se ferramentas úteis para obter ideias sobre como as estruturas de rede de cooperação afetam o processo de inovação, uma vez que as simulações não são limitadas aos problemas de coleta de dados empíricos. Deseja-se saber como as capacidades tecnológicas das empresas evoluem em um sistema que se configura em uma rede de relacionamento entre agentes que buscam deliberadamente a inovação e onde exista fluxo de conhecimento e capacidade de absorção deste conhecimento por estes atores. Para responder essa indagação, busca-se principalmente analisar como ocorre a co-evolução das capacidades inovativas entre os agentes que se relacionam em rede. Foi então construído um modelo de simulação que represente o processo de co-evolução inovativa da rede, foi desenvolvida uma aplicação computacional (SimullInova) com as características apresentadas no modelo de co-evolução; foram definidas medidas de cooperação, redes de cooperação e taxas de absorção de conhecimento tecnológico pela interação entre pares de empresas que cooperam de forma assimétrica e por fim examinou-se o efeito da estrutura de rede sobre a inovação e sua difusão. Empregou-se o método quase-experimental por meio da simulação computacional, baseada em agentes evolucionários para verificar os resultados de comportamento das redes. Como resultados da pesquisa identificou-se que quanto maior as taxas de densidade de rede e de pareamento entre empresas, mais elas melhoram suas capacidades tecnológicas e co-evoluem. Sendo que o primeiro está inversamente relacionado ao tempo necessário para evolução e o segundo está diretamente relacionado à ascensão a níveis maiores de capacidade tecnológica. Aponta-se como principal limitação do estudo, a não utilização dos custos para evolução e das receitas geradas em decorrência de novos patamares de capacidades tecnológicas.

Palavras-chave: Simulação; Simulação Baseada em Agentes; Redes; Algoritmos Evolutivos; Capacidade de Absorção.

ABSTRACT

Studies on innovation networks have mainly emphasized the role of networks in the diffusion of innovation. What was not highlighted is how the network structure affects the process and the speed of innovation on business and co-evolution. Models using simulation methods have become useful tools to obtain ideas about how the structures of cooperation network affect the innovation process, since the simulations are not limited to problems of empirical data collection. In this dissertation it is evaluated how technological capabilities of enterprises evolve into a system that is configured in a network of relationships between agents who deliberately seek to innovate and where there is flow of knowledge and capacity to absorb it by these actors. It is mainly analyzed how the co-evolution of innovative capabilities among agents associated network occurs. It is constructed a simulation model that represents the process of innovative co-evolution of network, we developed a computer application (Simullnova) with the characteristics presented in the co-evolution model; measures of cooperation, cooperation networks and exchange of technological knowledge absorption by the interaction between pairs of firms that cooperate asymmetrically and finally it is examined the effect of network structure on innovation and its diffusion. We used the quasi-experimental method by computer simulation, based on evolutionary agents to verify the results of the network performance. As survey results it is identified that the higher rates of network density and pairing between companies, the more they improve their technological capabilities and co-evolve. The first of which is inversely related to the time needed for evolution and the second is directly related to the rise to higher levels of technological capability. It is pointed out as the main limitation of the study, the costs for non-use developments and revenues due to new heights of technological capabilities.

Keywords: Simulation; Agent Based Simulation; Networks; Evolution Algorithms, Dynamic Capabilities.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medida de centralidade entre diversos vértices do grafo.....	35
Tabela 2 – Cenários estudados no SimulInova	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – <i>Fitness</i> Global para taxa de Mutação - 5 %.....	61
Gráfico 2 - Evolução do <i>Fitness</i> Individual para taxa de Mutação - 5 %.....	61
Gráfico 3 – <i>Fitness</i> Global para taxa de Mutação - 10 %.....	62
Gráfico 4 – Evolução do <i>Fitness</i> Individual para taxa de Mutação - 10 %.....	62
Gráfico 5 – <i>Fitness</i> Global para taxa de Mutação - 20 %.....	62
Gráfico 6 – Evolução do <i>Fitness</i> Individual para taxa de Mutação - 20 %.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Framework analítico básico	16
Figura 2 - <i>Framework</i> analítico específico	17
Figura 3 – Modelo da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas	23
Figura 4 – Modelo de Capacidade Absortiva Adaptado, Cohen e Levinthal (1990)	25
Figura 5– Grafo – $G(V,E)$ de rede simétrica	33
Figura 6– Grafo – $G_S(V,E)$ de rede assimétrica.....	34
Figura 7 – Processo de evolutivo através de um Algoritmo Genético padrão	38
Figura 8– Processo evolutivo através do Algoritmo Evolutivo proposto.....	39
Figura 9 – Cromossomo representando uma empresa com seus setores e níveis de inovação indicados nos seus genes.....	40
Figura 10 – Modelo de um grafo $G_A(V,A)$ de relacionamento entre 10 agentes	44
Figura 11- Arquitetura do SimuLInova	45
Figura 12 - Base Genética das Empresas Simuladas	46
Figura 13 – Solução Alvo	47
Figura 14 – Taxa de Pareamento	48
Figura 15 – Taxa de Mutação	48
Figura 16 - Cromossomo da Empresa V_i	49
Figura 17 – Descritor das capacidades dinâmicas da empresa A.....	50
Figura 18 Descritor das capacidades dinâmicas da empresa B.	50
Figura 19 – Descritor dos setores de uma empresa B, após interação com A (Métrica: Máximo)	50
Figura 20 – Descritor dos setores de uma empresa B, após influência de A com métrica Taxa de Absorção 10%.....	51
Figura 21 – Descritor dos setores de uma empresa B, após influência de A com métrica Média ocorrendo “desaprendizado”/involução em setores	52
Figura 22 – (a) Grafo Agente, (b) Grafo de indivíduos com a mesma métrica.....	53
Figura 23 – Gráfico de linha para as métricas: máximo, média, mínimo e taxa	54
Figura 24 – Gráfico de área para a métrica taxa, com agentes de métrica igual	55
Figura 25 – Gráfico de linha agentes evolutivo, para agentes de métricas distintas.	56
Figura 26 - Gráfico de área com faixas de <i>fitness</i> para agentes de métricas distintas....	56
Figura 27 – Gráfico de linhas para cada agente com métricas distintas.....	56

Figura 28 – Densidade de Rede 5% Fixa, Número de Agentes: 50	64
Figura 29 – Densidade de Rede 5% Fixa, Taxa de Pareamento 5%; Taxa de Mutação 5%.....	66
Figura 30 – Densidade de Rede 5% Fixa, Taxa de Pareamento 10%; Taxa de Mutação 5%.....	67
Figura 31 – Densidade de Rede 5% Fixa, Taxa de Pareamento 20%; Taxa de Mutação 5%.....	69
Figura 32 – Densidade de Rede 10% Fixa, Número de Agentes: 50	70
Figura 33 – Densidade de Rede 10% Fixa, Taxa de Pareamento 5%; Taxa de Mutação 5%.....	70
Figura 34 – Densidade de Rede 10% Fixa, Taxa de Pareamento 10%; Taxa de Mutação 5%.....	72
Figura 35 - Densidade de Rede 10% Fixa, Taxa de Pareamento 20%; Taxa de Mutação 5%.....	73
Figura 36 - Densidade de Rede 20% Fixa, Número de Agentes: 50.....	74
Figura 37 - Densidade de Rede 20% Fixa, Taxa de Pareamento 5%; Taxa de Mutação 5%.....	74
Figura 38 – Densidade de Rede 20% Fixa, Taxa de Pareamento 10%; Taxa de Mutação 5%.....	75
Figura 39 – Densidade de Rede 20% Fixa, Taxa de Pareamento 20%; Taxa de Mutação 5%.....	76
Figura 40 – Resumo dos Cenários apresentados	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG – Algoritmo Genético

MBA – Modelagem Baseada em Agentes

CD – Capacidades Dinâmicas

CA – Capacidade de Absorção

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. REFERENCIAL TEÓRICO	16
1.1. Framework Analítico	16
1.2 Inovação	19
1.3 Capacidades Tecnológicas	21
1.4 Capacidade de Absorção	24
1.5 Redes e Inovação	27
2. METODOLOGIA	32
2.1 Simulação	32
2.2 Premissas do Modelo Evolutivo de Simulação	33
2.1.1. Representação matemática e computacional de Redes de Inovação	33
2.1.2 Algoritmo Evolutivo	35
2.1.3. Modelagem Baseada em Agentes.	40
2.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO	43
2.4 Descrição do SimuLInova	44
2.4.1. Módulo de Configuração	45
2.4.2. Módulo de Execução do Algoritmo Evolutivo	54
2.4.3 Módulo de Execução das Simulações	55
3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
3.1. O Modelo	57
3.2. Os Cenários	60
3.2.1. Cenário C1	64
3.2.2. Cenário C4	66
3.2.3. Cenário C7	68
3.2.4 Cenário C10	69
3.2.5 Cenário C13	71
3.2.6 Cenário C16	72
3.2.7 Cenário C19	73
3.2.8 Cenário C22	75
3.2.9 Cenário C25	76
3.3. Resumo dos Resultados de Cenários	77

CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS.....	82
APÊNDICE	94

INTRODUÇÃO

O conhecimento evolui e se expande continuamente, e em diferentes direções e por meio de inúmeras relações e atores. Promove de forma diferente a construção de novas tecnologias e inovações (NELSON, 2002). Assim, os atores, ou seja, indivíduos ou organizações, não podem esperar para dominar todo o conhecimento relevante sozinhos. Em vez disso, eles precisam adquirir e gerar conhecimento a partir do exterior das suas organizações, através da formação de parcerias com outras organizações e indivíduos e na formação de redes, “clusters” (grupos) e outros ambientes que sejam propícios ao desenvolvimento das capacidades inovativas, (ALLEN, 1983; AHUJA, 2000; CAPELLO; FAGGIAN, 2005).

Nesta direção, a literatura indica que quando há relações em rede como ambiente inovativo, as organizações podem aumentar o seu campo de pesquisa e com isso as chances de produzirem novos produtos, através do aumento dos laços entre os atores em redes, (FLEMING, 2001). Como resultado, as estruturas e redes sociais em torno de atores inovadores tornaram-se cada vez mais importantes e afetam diretamente o processo de inovação, (RITTER; GEMUNDEN, 2003). Embora o processo possa ser restringido pela busca por parceiros locais, (DOSI, 1988; TEECE, 1988).

Para que as organizações aproveitem plenamente esta ampliação das possibilidades inovativas, é preciso desenvolver Capacidades de Absorção do conhecimento gerado e acumulado externamente à organização, (COHEN; LEVINTHAL, 1989). Assim, a capacidade de absorção representa a rotina adquirida de absorver e utilizar o conhecimento para a geração das capacidade tecnológicas organizacionais, que possibilitam as empresas acumularem este conhecimento externo e transformá-lo em um novo conhecimento para a organização, (ZAHRA; GEORGE, 2002, GOLD; MALHOTRA; SEGARS, 2001, TODOROVA; DURISIN, 2007).

Assim, as análises empíricas a um nível micro têm demonstrado que, além da capacidade de absorção, a posição de um indivíduo ou uma organização em uma rede na qual ocorra fluxo de conhecimento afeta sua propensão para inovar (BURT, 2004; FLEMING, MARX, 2006). Em um nível macro, alguns estudos mostram que as redes regionais, como por exemplo as formadas no vale do silício, promovem inovações (POWELL, 2004).

Adicionalmente à condição de rede e de capacidade de absorção, inúmeros autores, denominados frequentemente de neoschumpeterianos. Edquist (1997), Lundval et al. (2002) e Nelson (2004) consideram o processo de aprendizado e inovação de uma forma dinâmica, procurando elucidar o comportamento proativo dos agentes em seus ambientes. Essa teoria aponta para o fato de que esse processo se refere a práticas localizadas, cumulativas e específicas para cada firma, o que se reflete nos diferentes níveis e tipos de aprendizado que cada agente apresenta, demonstrando sua capacidade em evoluir e explorar as novas oportunidades tecnológicas com as quais se defronta.

Assim, as empresas geralmente se envolvem em processos caros e formais de pesquisa tecnológica e escolhem seus parceiros estrategicamente conforme suas posições em ambiente como as redes. Desta forma, atores têm conexões possíveis no sentido de que eles estão cientes de um conjunto de "vizinhos" (ou parceiros) que podem acessar quando necessário, enquanto as ligações realizadas são as conexões entre os atores que realmente existem em um momento específico do tempo. Conseqüentemente, o processo de inovação é modelado como atores que escolhem estrategicamente suas estratégias de ligação dentro da rede favorecendo o fluxo de aprendizado por meio da capacidade de absorção afetando a evolução de suas capacidades de inovação.

Dessa forma, esta dissertação sustenta-se pela seguinte questão de pesquisa: Como as capacidades tecnológicas das empresas evoluem em um sistema que se configura em uma rede de relacionamento entre agentes que buscam deliberadamente a inovação e onde exista fluxo de conhecimento e capacidade de absorção deste conhecimento por estes atores?

O modelo empírico a ser perseguido neste trabalho pressupõe a existência, no processo inovativo, das relações dos agentes com seu ambiente e conseqüentemente do conceito de "co-evolução" (DOSI, 1988), ou seja, como um grupo de atores podem inovar juntos. Em outras palavras, a ênfase deste modelo não está em quem é inovador, em vez disso, ele se concentra em como a inovação emerge sob diferentes configurações de ambientes, considerando a ênfase sobre a possibilidade de colaboração entre empresas.

Ademais, este trabalho pretende abordar a questão da inovação como propriedade emergente de um sistema que considera seus atores e as relações entre eles na formação de ambientes inovativos, como as redes, que podem apresentar inúmeros formatos e

estruturas, e que de muitas formas podem afetar a evolução das capacidades tecnológicas das organizações.

De forma de responder a pergunta de pesquisa, formula-se como objetivo geral: analisar como ocorre a co-evolução das capacidades inovativas entre agentes que se relacionam em rede.

Como objetivos específicos:

- i) Construir um modelo de simulação que represente o processo de co-evolução inovativa em rede;
- ii) Desenvolver uma aplicação computacional com as características apresentadas no modelo de co-evolução;
- iii) Definir medidas de cooperação, redes de cooperação e taxas de absorção de conhecimento tecnológico pela interação entre pares de empresas que cooperam de forma assimétrica;
- iv) Examinar o efeito da estrutura de rede sobre a inovação e sua difusão.

Os estudos sobre inovação com foco em redes têm enfatizado principalmente o papel das redes na difusão da inovação, (BURT, 1987). O que não foi destacado é a forma como a estrutura da rede afeta o processo e a velocidade de inovação com foco nas empresas. Nesta frente, modelos utilizando métodos de simulação tornaram-se ferramentas úteis para obter ideias sobre como as estruturas de rede de cooperação afetam o processo de inovação, uma vez que as simulações não são limitadas aos problemas de coleta de dados empíricos. Assim, o que ainda é escasso na literatura são os experimentos controlados que distinguem como configurações da rede podem afetar o processo de inovação.

Trabalhos desta natureza desenvolvem modelos que podem ser testados empiricamente, mas que normalmente, no campo da inovação, carecem da aplicação experimental controlada e que permitam perceber como estes sistemas evoluem.

No capítulo 1, discutimos conceitualmente, inovação e capacidades tecnológicas, processos de aprendizagem, e modelos de cooperação em redes. No capítulo 2, elaboramos um modelo baseado em agentes com mecanismos evolutivos, mostrando a metodologia de simulação e as condições de interação. O capítulo 3 apresenta a ferramenta desenvolvida para promover as simulações do trabalho de pesquisa, e apresentam-se os resultados das diversas simulações, bem como as análises à luz do ganho global nas capacidades das empresas em função das diversas formas de

colaboração movidas pela inovação, e por fim conclui-se o estudo e apresentam-se indicações futuras para o prosseguimento deste trabalho.

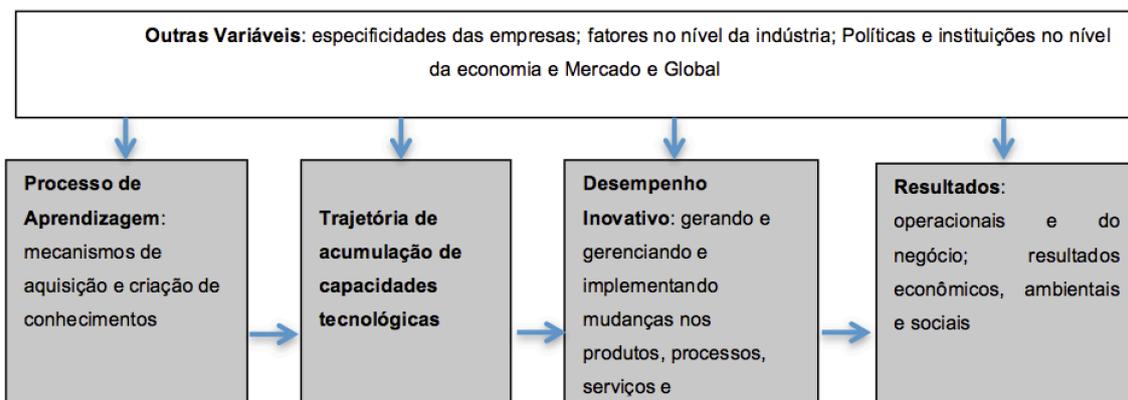
1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. FRAMEWORK ANALÍTICO

Adotou-se como base para o arcabouço analítico, aquele utilizado por Bell e Figueiredo (2012), que trata dos processos de aprendizagem como influentes nas trajetórias de acumulação de capacidades de inovação, que por sua vez, geram desempenho inovador levando aos resultados das empresas. Contudo, estas não estão isoladas, e são afetadas por outros fatores externos de ambiente, nos níveis da indústria; de instituições, da economia; e fatores em nível global.

Os processos de aprendizagem compreendem os mecanismos utilizados para a aquisição e criação de conhecimento, habilidades e configurações organizacionais. Vale ressaltar, que esses processos não influem diretamente no desempenho inovador ou no desempenho operacional, mas sim na criação de capacidades tecnológicas. Essas capacidades são compostas pelas habilidades, conhecimentos, experiência e sistemas organizacionais (BELL; PAVITT, 1993) e influenciam diretamente no desempenho inovador das empresas, seja por meio de mudanças em processos produtivos, em produtos ou novos arranjos organizacionais. Por sua vez, o desempenho inovador influencia no desempenho operacional da empresa, por meio de novos produtos e serviços, ou por meio de melhorias de processos produtivos.

Figura 1 - Framework analítico básico

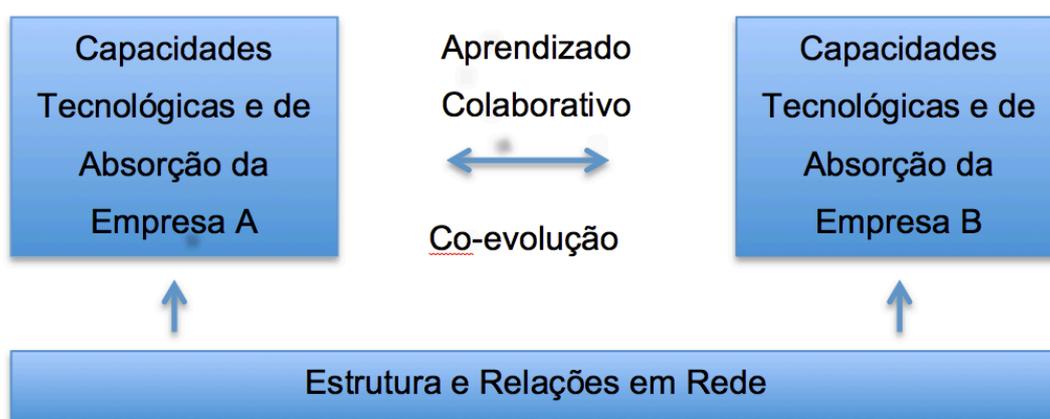


Fonte: BELL; FIGUEIREDO, 2012.

Neste *framework* o elemento central é a acumulação das capacidades tecnológicas e nesta condição a variável evolui e tem caráter acumulativa. Este construto vem sendo tratado por inúmeros trabalhos, tais como: Bell e Pavitt (1993, 1995); Bell et al (1982); Lall (1992); Kim (1993, 1995); Bell e Figueiredo (2012). Estes autores tratam este construto de forma qualitativa, normalmente considerando as capacidades em diferentes níveis que evoluem da produção às capacidades de inovação. O método aplicado nestes trabalhos consiste, quase sempre, no levantamento de evidências empíricas que demonstrem como a evolução das capacidades tecnológicas destas empresas se acumulam ao longo do tempo em direção à fronteira tecnológica internacional. A coleta destas evidências são tratadas, normalmente, qualitativamente e algumas com certa transformação quantitativa das variáveis investigadas, como é o caso da quantidade de anos necessários para acumular determinadas capacidades tecnológicas para cada nível alcançado. Contudo, as relações de causalidade deixam de ser entendidas de forma mais robusta, o que pode ser tentado por uma abordagem mais quantitativa, principalmente, aplicando técnicas com maior controle sobre as variáveis, como os métodos de simulação.

Este *framework* apresentado e plenamente utilizado em inúmeras pesquisas, dentre as já apresentadas, sofre neste trabalho uma adaptação para evidenciar a influência das questões ambientais, representadas pela formação das redes, na acumulação das capacidades tecnológicas das empresas (agentes). Assim, a ideia do *framework* é a de que as capacidades tecnológicas das empresas co-evoluem quando colocadas em contato pela interação em rede, fruto do aprendizado colaborativo e da capacidade de absorção deste conhecimento pelas empresas.

Figura 2 - *Framework* analítico específico



Fonte: próprio autor

No *framework* analítico (Figura 2) o conceito de co-evolução é preponderante. Assim, precisa-se apresentar melhor este conceito. Alguns autores, por exemplo, usaram explicitamente o termo co-evolução para relacionar o processo compartilhado e por vezes simbiótico de evolução do ambiente e das suas organizações com as empresas e seus setores (DIELEMAN; SACHS, 2008; JACOBIDES; WINTER, 2005; LEVINTHAL; MYATT, 1994; LEWIN; LONG; CARROLL, 1999; MCKELVEY, 1997; NELSON, 1995). Preliminarmente no trabalho de Nelson e Winter (1982), os autores afirmaram que a estrutura industrial e o avanço tecnológico interagem de modo complexo e mais especificamente os trabalhos pioneiros de Lewin, Long e Carroll (1999), complementados por Dijksterhuis, Bosch e Volberda (1999) apresentaram um *framework* que descreve três tipos de evolução: a macro (indústria), micro (Firma) e a co-evolução, nesta última introduzindo o papel do ambiente e das instituições em mútua evolução com os níveis da indústria e da firma. Lewin e Volderba (1999), adicionalmente, apresentaram, um importante *framework* cujos resultados de sua aplicação mostram as organizações como uma junção do esforço de gestão e das pressões impostas pelo ambiente. Neste sentido, Yang (2011) identifica algumas propriedades dos processos de co-evolução, como: i) multidimensionalidade/ envolvimento, ii) condição inicial e consequências, iii) positivo *feedback* e bicausalidade, iv) causalidade em multidireções e v) não linearidade.

Além destes trabalhos que trataram da co-evolução, vale ainda citar o artigo de Cantwell, Dunning e Lundan (2010) que ampliou a aplicação da co-evolução para as Companhias Multinacionais, que segundo estes, co-evoluem de forma diferente com as especificidades do Ambiente (Instituições, Políticas, Marcos Legais e etc.) nos países hospedeiros. Nesta direção, Nelson (1995) apresentou em seu trabalho a relação de co-evolução das tecnologias das firmas e as instituições: i) de ciência e tecnologia, como as Universidades na construção de novos conhecimentos; ii) agências do Governo e iii) associações industriais. Já Van Den Bosch, Volberda e Boer (1999) apresentaram um estudo de co-evolução que enfatizou a relação entre forma organizacional e a capacidade de absorção de tecnologia, portanto sua interação com o ambiente de conhecimento e suas mudanças relacionadas às diferentes ações de *exploration* e *explotation*. Para Huygens et al (2001), estudando a indústria da música no Reino Unido, a dinâmica de comportamentos dos tipos *exploration* e *exploitation* na competição entre firmas num ciclo recorrente de inovação mais radical, imitação e

difusão é a força que impulsiona a co-evolução entre competição e capacidades tecnológicas.

Outros autores ampliaram o entendimento do processo de como a co-evolução se dá, como no caso do trabalho de Levinthal e Myatt (1994) que propuseram um *framework* com os seguintes processos: i) *Feedback*: como no caso das capacidades de absorção que se elevam quanto mais tecnologia é absorvida e portanto quanto mais a firma melhora. De outra forma a co-evolução da mudança tecnológica pode assumir diferentes aspectos dependendo da indústria estudada, como no caso de Funk (2009) que encontra uma relação entre as mudanças tecnológicas no setor de telefones celulares e as instituições/métodos definidoras de padrões.

Considerando os países em desenvolvimento ou de economias emergentes, alguns estudos têm sido realizados, tais como: Backx, Carney e Gedajlovic (2002) e Suhomlinova (2006). Este último destacou a importância das conexões de empresas de propriedade do estado. Outros como Rim, Choung e Hwang (1998) enfatizaram em seu *framework*, aplicado ao setor de semi-condutores na Coreia, que as ações públicas e privadas são necessárias para construir vantagens competitivas e utilizaram as relações entre Estratégias Empresariais, Instituições de Suporte (Políticas públicas, Institutos de Pesquisa, Educação e Treinamento, etc.) e Capacidades Tecnológicas. Dantas e Bell (2011) também estudaram processo de co-evolução no Brasil, no caso da Petrobrás, revelando como as capacidades tecnológicas desta companhia de petróleo brasileira co-evoluíram com suas estratégias e resultados na formação de redes de aprendizado e conhecimento.

Assim, a co-evolução trata, no caso desta pesquisa, da evolução tecnológica entre a empresa e seu ambiente. Esta evolução é denominada de inovação e merece destaque como variável central e deve ser melhor apresentada.

1.2 INOVAÇÃO

A inovação tem sido o foco de considerável atenção nos campos da economia, organizações, e gestão nas últimas décadas (UTTERBACK, 1994; ARTHUR, 2007). Esses estudos conceituam a inovação como um processo de pesquisa e aprendizagem que resulta em um produto de sucesso.

O crescente interesse dos pesquisadores pelo tema desvendou muitas questões importantes que contribuíram para um melhor entendimento sobre a natureza da inovação, sobre como esta ocorre, bem como as implicações macroeconômicas e microeconômicas. Entre estes pesquisadores destacam-se, por exemplo, os estudos de Nelson e Winter (1977; 1982), Pavitt (1979) e Dosi (1982; 1984; 1988).

Nelson e Winter, identificaram que a inovação é um processo de pesquisa onde os atores desenvolvem novas ideias a partir da sua base de conhecimento (SCHUMPETER, 1934; NELSON; WINTER, 1982). Com base no pensamento de Schumpeter, eles desenvolveram um modelo para estudar o desenvolvimento econômico. Neste modelo eles criaram um conjunto de agentes heterogêneos com racionalidade limitada, e comportamento com base em condições específicas. Por fim avaliaram os processos de inovação. Isso significa que uma empresa não é representativa de toda a população, eles são todos diferentes, e eles não têm a visão completa e nem se comportam perfeitamente, introduzindo o conceito de racionalidade limitada dos agentes econômicos.

Nelson e Winter (1982) apresenta um regime tecnológico chamado regime cumulativo de tecnologia. Aqui, o crescimento da produtividade é visto como um parâmetro endógeno determinado pela inovação baseada em "capacidades tecnológicas da empresa".

Do ponto de vista econômico, a teoria da difusão da inovação está em linha com os trabalhos de Schumpeter em que "a inovação . . . não se presta à descrição em termos de uma teoria do equilíbrio" (SCHUMPETER, 1928 , p. 64), mas deve, antes, ser entendida como um processo dinâmico.

Tradicionalmente, a literatura tem assumido um efeito universalmente positivo das capacidades dinâmicas sobre a vantagem competitiva. Ao substituir os recursos existentes, as capacidades dinâmicas podem criar melhores configurações dos recursos de uma empresa e as condições ambientais externas, (TEECE ; PISANO, 1994).

Schumpeter queria encontrar maneiras de explicar a mudança econômica em termos de fatores internos e não externos. Ele tinha "Uma visão da evolução da economia como um processo distinto, gerado pelo próprio sistema econômico." (SCHUMPETER, 1937, p.166).

Segundo sua teoria, as empresas que conseguem inovar seriam recompensadas por uma melhor posição competitiva e aumento dos lucros. Em outras palavras, a evolução da economia é impulsionada por empresas obtendo uma vantagem competitiva

através da inovação e não através de competições na redução de preços dos produtos. Mesmo na presença de uma indústria concentrada com as grandes empresas, a concorrência tecnológica entre as empresas vai impulsionar a evolução da economia (FAGERBERG, 2002, 2003). Esse pensamento era novidade em seu tempo e uma importante contribuição para as teorias que vieram depois. "Em poucas palavras, a teoria econômica evolucionária explica o crescimento em termos da interação dinâmica entre a heterogeneidade, a competição, a seleção e a inovação, onde os últimos leva a renovada heterogeneidade e, portanto, perpetua o processo de crescimento." (CASTELLACCI, 2011, p.96).

No *framework* específico (Figura 2) a inovação é apresentada na forma de evolução das capacidades tecnológicas das empresas e este conceito merece uma abordagem descritiva de suas origens e conceitos, como resultado do processo evolutivo dos ambientes e dos sistemas em rede.

1.3 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

A abordagem evolucionista condiciona o processo inovativo como uma etapa natural da evolução das empresas e, conseqüentemente, uma evolução do setor/segmento em que a empresa atua. Tal processo de evolução se dá pelo dinamismo presente nas capacidades tecnológicas das empresas e criadas de forma básica, o que alguns autores chamaram de capacidades dinâmicas.

Teece, Pisano e Shuen (1997) definem a Capacidades Dinâmicas (CDs) como a capacidade da empresa para integrar, construir e reconfigurar competências internas e externas para tratar e adaptar-se a ambientes em rápidas mudanças. Já para Eisenhardt e Martin (2000) as CDs são os processos que utilizam recursos (integrando, reconfigurando e liberando) para se equiparar às mudanças de mercado e também rotinas e estratégias organizacionais pelas quais as empresas chegam a novas configurações de recursos enquanto os mercados estão emergindo, colidindo, se separando, evoluindo ou morrendo.

Outra importante contribuição para as CDs foi desenvolvida por Winter (2003) que as define como as capacidades que operam para estender, alterar ou criar as capacidades de primeira ordem. Assim, como conceituado por Nelson e Winter (2005),

as rotinas, formam as capacidades e constituem a base de tudo o que uma organização se torna, construindo sua forma de executar o que se propõe no mercado.

O conceito de rotinas é multidisciplinar e envolve elementos heterogêneos (HELFAT et al, 2007). Desde o início de seu estudo, as rotinas significam muito sobre o que as organizações fazem em seu dia-a-dia, sendo um aspecto essencial dentro do trabalho organizado (FREEMAN; CARROLL; HANNAN, 1983).

O conceito de “dinâmica das rotinas” trás o sentido de mudanças, sendo assim, as capacidades dinâmicas se referem à capacidade das empresas de mudar e reconfigurar seus recursos para responder da melhor forma às mudanças tecnológicas, (TEECE, 2009).

Para Helfat et al (2007), uma capacidade dinâmica é a capacidade da organização de, propositadamente, criar, estender ou modificar seus recursos-base, podendo estes serem ativos tangíveis, intangíveis, humanos, bem como as capacidades que a organização tem ou controla. Contudo, este estudo adotou a definição proposta por Bell e Pavitt (1993; 1995) que consideraram as capacidades como tecnológicas e como tal as conceituam como os recursos necessários para gerir e gerar mudanças tecnológicas, incluindo habilidades, conhecimentos e experiência, estruturas e ligações institucionais.

As Capacidades Dinâmicas são constituídas na empresa de forma tangível e intangível. A tecnologia é incorporada e se acumula nesses recursos, isto é, nos sistemas técnico-físicos, nas pessoas, no sistema, no tecido organizacional e gerencial das empresas, assim como nos seus produtos e serviços. Esses recursos são acumulados como estoques, que são utilizados para realizar atividades tecnológicas, formando as capacidades tecnológicas (FIGUEIREDO, 2009).

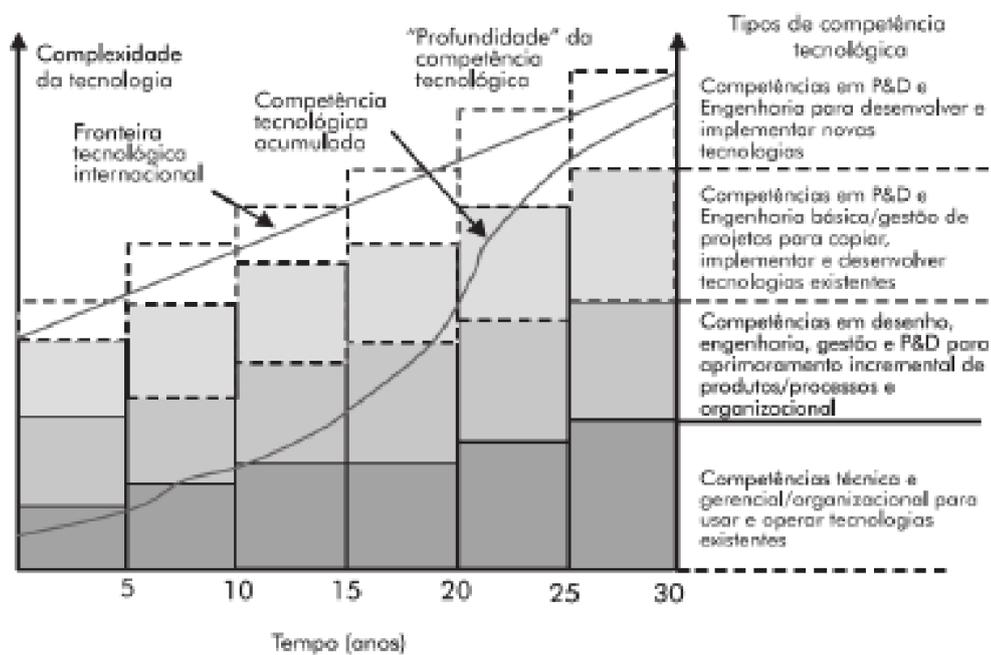
Todas essas capacidades são adquiridas de forma cumulativa, ou seja, os recursos que a empresa possui no presente influenciarão suas atividades no futuro. O processo de acumulação de capacidades tecnológicas é intrínseco à forma de acesso a novos recursos.

Portanto, essas empresas precisam acumular capacidades tecnológicas para se tornarem competitivas. Essa acumulação envolve uma sequência desde os estágios mais básicos até os mais avançados (BELL; PAVITT, 1995; LALL, 1992).

A Figura 3 é uma representação gráfica da aplicação deste modelo considerando a velocidade de acumulação de capacidades tecnológicas ao longo do tempo. Neste

caso, o tempo que uma empresa leva para modificar o seu nível de capacidade tecnológica de funções específicas (FIGUEIREDO, 2002).

Figura 3 – Modelo da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas



Fonte: BELL, 1997 apud FIGUEIREDO, 2004

Fica clara a evolução da complexidade da tecnologia e o deslocamento dos requerimentos de capacidades das empresas ao longo dos anos. Quanto mais o setor se desenvolve, mais as capacidades necessárias para usar a tecnologia aumentam, assim como aquelas para modificar a tecnologia existente.

O conjunto de rotinas aplicadas pela empresa é uma das características básicas que descrevem todo o seu processo de produção. A fim de melhorar a sua posição na indústria e no mercado, cada um pesquisa e desenvolve novas rotinas e novas combinações de rotinas para reduzir os custos unitários de produção, aumentar a produtividade do capital e melhorar a competitividade de seus produtos no mercado.

No *framework* específico utilizado (Figura 2) ficou claro que as capacidades tecnológicas das empresas co-evoluem e que estas dependem dos processos de aprendizado que podem ser colaborativos e estabelecidos pelas conexões presentes nos diferentes tipos de ambientes e dos sistemas em rede. A eficácia destas conexões no aprendizado colaborativo pode ser explicada pela capacidade de absorção de conhecimento das empresas em relação a outros atores a seu ambiente. Assim, para se

entender melhor o processo de aprendizado nas conexões em rede é preciso entender o conceito de capacidade de absorção.

1.4 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

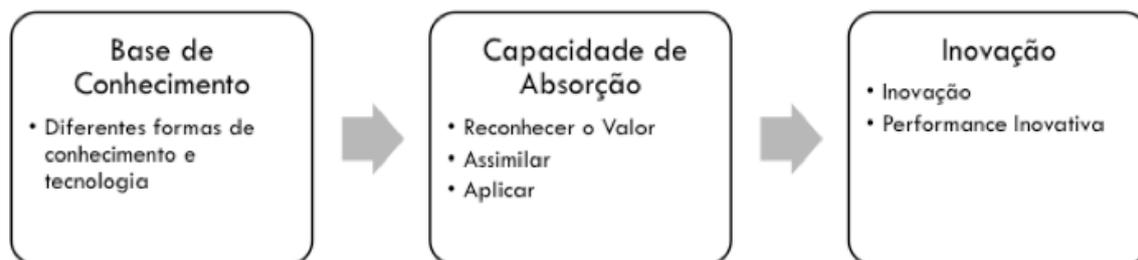
A primeira definição para "Capacidade de Absorção" foi feita por Cohen e Levinthal (1989), como a habilidade para a identificação, a assimilação e a exploração do conhecimento do ambiente (COHEN; LEVINTHAL, 1989). Logo depois, estes autores expandiram a definição para a capacidade do agente de reconhecer o valor das informações, advinda de fontes externas, de assimilá-la e aplicá-la com fins comerciais, obtendo vantagens competitivas, de forma estratégica e com base na inovação (COHEN; LEVINTHAL, 1990).

A capacidade de absorção tornou-se um dos constructos mais significativos nos últimos vinte anos, precisamente porque recursos de conhecimento externos se tornarão cada vez mais importantes. A capacidade de absorção é a capacidade dinâmica que permite às empresas criar valor, obter e sustentar uma vantagem competitiva através da gestão do conhecimento externo (COHEN; LEVINTHAL, 1989).

Cohen e Levinthal (1990) propuseram o primeiro modelo de Capacidade Absortiva que contém três dimensões: o reconhecimento da informação externa; a assimilação a partir das implicações deste conhecimento na firma; e a aplicação deste conhecimento para desenvolver um desempenho inovador ou gerar inovações propriamente.

O modelo de Cohen e Levinthal (1990), como mostrar a Figura 4, relaciona que a capacidade de absorver uma nova informação depende do nível de conhecimento previamente adquirido, que diz respeito às habilidades básicas e experiências passadas da empresa.

Figura 4 – Modelo de Capacidade Absortiva Adaptado, Cohen e Levinthal (1990)



Fonte: Adaptado de Cohen e Levinthal (1990)

Desde a publicação de Cohen e Levinthal (1989) sobre a capacidade de absorção, numerosos estudos teóricos e empíricos analisaram a capacidade das empresas de absorver conhecimento. O conceito de capacidade de absorção mostra flexibilidade suficiente para ser aplicado a diferentes unidades de análise e em uma variedade de campos de pesquisa, como a organização industrial, aprendizagem organizacional, gestão estratégica e gestão da inovação (ZAHRA; GEORGE, 2002).

De acordo com Zahra e George (2002) as empresas não podem aplicar conhecimento externo sem adquiri-lo. Da mesma forma, algumas organizações podem desenvolver habilidades para adquirir e assimilar conhecimento externo, mas não são capazes de transformar e aplicar esse conhecimento, ou seja, transformá-la em vantagem competitiva.

Lane e Lubatkin (1998) são os primeiros estudiosos a reinterpretar o trabalho de Cohen e Levinthal (1989). Estes autores abordam uma nova construção que eles denominam capacidade de absorção relativa, em que a principal diferença em relação à construção de Cohen e Levinthal se encontra no seu contexto de análise. Assim, enquanto Cohen e Levinthal (1989; 1990) analisam a capacidade das empresas de absorver conhecimento de um setor, Lane e Lubatkin (1998) analisam a capacidade das organizações de absorver de outras organizações. Estes autores definem a capacidade de absorção relativa como a capacidade de um receptor valorizar, assimilar e aplicar o conhecimento derivado de uma outra empresa.

Depois de demonstrar que as despesas em P&D explicam apenas 4% da variância na aprendizagem inter-organizacional, Lane e Lubatkin (1998) concluíram que as características relativas das duas organizações e, em particular a relação entre o seu processamento de conhecimento e o sistema de aplicação determinam, em grande

medida, a capacidade de uma organização para absorver o conhecimento de outra organização.

Seguindo nos trabalhos sobre capacidades de absorção, Lane, Koka e Pathak, (2006) definem a capacidade de absorção da empresa de usar o conhecimento do ambiente externo através de três processos sequenciais: (1) o reconhecimento e compreensão de novos conhecimentos externos potencialmente valiosos através da aprendizagem exploratória; (2) a assimilação de novos conhecimentos valiosos através da aprendizagem transformadora; e (3) o uso do conhecimento assimilado para criar novas saídas de conhecimento e comerciais através da aprendizagem de exploração.

Como na maioria dos estudos sobre a capacidade de absorção, a definição de Lane, Koka e Pathak (2006) orientada para o processo de aprendizagem, introduz três das dimensões clássicas de Cohen e Levinthal (1989; 1990). No entanto, Lane, Koka e Pathak, (2006) referem-se implicitamente a capacidade de transformação, considerando que o conhecimento externo é assimilado por meio do conhecimento de transformação, combinando-a com o conhecimento existente.

Zahra e George (2002) também adotaram uma perspectiva de processo na capacidade absorptiva, e argumentam que a partilha de conhecimento interno eficaz e a integração são as partes críticas da capacidade absorptiva. Os autores propõem que a capacidade absorptiva deve ser definida como uma capacidade dinâmica, sendo um conjunto de rotinas e processos organizacionais pelo qual as empresas adquirem, assimilam, transformam e exploram o conhecimento. Sugerem ainda que a capacidade absorptiva tem dois estados gerais: potencial (o conhecimento externo que a empresa poderia adquirir e utilizar) e realizado (o conhecimento externo que a empresa tem adquirido e utilizado).

A capacidade absorptiva depende de processos e rotinas dentro da organização que permitem compartilhar, comunicar e transferir o conhecimento (LANE; KOKA; PATHAK, 2006).

Tsai(2001) argumenta que a transferência de tecnologia terá sucesso se uma organização tiver capacidade para adquirir e principalmente assimilar e aplicar ideias, conhecimentos, artefatos. Dessa forma, a transferência de tecnologia depende de vários fatores, dentre eles: a eficiência da tecnologia, a capacidade da empresa fornecedora da tecnologia de transmitir o *know-how*, e a capacidade da empresa usuária da tecnologia de absorver e aplicar o que lhe foi transferido, (TSAI, 2001).

O conceito de capacidade absorptiva é utilizado como fator importante para a análise da aquisição do conhecimento (LYLES; SALK, 2006). Por exemplo, há evidências de que a capacidade absorptiva de subsidiárias facilita a transferência do conhecimento entre outras partes de uma empresa multinacional (LYLES; SALK, 2006). Quanto maior a capacidade absorptiva, mais elevada será o nível de transferência do conhecimento.

Ainda resta o constructo da formação e estrutura de redes do *framework* analítico utilizado, para ser apresentado. Neste caso, o *framework* apresenta as redes como uma forte influência do ambiente na co-evolução das capacidades tecnológicas das empresas pertencentes a uma estrutura desta natureza.

1.5 REDES E INOVAÇÃO

Em redes complexas o conhecimento é constantemente gerado, comunicado, recombinação e trocado. Em tais ambientes de competição, em que rapidamente o conhecimento adquirido pode se tornar obsoleto, para manter as vantagens competitivas, as empresas têm que se empenhar em aprender permanentemente. É neste sentido que as pesquisas sobre "redes de inovação" (ZANDER, 1999; PYKA; KÜPPERS, 2002) tornaram-se uma alternativa proeminente para o estudo do acesso às fontes externas de conhecimento.

O fenômeno de redes da inovação está diretamente relacionado com a emergência das economias baseadas sobre o conhecimento a partir da década de 1980, (AHRWEILER; PYKA; GILBERT, 2011).

O conhecimento tornou-se o principal recurso para o desenvolvimento econômico. Para manter a vantagem competitiva no mercado em constante mutação, as empresas têm que envolver-se constantemente na procura de novos conhecimentos capazes de gerar inovações. No entanto, devido à complexidade cada vez maior do ambiente econômico, as redes de cooperação entre empresas tornaram-se cada vez mais necessárias. Neste contexto, as redes entre empresas são consideradas como um importante modelo de desenvolvimento organizacional (RICHARDSON, 1972; POWELL, 1990), o que permite a empresa crescer e sobreviver ao ambiente competitivo (PITELLIS, 2012).

Segundo Stock e Tatikonda (2000), aquisições eficazes e utilização de novas tecnologias de uma fonte externa podem contribuir para o sucesso operacional de uma empresa, pois a exigência de capacidade para desenvolver tecnologias em tempo e custo menores faz com que a opção de formar todas as competências necessárias dentro da empresa seja cada vez menos viável.

Neste sentido, as redes de inovação representam uma solução organizacional para a inovação de produtos e serviços, já que permite e apoia a aprendizagem entre empresas por estimular e suportar a difusão de um novo *know-how* tecnológico e permitir a exploração de complementaridades em decorrência da fusão de diferentes competências tecnológicas (PYKA; KÜPPERS, 2002).

Redes de inovação segundo Rycroft e Kash (2002) são ligações entre organizações com o objetivo de se criar, adquirir e integrar as diferentes habilidades e conhecimentos necessários para desenvolver tecnologias complexas e trazê-las ao mercado. Pelo fato das redes de inovação se tornarem um mecanismo de difusão da inovação, elas emergem como um novo modo de organização voltada para a produção do conhecimento (PYKA; KÜPPERS, 2002).

Vários estudos (AHUJA, 2000; ZENG et al., 2004; DEBRESSON; AMESSE, 1991; FUKUGAWA, 2006; NIETO; SANTAMARÍA, 2007; PYKA; KÜPPERS, 2002) apresentam a importância das redes e da cooperação para a inovação.

Segundo Chesbrough (2003), com a era da *open innovation*, as empresas estão cada vez mais dependentes de fontes externas para inovar, enfatizando as ideias, recursos e pessoas que estão dentro e fora das organizações, que estão se tornando indispensáveis para a criação de uma inovação de sucesso.

Segundo Hervás-Oliver e Albors-Garridos (2009) na transferência de tecnologia por meio das redes, o esforço cooperativo de aprendizagem parece ser mais eficiente quando todas as empresas são colaborativas e participam no processo de difusão da inovação.

De acordo com Powell et al. (1996, p. 118) "uma rede serve como um *locus* de inovação, pois fornece acesso em tempo útil para o conhecimento e os recursos que são de outra maneira indisponíveis". Henderson e Cockburn (1994) mostraram que a capacidade da empresa para incentivar e manter um extenso fluxo de informações através das fronteiras da empresa "foi uma contribuição significativa para a produtividade em pesquisa".

Teóricos das redes sociais defendem a importância de interações informais pessoais como uma fonte de recursos e troca de conhecimentos. De acordo com Granovetter (1985), "a ação econômica (como toda a ação) é incorporada em redes de relações pessoais, em vez de realizadas por atores atomizados".

Enquanto os teóricos da rede social citam a importância da interação informal pessoal, estudos nas áreas de *joint ventures* e alianças estratégicas também têm investigado a questão da troca de conhecimento entre os parceiros.

Contractor e Lorange (1988) afirmam que "[...] é importante que os sócios tenham forças complementares, que juntos cobrem todas as dimensões de *know-how* relevantes necessários [...]". Em estudos recentes, tanto Stuart (2000) quanto Steensma e Lyles (2000) descobriram que um fator importante que contribuiu para o crescimento, a taxa de inovação e a sobrevivência das alianças inter-organizacionais foram os recursos e conhecimentos transferidos decorrentes das alianças entre parceiros da rede.

O estudo de Tsai (2001) descobriu que a interação de ambos, centralidade da rede e capacidade de absorção, contribuiu significativamente para a inovação e o desempenho. Este achado sugere que, apesar de uma organização ter acesso a fontes de conhecimento através de seus *links* de rede, pode não ter capacidade suficiente para absorver o conhecimento

Em redes de inovação que são o resultado da interação entre os atores do processo durante o processo de inovação e participação de co-desenvolver novos conhecimentos com outros atores (PYKA; KÜPPERS, 2002).

Há uma longa história de pesquisa sobre redes na literatura de gestão e na teoria das organizações. As redes podem ser definidas como um conjunto específico de ligações entre um conjunto definido de atores com a característica de que as ligações como um todo podem ser utilizados para interpretar o comportamento social dos atores envolvidos, (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006).

Embora as redes inter-organizacionais sejam agora um fenômeno comumente entendido da vida organizacional, nem sempre é claro aquilo que os estudiosos organizacionais estão falando, quando eles usam o termo. Muitos dos que estudam negócios, comunidade e outras redes organizacionais preferem falar de parcerias, alianças estratégicas, relações inter-organizacionais, coligações, acordos de cooperação, ou acordos de colaboração. Apesar das diferenças, quase todas as definições referem-se a determinados temas comuns, incluindo a interação social entre os agentes, os

relacionamentos, a conexão, a colaboração, a ação coletiva, a confiança e a cooperação (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006).

Brass et al. (2004) definem rede de uma forma muito geral, como um conjunto de nós e um conjunto de laços que representam alguma relação, ou a falta de relacionamento, entre os nós. Brass et al. (2004) proporcionam uma visão abrangente em pesquisa sobre redes organizacionais nos níveis de análise interpessoal, inter-unidade e interorganizacional. Os membros da rede podem ser ligados por muitos tipos de conexões e fluxos tais como informações, materiais, recursos financeiros. As conexões podem ser informais e totalmente baseadas na confiança ou mais formais, com contrato de cooperação.

Estudos recentes têm mostrado que a adoção de estratégias cooperativas tem se tornado uma realidade cada vez mais comum entre organizações em todo o mundo (SMITH, 1994). Através da interação social, as empresas são capazes de identificar de forma rápida as ameaças, explorar as oportunidades e gerir de forma eficiente as incertezas ambientais (BURT, 1997).

As redes de cooperação tecnológica podem contribuir para a aquisição de novas ideias de inovação (HAGEDOORN; SCHAKENRAAD, 1994), e essa inovação, segundo Schumpeter (1934), é um fenômeno fundamental para o desenvolvimento econômico. A inovação proporciona às empresas um aumento na sua competitividade e conseqüentemente no seu desempenho. Além disso, a rede permite que as empresas tenham acesso aos conhecimentos e recursos em tempo hábil e de baixo custo (POWELL et al, 1996; GULATI; HIGGINS, 2003).

Hakansson e Johanson (1988) argumentam que as redes são estruturas que combinam atividades e recursos em formatos específicos. O contexto social em que a empresa opera, pode ter um impacto significativo sobre o seu comportamento e desempenho. Entre outros, Dyer e Singh (1998) afirmam que a rede social em que uma empresa está imersa contém recursos e capacidades que são críticas para o sucesso da empresa. Tal resultado vem a confirmar com o que Balestrin e Vargas (2010) diz sobre os resultados que uma rede pode fornecer. O autor afirma que os ganhos que uma rede pode gerar para as empresas são: aprendizagem, sucesso e inovação. Esta inovação ocorrida em redes, em cooperação com atores é imersa em um contexto social e é classificada pela OECD (2005, p. 27) como inovação cooperativa, que “exige a cooperação ativa com outras empresas ou instituições de pesquisa em atividades tecnológicas”.

A inovação não é um processo isolado de indivíduos ou empresas, mas é o resultado da interação entre empresas, clientes, fornecedores, concorrentes e outras organizações públicas e privadas em um sistema (LUNDVALL, 1988, 1992). A inovação é um processo social, portanto, os efeitos de outras empresas ou indivíduos na inovação não podem ser ignorados. Os efeitos de rede refletem a capacidade de outras empresas para fornecer informações valiosas que são necessárias para a inovação de combustível e adoção, e a influência exercida por essas empresas para direcionar decisões de adoção.

Com base em estudos, Zaheer e Bell (2005) acrescentaram que não só a capacidade de inovação de uma empresa depende de sua posição estrutural, também dependem das características particulares da empresa. Eles argumentaram, ainda, que as empresas com maior capacidade de absorção (COHEN; LEVINTHAL, 1990) foram mais bem posicionadas para tirar proveito de seu *embededness* estrutural, a fim de aumentar a sua performance.

Freeman (2004) define a análise de redes sociais como uma abordagem que se fundamenta no estudo da ligação entre os atores que nela estão inseridos, tendo essa análise o objetivo de descobrir os vários tipos de padrões existentes e determinar as condições pelas quais surgem e suas consequências.

2. METODOLOGIA

Adotou-se nesta pesquisa o método quase-experimental, por meio da simulação computacional de um processo evolutivo que representa as inter-relações entre empresas relativas às absorções de suas inovações. Assim, é preciso descrever o conceito de simulação, as considerações feitas sobre o modo como se descreverá matematicamente as relações entre empresas de um determinado setor que se inserem em um ambiente de inovação, e como esta metodologia será desenvolvida nesta dissertação.

2.1 SIMULAÇÃO

O termo simulação computacional significa o uso de um modelo computacional para obter esclarecimentos adicionais sobre o comportamento de um sistema complexo (sistemas biológicos, de produção ou sociais), prevendo as implicações das escolhas de modelagem, mas também para avaliar projetos e planos, sem realmente trazê-los à existência no mundo real.

A simulação por computador tem sido amplamente adotada nas ciências naturais e engenharia como uma metodologia (GILBERT; TROITZSCH, 2005), mas é uma abordagem relativamente recente nas ciências sociais. Isso pode ser devido ao valor principal da simulação nas ciências sociais ser para o desenvolvimento de teorias, em vez de previsões.

Um modelo é uma representação simplificada da realidade - em pequena escala, menos detalhada, menos complexa ou todos eles juntos - de um objeto empírico, por exemplo, uma estrutura social, sistema ou fenômeno (GILBERT; TROITZSCH 2005). A base do framework adotado é da co-evolução e desta maneira a simulação utilizada neste trabalho considerou em sua construção os chamados algoritmos evolutivos, descritos a seguir.

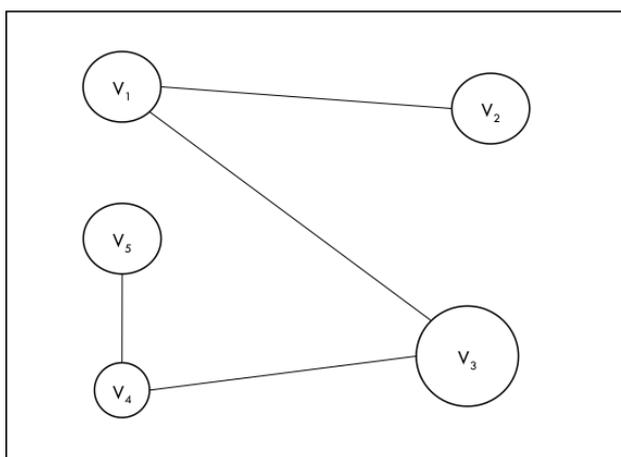
2.2 PREMISSAS DO MODELO EVOLUTIVO DE SIMULAÇÃO

2.1.1. Representação matemática e computacional de Redes de Inovação

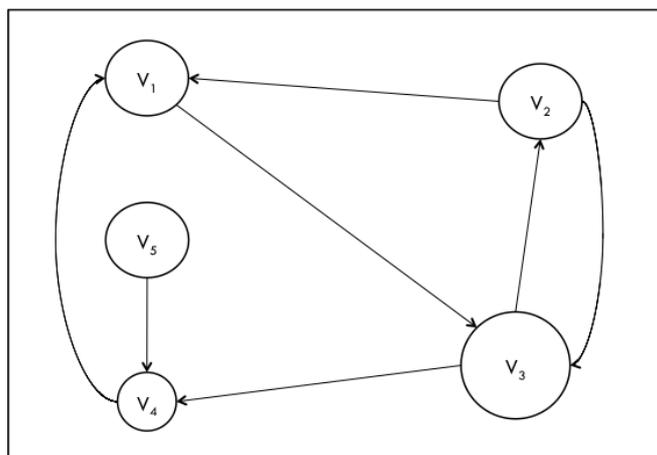
A representação matemática e computacional de um conjunto de indivíduos que se relacionam pode ser feita de muitas maneiras. Sendo a ideia central a de que as empresas de um setor se comunicam entre si através de um processo de interação formando uma rede, estas empresas e as interações entre elas podem ser modeladas através de um modelo matemático denominado de grafo $G(V,L)$, (BOAVENTURA NETTO, 2001). Onde V é o conjunto de vértices (empresas) e L é o conjunto de ligações entre vértices de G . Define-se uma ligação entre v_i e $v_j \in V$, quando existe alguma interação entre dois vértices de G , ou entre duas empresas (aqui representada pelos vértices de G).

A rede tem absorção simétrica, quando as ligações são biunívocas, ou quando a influência da empresa v_i na empresa v_j é a mesma em ambos os sentidos, caracterizando uma rede simétrica $G_S(V,E)$, Figura 5. A rede tem absorção assimétrica, quando a influência da empresa v_i na empresa v_j é distinta nos dois sentidos, podendo ou não haver qualquer influência em um ou noutro sentido. Isto caracteriza uma rede assimétrica $G_A(V,A)$, Figura 6.

Figura 5– Grafo – $G(V,E)$ de rede simétrica



Fonte: próprio autor

Figura 6– Grafo – $G_S(V,E)$ de rede assimétrica

Fonte: próprio autor

A figura 6 apresenta um exemplo de uma rede de interação assimétrica, onde se mapeia o relacionamento entre cinco empresas. No grafo apresentado, a empresa V_5 somente influencia a empresa V_4 , sendo V_5 uma empresa isolada das demais. Neste caso, nota-se que os resultados de cooperação da rede só existe entre as empresas V_2 , V_3 , V_1 e V_4 , pois possuem relacionamentos que permitem receber e repassar seus resultados inovativos aos demais. A rede mostra que todos os que cooperam se beneficiam da empresa isolada através da empresa V_4 . Deste modo, o modelo permite indicar que a evolução pode acontecer de algum modo na empresa V_4 , somente quando ela investir em pesquisa e desenvolvimento interno.

Os relacionamentos podem ser medidos em função da quantidade de empresas que interagem entre si, neste caso, denomina-se de densidade da rede, a quantidade de ligações que cada vértice possui. A densidade é em geral definida em relação ao máximo número de vértices da rede que se comunica com um dado vértice. Para efeito de estudos, a graduação da densidade define por outro lado o grau de esparsidade da rede, ou seja, quanto mais esparsa for a rede menos ligações entre vértices ela possui, ou seja, menor será a interação entre empresas.

A estrutura do grafo retorna importantes informações sobre a interação. Além da densidade, existe a centralidade de um vértice. Neste caso, a medida de centralidade de um vértice se refere ao comprimento de caminho (medido pela média do número de ligações) do vértice até atingir cada um dos demais. Para o exemplo da figura 6, a centralidade dos vértices que correspondem às relações entre as construtoras podem ser obtidas da tabela 1, onde a distância mais curta da relação entre as empresas está

mostrada nas células (p.ex.: a distância de relacionamento entre V_5 e V_2 é de 4 unidades, pois o percurso de relacionamento entre V_5 e V_2 é descrito por: $V_5 \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$). Nota-se que a empresa mais central entre todas é a empresa V_5 . No entanto, se desconsiderarmos as relações com a empresa V_5 , e como ela não se relaciona com as demais no caminho de volta, as empresas que mais proximamente interagem com as demais são a V_2 e a V_3 .

Tabela 1 – Medida de centralidade entre diversos vértices do grafo.

Empresas	V1	V2	V3	V4	V5	Centralidade
V1	0	2	2	1	Inf	Inf
V2	1	0	3	2	Inf	Inf
V3	1	2	0	1	Inf	Inf
V4	2	1	1	0	Inf	Inf
V5	2	1	4	3	0	2,5

Fonte: próprio autor.

2.1.2 Algoritmo Evolutivo

A ideia de aplicar os princípios darwinianos (evolutivos) para automatizar a resolução de problemas remonta aos anos quarenta, muito antes da descoberta de computadores (FOGEL, 1998).

Em 1962, Bremermann executou experimentos de otimização baseados em computador utilizando mecanismos de evolução e recombinação. No texto “*The evolution of intelligence*” ele incluiu no seu trabalho uma população de indivíduos que procuravam o ótimo de uma função. Neste modelo, ele incluiu o potencial dos indivíduos de recombinar seus componentes, oferecendo assim um dos primeiros protótipos completos para os Algoritmos Evolutivos.

Durante a década de 1960 foram desenvolvidos três implementações diferentes usando a mesma ideia básica de evolução. Nos Estados Unidos, Fogel, Owens e Walsh introduziram a Programação Evolucionária (FOGEL, 1998), enquanto isso, na Alemanha, Rechenberg e Schwefel inventaram as Estratégias Evolucionárias (SCHWEFEL, 1995). Já Holland chamou seu método de Algoritmo Genético (HOLLAND, 1975).

O objetivo principal de Holland não era simplesmente projetar um algoritmo que resolvesse funções específicas, mas desenvolver um método para representar os mecanismos de adaptação natural (MITCHELL, 1996). Cada estratégia seguida representa simplesmente a estratégia de um agente particular. Esta é a interpretação que seguimos neste trabalho.

A interpretação, que é usada pela maioria dos pesquisadores, afirma que os modelos de operador de seleção de imitação de estratégias são bem sucedidas. De acordo com essa interpretação, os agentes têm informações sobre o desempenho passado das estratégias e tendem a imitar aquelas estratégias que foram mais bem sucedidas no passado.

Os detalhes desta interpretação dependem do tipo de seleção do operador que é utilizado. Por exemplo, roleta ou seleção *fitness*-proporcional, que é o operador de seleção mais comumente usado, assume que um agente tem informações sobre o desempenho passado de todas as estratégias. Por outro lado, a seleção por torneio, que é utilizada em alguns trabalhos (por exemplo, Bullard e Duffy, 2001; Van Bragt et al 2001; Dawid e Dermietzel, 2006), assume que um agente tem informações sobre o desempenho passado de apenas um número limitado de estratégias.

O processo de escolha de soluções em que novas experiências devem ser baseadas é chamado de seleção. Desta forma, as soluções inovadoras são desenvolvidas por dois operadores; o cruzamento e a mutação. No modelo desta dissertação, responsáveis pela evolução tecnológica.

Assim, segundo Axelrod (1987), Holland e Miller (1991) e Arifovic (1996) os algoritmos genéticos (AG), originalmente desenvolvido por Holland (1975), como um modelo de evolução biológica, foram estabelecidos como uma descrição alternativa do comportamento humano em contextos econômicos (BIRCHENHALL; KASTRINOS; STAN, 1997; DAWID, 1999).

De outro lado, a aprendizagem social refere-se ao AG original, onde cada agente é representado por uma estratégia de cada vez, e as estratégias evoluem através do intercâmbio mútuo de informações. De outro lado, a aprendizagem individual corresponde ao sistema classificador de Holland, em que um agente tem um conjunto de soluções para escolher e seleciona a única a ser realizada em função do seu sucesso anterior (VRIEND, 2000). A aprendizagem individual no AG é utilizada para criar novas estratégias além das estratégias que cada agente já conhece (HOLLAND, 1975). Estes processos nos AGs refletem, portanto, a seleção interna.

Um pressuposto básico subjacente ao algoritmo genético é a conjectura de que as soluções mais bem sucedidas são mais propensas a fornecer material de base adequado para futuras gerações. Ao utilizar AG em um contexto econômico, os operadores do algoritmo são interpretados como passos de um processo de "aprendizagem adaptativa" (DAWID, 1999) ou "aprendizado evolutivo" (ARIFOVIC; MASCHEK 2006). A solução é um produto, uma quantidade de saída ou uma estratégia de um agente econômico de mercado.

Desta forma, a computação evolucionária oferece algoritmos baseados nos mecanismos da seleção natural e da genética, tais como algoritmos genéticos (BÄCK, 1996; MITCHELL 1996; GOLDBERG; HOLLAND, 1988), a programação genética (LANGDON; POLI, 2002), a programação evolutiva (BÄCK, 1996), a aprendizagem de sistemas classificadores (BULL 2004) e estratégias evolutivas (BEYER, 1998). Estas técnicas são cada vez mais aplicadas à modelagem evolutiva-econômica (ARIFOVIC, 2000; DAWID, 1999).

Em modelos de computação evolucionária, não só os indivíduos mudam ao longo do tempo, mas a população evolui devido aos processos de replicação e de variação seletivos. Riechmann (1999) propôs interpretar esses operadores evolutivos em termos de interações socioeconômicas, ou seja, como a aprendizagem por imitação (replicação seletiva), a aprendizagem através da comunicação (*crossover*) e de aprendizagem pela experimentação (mutação).

O processo de busca de melhores soluções é central a todas as técnicas de computação evolutiva. Ela envolve a geração de novas opções com operadores de mutação e recombinação. Um operador de mutação tem sempre um comportamento estocástico. Ele normalmente é projetado para agir, sobre alguma probabilidade positiva, alterando o valor de uma característica de um indivíduo selecionada aleatoriamente.

A recombinação (*crossover*) aqui tratada como pareamento funde informações (características) de dois códigos de pais em um código de prole. A diferença importante entre a mutação e recombinação é que a mutação é um operador unário; requer um objeto como uma entrada, enquanto o cruzamento é tipicamente um operador binário, ou seja: aplica-se sempre a dois objetos (pais).

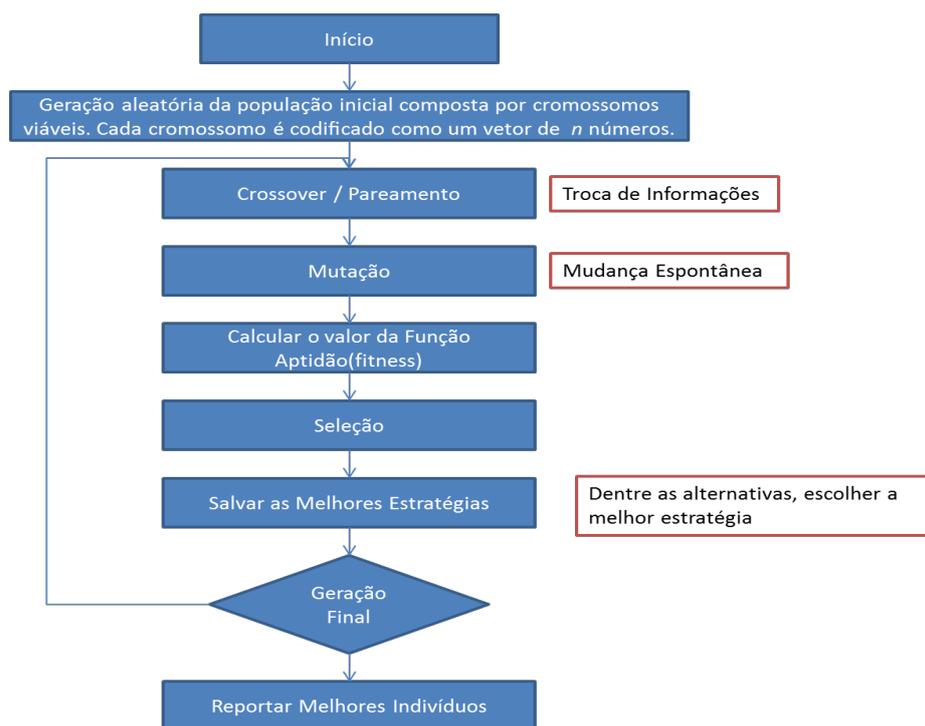
Além disso, a possibilidade de recombinação, com mais de dois pais, também é possível no contexto socioeconômico e tecnológico (EIBEN, 2000). Isto cria um espectro muito amplo de resultados de inovação. Tais recombinações múltiplas podem

ocorrer numa rodada (geração) do algoritmo genético várias vezes, ou ao longo das rodadas dos algoritmos.

A mutação é um momento importante neste algoritmo. Indica-se aqui que uma empresa modifica suas características espontaneamente. A analogia a isto pode ser feita quando se tem, por exemplo, uma empresa que aprende por si só uma técnica em um setor que melhora seus processos e impacta positivamente nos seus resultados operacionais. Esta etapa de evolução acontece normalmente e é absorvida no algoritmo genético como a etapa de Mutação.

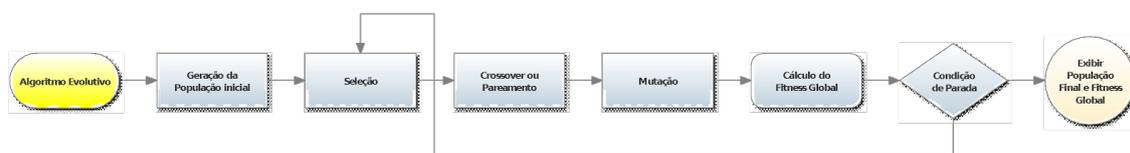
O algoritmo genético que representa esta natureza evolutiva é descrito na Figura 7, já o algoritmo desenvolvido neste trabalho considera que os indivíduos da população são os mesmos ao longo das gerações, deste modo o processo de seleção acontece antes do que se faz originalmente, Figura 8.

Figura 7 – Processo de evolutivo através de um Algoritmo Genético padrão



Fonte: próprio autor

Figura 8– Processo evolutivo através do Algoritmo Evolutivo proposto



Fonte: próprio autor.

A primeira preocupação do processo é quanto ao estado binário das “características”. A maioria das aplicações de modelos evolutivos usam genótipos que podem assumir os valores 0 ou 1. Nas pesquisas sobre inovação, isso se torna inadequado uma vez que as características podem ser mais do que a presença ou ausência de alguma coisa. Será feita uma medição de grau para cada característica “ C ” da população.

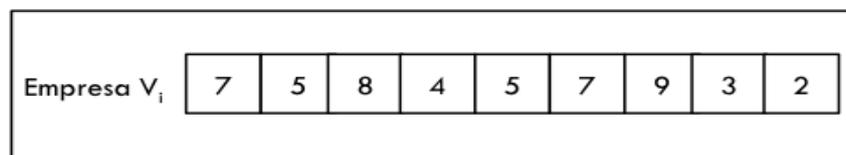
A base dos algoritmos genéticos (AG) é o mapeamento das características de cada indivíduo. Todo indivíduo pode ser mapeado por suas características, e estas características são descritas através de um cromossomo. No cromossomo, temos os genes, que formam a parte mais elementar do cromossomo.

Seguindo este modelo, pode-se descrever o cromossomo de empresas por seus setores de inovação: Contabilidade, Logística, Marketing, Vendas, etc. A seguir pode-se considerar que cada setor da empresa (*Gene*) deve possuir um grau de capacidade dinâmica, que pode ser nivelado com os escores de zero (0) a nove (9).

A figura 8 mostra um exemplo de descritor de uma empresa com suas capacidades dinâmicas, ou conhecimento tecnológico em cada setor especificado. Para o modelo evolutivo usando Algoritmos Genéticos, que se construiu para esta dissertação, este descritor seria o cromossomo, e os *Genes* são os setores da empresa.

Conforme a figura 8, no primeiro *Gene*, a Empresa V_i possui característica 7, ou seja, está atribuído a ela um nível de inovação tecnológica que pode ser medido com grau 7 de uma escala de zero a nove.

Figura 9 – Cromossomo representando uma empresa com seus setores e níveis de inovação indicados nos seus genes.



Fonte: próprio autor

Algoritmos evolutivos podem ser empregados para modelar a aprendizagem individual em sistemas multi-agente. Nesses modelos, cada agente observa uma representação do estado atual e realiza uma ação de acordo com uma regra de decisão selecionada (a partir de um conjunto finito de regras). Depois de todos os agentes empreenderem as suas decisões, os resultados são revelados e a eficácia das regras é avaliada. As regras mais eficazes têm uma maior chance de ser selecionada no futuro. Com o tempo, um algoritmo evolutivo evolui para a regra ótima ou conjunto de regras que retornam as respostas de um ambiente em mudança, promovido pela influência dos indivíduos uns nos outros.

2.1.3. Modelagem Baseada em Agentes.

Modelagem baseada em agentes (MBA) é uma técnica de simulação poderosa que está sendo cada vez mais aplicada em uma ampla gama de investigações científicas, (TESFATSION; JUDD, 2006). Nos modelos baseados em agentes, muitos agentes interagem de acordo com regras simples, resultando no surgimento de comportamento complexo em nível agregado.

Foi a partir desta perspectiva de modelagem das interações de muitos indivíduos, que o interesse na simulação como uma ferramenta para as ciências sociais aumentou fortemente (GILBERT; TROITZSCH, 2005). Nestes modelos o comportamento complexo não surge de superposição, mas diretamente, de baixo para cima a partir de ações e interações dos atores no nível micro (MARKS, 2007).

Tecnicamente, cada agente é composto apenas por um conjunto de regras lógicas de comportamento e uma lista de estados internos, o que representa, por exemplo, a memória ou suas capacidades tecnológicas.

Formalmente, os agentes podem ser definidos como entidades computacionais, geralmente mostrando alguma forma de racionalidade limitada, situado em algum ambiente, capaz de realizar ações autônomas flexíveis com a finalidade de atender seus objetivos, (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995). Os agentes inteligentes são caracterizados como sendo capazes de perceber o ambiente e responder a ele; de exibir um comportamento orientado para metas e de interagir com outros agentes. Estas interações podem ocorrer indiretamente através do ambiente em que os agentes são incorporados ou estão em comunicação direta com outros agentes (WEISS, 1999). As interações dos agentes, bem como o *feedback* de agregado (macro) para desagregar (micro) fenômenos, são as fontes de uma dinâmica não-linear.

Modelagem de estruturas organizacionais e estratégias de inovação têm sido outras aplicações importantes para MBAs (DAWID; REIMANN; BULLNHEIMER, 2001; DEBENHAM; WILKINSON, 2003; GILBERT; PYKA; AHRWEILER, 2001).

Assim, simulações de modelos baseados em agentes são metodologias eficazes para examinar diferentes estratégias no processo de inovação. Agentes nesses modelos representam, por exemplo, as empresas adaptáveis, laboratórios de pesquisa, ou mercados. Cada geração de bases de conhecimento levam à inovação. A disseminação de conhecimento ou informação entre os agentes podem ser facilmente modeladas para representar estratégias colaborativas ou competitivas.

Gilbert, Pyka e Ahrweiler (2001) consideram inovação em redes como evolução da articulação dinâmica e contingente de unidades heterogêneas, cada uma possuindo diferentes feixes de conhecimento e habilidades únicas. Vários estudos com foco em redes de inovação internacionais vieram a partir deste projeto já extinto. As conclusões deste grupo eram de que as redes são sistemas adaptativos complexos: são geralmente auto-organizáveis, de adaptação ao seu ambiente, não têm mecanismos de controle central, e seu estado atual é dependente de sua história passada (GILBERT; PYKA; AHRWEILER, 2001). Então, pode-se considerar as inovações como resultados emergentes e imprevisíveis das interações entre os agentes da redes.” (GILBERT E TROITZSCH, 1999)

2.1.3.1. Definição de Agentes

Ao procurar uma definição sobre o termo “agente” depara-se com diversos conceitos. Um deles foi proposto por Wooldridge (2002) onde diz que: “*Um agente é*

um sistema computacional que está situado em algum ambiente e que é capaz de executar ações de maneira autônoma neste ambiente, com o propósito de atingir seus objetivos”, (WOOLDRIDGE , 2002, p. 15).

Os agentes, suas interações sociais e seus processos de tomada de decisão podem ser modelados de forma explícita. A dinâmica de nível macro do sistema social emerge a partir do comportamento individual e agregado das interações entre os agentes (TESFATSION, 2006).

3.1.3.2 Características dos Agentes

Segundo Wooldridge e Jannings (1995) os agentes em um sistema multi-agentes têm várias características importantes. Inicialmente, cada agente age de forma independente de acordo com as regras da simulação e o seu comportamento pré-programado. Estas regras e comportamentos podem ter uma ou mais das seguintes características:

Meta - O agente atua de modo a alcançar um determinado objetivo, que pode ser um valor relativo ou um local. Por exemplo, um agente pode ser projetado para maximizar a acumulação de um determinado recurso operacional;

Reatividade - O agente percebe seu entorno de tal forma que ele está ciente de seu ambiente. Por exemplo, um agente pode estar ciente de locais onde existem recursos;

Racionalidade limitada - A fim de proporcionar um maior poder preditivo, os agentes são condicionados em termos de recursos de informação ou à sua capacidade analítica;

Interatividade - Os agentes podem interagir ou trocar de informações com outros agentes. Estas interações podem ter efeitos específicos sobre os agentes, incluindo a sua destruição ou alteração no comportamento de busca por um objetivo;

Adaptação - Alteração do estado atual de um agente baseado em interações com o ambiente ou com outros agentes.

2.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO

O propósito deste modelo é buscar compreender a dinâmica evolucionária decorrente da interação de um conjunto de empresas e sua relação com outras empresas em um ambiente específico. O modelo descreve o comportamento de um número de empresas concorrentes que fabricam produtos com desempenho equivalente.

A descrição do modelo é determinada de uma forma muito geral, por que a plataforma pode ser aplicada a contextos diferentes, e pode ser usado para enfatizar perspectivas diferentes, por exemplo, do ponto de vista econômico ou sociológico sobre a evolução das redes de inovação.

Os atores formam o ponto de partida de uma rede de inovação. Estes são as empresas envolvidas com Pesquisa & Desenvolvimento (P&D). Os atores são representados com um código que carregam para si os atributos padrões dos agentes inteligentes (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995):

- Autonomia;
- Habilidades Sociais;
- Reatividade;
- Proatividade.

Os atores são capazes de aprender com seus próprios esforços de pesquisa (mutação) e com outros atores com os quais colaboram (Pareamento).

Para representar os atores, recorreremos de uma representação genética seguindo o conceito de *Genótipo* (Gilbert, 1997). O *Genótipo* de um agente i onde $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ e um conjunto de Capacidades Tecnológicas C_i^j , onde $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ representa as diferentes áreas tecnológicas medidas.

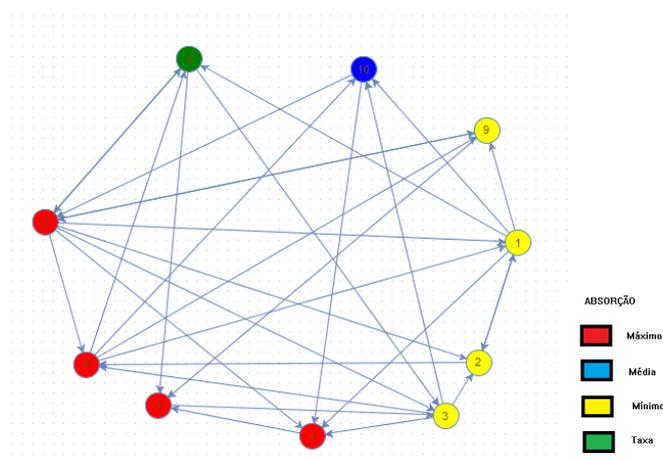
Por fim, os agentes têm sua capacidade de absorção representada por $A_j^i = m \in [0, 1]$ medida em valores que representam uma distribuição entre 0 e 1, onde 0 é nenhuma capacidade de absorção e 1 é definida como capacidade máxima de absorção.

A estrutura geral de um Agente i é representada pelo conjunto, a seguir:

$$\text{Agente}_i \left\{ \left(\frac{C_1^i}{A_1^i} \right); \left(\frac{C_2^i}{A_2^i} \right); \dots; \left(\frac{C_j^i}{A_j^i} \right) \right\}$$

Durante os processos de inovação, este tipo de estrutura é modificada de acordo com as ligações entre os agentes. Neste momento o modelo pressupõe a formação de diferentes cenários para diferentes tipos de redes, assim como pressupõe a formação de diferentes cenários que passariam a influenciar na trajetória evolutiva dos agentes do modelo (empresas).

Figura 10 – Modelo de um grafo $G_A(V,A)$ de relacionamento entre 10 agentes



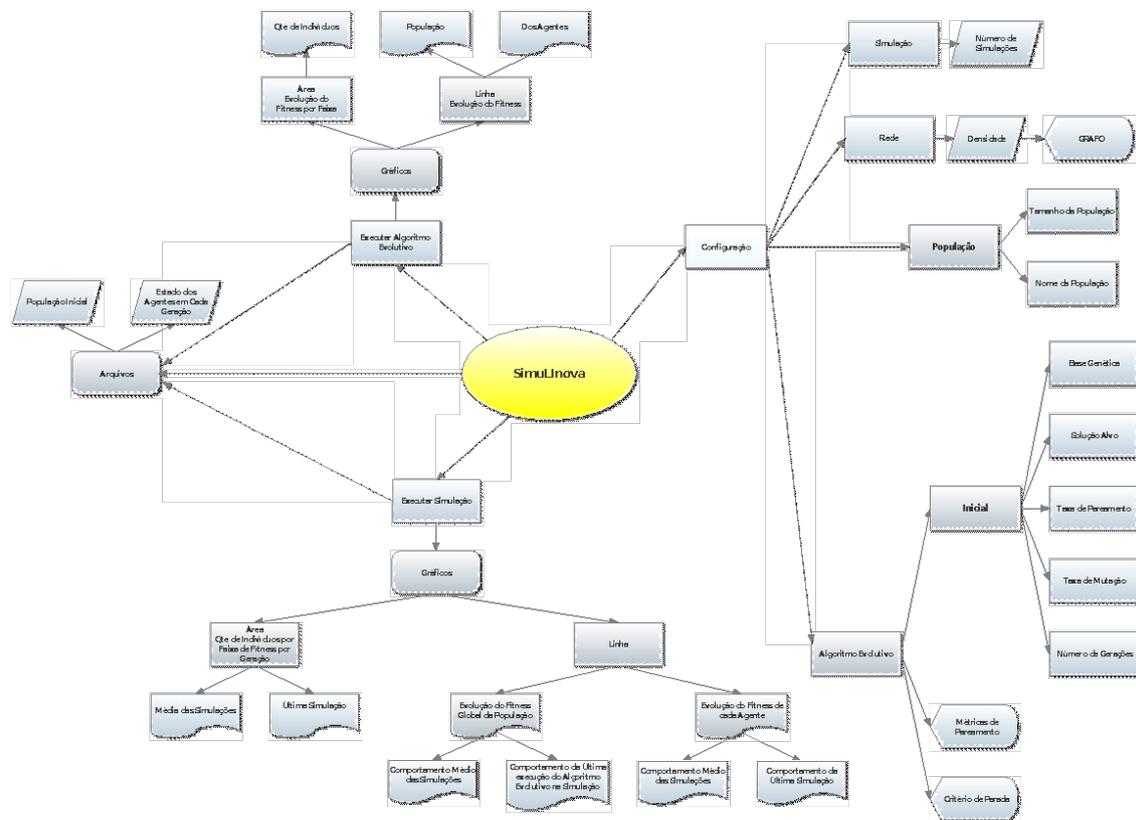
Fonte: próprio autor

A figura 10 apresenta um grafo de relacionamento de agentes, onde os vértices (agentes) pintados de vermelho, azul, amarelo e verde contêm métricas de absorção que são indicadas pela sua cor. No exemplo, o grupo vermelho tem a mesma quantidade de indivíduos do grupo amarelo, indicando que este último grupo tem uma visão minimalista da interação com os parceiros, enquanto o primeiro é formado por pessoas que são ávidas ao aprendizado e ideias vindas dos outros parceiros. Este modelo é robusto à revisão de estados iniciais dos agentes e sua evolução.

2.4 DESCRIÇÃO DO SIMULINOVA

O projeto SimuLInova, é uma aplicação computacional desenvolvida em Java para esta dissertação, pela equipe do LCC-Laboratório de Computação Científica da UECE, que visa promover a visualização de diversos cenários sobre o processo evolutivo de interação entre agentes de comportamento similar e/ou distinto.

Figura 11- Arquitetura do SimuInova



Fonte: próprio autor

A figura 11 apresenta a arquitetura do sistema, onde se tem basicamente três Módulos: Configuração, Execução e Simulação.

2.4.1. Módulo de Configuração

O módulo de configuração permite que o usuário determine os parâmetros necessários ao processo de execução de uma rodada do algoritmo evolutivo ou de muitas execuções do algoritmo (simulação).

Este módulo se divide em três partes: Algoritmo Evolutivo, População, Rede e Simulação.

No algoritmo evolutivo, definem-se três partes: Inicial, Métricas de Pareamento e Critérios de Parada.

a) Inicial:

Base Genética: Onde se configura a base genética de cada vértice do grafo (empresas). Neste caso, o usuário estabelece os números válidos para se configurar a base genética. Por exemplo: indicando-se 0123456789, são válidos apenas os números 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, e 9, para compor a base genética das empresas a serem construídas. Essa configuração pode ser observada na figura 12.

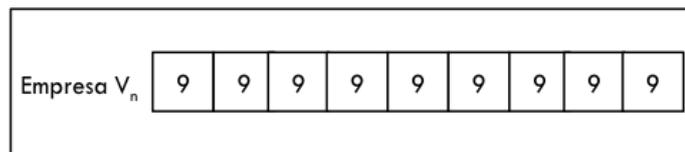
Figura 12 - Base Genética das Empresas Simuladas



Fonte: próprio autor

Solução Alvo: define-se aqui o valor final que será obtido no processo evolutivo das empresas. O usuário estabelece aqui o objetivo a ser alcançado pela empresa no cromossomo padrão final. Por exemplo: indicando-se 999999999, a solução final a ser perseguida pela empresa seria 999999999.

Figura 13 – Solução Alvo

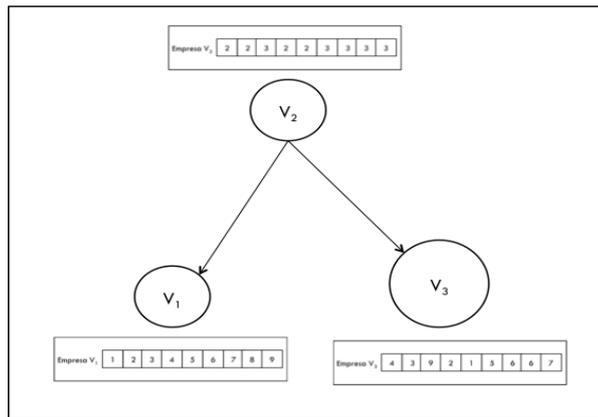


Fonte: próprio autor

No algoritmo evolutivo, o objetivo é medido por uma função denominada *fitness*, esta função compara a solução atual com a solução corrente, e conta o número de vezes que os genes são idênticos no mesmo setor entre o cromossomo da empresa em avaliação e o cromossomo alvo. Por exemplo: se uma empresa V_i tem cromossomo 1302, o fitness para o alvo 2304 é 2, pois o 0 e o 3 estão na mesma posição do alvo. O *fitness* global acontece pela soma dos fitness individuais de cada empresa.

Taxa de Pareamento: define-se aqui um valor percentual que indica um percentual de pareamento que poderá ser feito entre cromossomos de duas empresas distintas. Por exemplo: se numa rede de 100 agentes um agente tem 50 indivíduos que influencia diretamente, e a taxa de pareamento for definida como sendo 50%, então está se dizendo para o algoritmo evolutivo, que durante a seleção dos pares de cromossomos (empresas) que ele influencia, somente 25 deles devem ser considerados. O algoritmo então selecionará aleatoriamente (com distribuição uniforme) 25 das empresas que se comunicam com ela para parear os cromossomos numa tarefa de *crossover* (troca de informações).

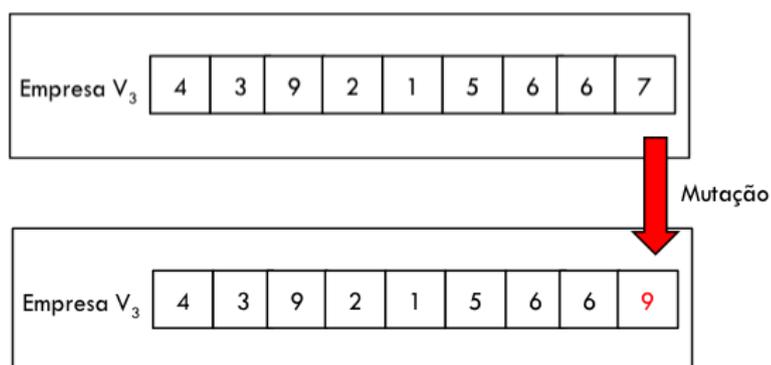
Figura 14 – Taxa de Pareamento



Fonte: próprio autor

Taxa de Mutação: define-se aqui a possibilidade de mudança dos indivíduos. Neste caso, do universo de indivíduos da população, alguns dos indivíduos podem ser aleatoriamente selecionados para que parte de seus genes sejam modificados. Assim, tanto a seleção dos indivíduos a serem modificados, quanto os seus genes, estarão regidos pela taxa de mutação. Por exemplo, se for configurada uma taxa de mutação de 10% em uma população de 100 indivíduos, até 10 indivíduos serão aleatoriamente escolhidos para sofrerem mutação. Se os indivíduos possuem 10 genes, cada gene terá 10% de chance de se modificar para um valor arbitrário.

Figura 15 – Taxa de Mutação



Fonte: próprio autor

Número de Gerações: para que haja evolução, os indivíduos devem interagir nos processos de *crossover* e mutação por um número de vezes. A cada iteração

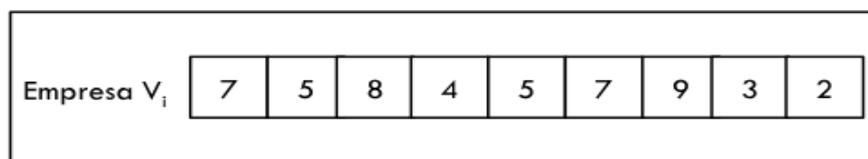
completa denomina-se geração. O número de gerações é determinado para se saber sobre o estado da população ao longo de muitas iterações do algoritmo evolutivo. A cada iteração completa denomina-se geração. O número de gerações é determinado para se saber sobre o estado da população ao longo de muitas iterações do algoritmo evolutivo.

b) Métricas de Pareamento:

Como visto anteriormente, a arquitetura do **Simullnova** estabelece que sejam construídos cenários de simulação que permitam visualizar contextos diferentes de interação entre indivíduos de uma população. As iterações são mapeadas pelo grafo $G_A(V,A)$, onde os vértices são considerados aqui como sendo as empresas e os arcos são as relações de influência entre elas. A ausência de arcos entre duas empresas significa que não há influência entre elas, e a presença de um arco do tipo $v_i \rightarrow v_j$ indica que a empresa v_i influencia a empresa v_j diretamente.

No modelo, as empresas são descritas por seus setores de inovação, onde é representado por um *Gene*. Considera-se que cada setor da empresa deve possuir um grau de inovação, que é nivelado com os escores de zero a nove. A figura 16 mostra um exemplo de descritor de uma empresa com seus graus de inovação ou conhecimento tecnológico em cada setor especificado. O modelo evolutivo de simulação denomina este descritor de cromossomo.

Figura 16 - Cromossomo da Empresa V_i



Fonte: próprio autor

A medida de influência entre v_i e v_j é determinada por uma métrica de relacionamento que é atribuída a v_i , v_j ou a ambas simultaneamente, setor a setor.

A métrica de relacionamento determina como acontece a absorção tecnológica entre as empresas. Dentre muitas métricas que podem ser construídas para configurar o relacionamento entre as empresas, adotou-se neste trabalho quatro possibilidades : Mínimo, Média, Taxa e Máximo.

As métricas operam da seguinte forma: Dadas duas empresas A e B, e os mesmos setores de A e B tomados, o resultado da operação de absorção entre os mesmos setores considerando a influência de A sobre B, é dado por:

$$\text{Função} = \{ \text{Atributo}(\text{Empresa}(B), \text{Setor}) = \text{Métrica}(\text{Atributo}(\text{Empresa}(A), \text{Setor}), \text{Atributo}(\text{Empresa}(B), \text{Setor})) \}.$$

Por exemplo, consideremos as empresas A (Figura 17) e B (Figura 18).

Figura 17 – Descritor das capacidades dinâmicas da empresa A.

Empresa A	9	7	2	4	5	8	5	4	1
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: próprio autor.

Figura 18 Descritor das capacidades dinâmicas da empresa B.

Empresa B	6	7	8	4	5	8	9	7	1
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: próprio autor.

Considerando que o relacionamento entre as empresas A e B ocorrem de A para B usando-se a métrica Máximo, após a interação absorção pela influência entre todos os *Genes* de A em B, a empresa B deverá ter como resultado, figura 19:

Figura 19 – Descritor dos setores de uma empresa B, após interação com A (Métrica: Máximo)

Empresa B	9	7	8	4	5	8	9	7	1
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: próprio autor.

Nota-se aqui que após a iteração de inovação tecnológica, alguns setores melhoraram devido à absorção pela interação máxima entre as empresas.

Considerando que o relacionamento entre as empresas A e B ocorrem de A para B agora sobre a métrica Taxa, há uma razão especial. Neste caso, associa-se à influência sempre positiva do grau do setor de influência, ao que se tem atualmente, limitando-se ao maior grau. Ou seja:

$$\text{Função} = \text{Atributo}(\text{Empresa}(B), \text{Setor}(\text{Vendas})) = \text{Mínimo}\{\text{Atributo}(\text{Empresa}(B), \text{Setor}(\text{Vendas})) + \text{Taxa} * \text{Atributo}(\text{Empresa}(A), \text{Setor}(\text{Vendas})), 9\}$$

Por exemplo, se supormos que a taxa de absorção é de 10% pela empresa B do atributo de A. Então no relacionamento entre as empresas A e B, B torna-se (Figura 20):

Figura 20 – Descritor dos setores de uma empresa B, após influência de A com métrica Taxa de Absorção 10%.

Empresa B	6,9	7,7	8	4,4	5,5	8,8	9	7,4	1
-----------	-----	-----	---	-----	-----	-----	---	-----	---

Fonte: próprio autor

Neste caso, somente os valores 9 (atributo 7) e 1 (atributo 9) da empresa B não sofreram mudança positiva, pela interação com A, usando a métrica Taxa.

Assim, quando o modelo trata de pareamento entre indivíduos, está fazendo exatamente o processo acima, setor a setor. A diferença básica é a de que quando é feito o pareamento entre os setores, o modelo de simulação aceita ou não fazer o processo de absorção entre os mesmos setores de uma empresa. Isto caracteriza o relacionamento entre duas empresas na realidade. Nem sempre se consegue que duas empresas se visualizem plenamente nos seus diversos setores, e assim os ganhos são obtidos quando elas vão interagindo, ou mesmo obtendo conhecimento externo necessário para sua evolução.

A redução dos atributos pode ocorrer em um processo de interação entre dois indivíduos. Isto acontece muito entre empresas, quando num processo de evolução elas percebem que estão usando inadequadamente certa tecnologia em um determinado setor. Esta medida pode ser obtida pelas métricas: Média e Mínimo.

Por exemplo, consideremos as empresas A (Figura 17) e B (Figura 18), se a métrica de absorção usada for a média, e A influencia B, o resultado da empresa B, após a iteração, teremos:

Figura 21 – Descritor dos setores de uma empresa B, após influência de A com métrica Média ocorrendo “desaprendizado”/involução em setores

Empresa B									
	7,5	7	5	4	5	8	7	5,5	1

Fonte: próprio autor

Nota-se aqui que após a iteração de inovação tecnológica, alguns setores melhoraram devido à absorção pela interação média entre os mesmos setores das duas empresas. Porém a empresa A influenciou negativamente outros setores.

Na métrica Taxa, considera-se que durante o pareamento ou mesmo na mutação, o percentual do *Gene* será acrescido de quem o influenciou nos setores que absorverão o crescimento positivo.

c) Critério de Parada:

Para que o processo iterativo possa ser concluído num algoritmo evolutivo, adotam-se critérios de terminação em relação ao atingimento do *fitness* esperado (quando uma empresa atingir o *fitness alvo*) ou ao final de um número de gerações. A escolha deste critério é importante, para se analisar com maior propriedade como está a evolução dos indivíduos ao longo do tempo.

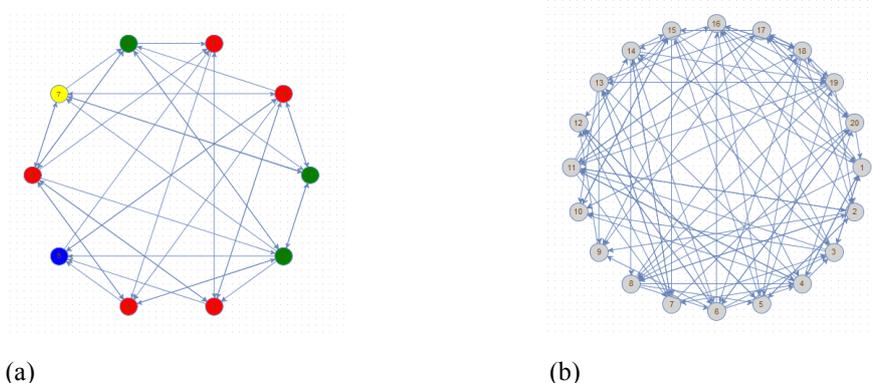
Em nosso simulador, as taxa de pareamento e de mutação, para cada setor em processo de simulação do algoritmo evolutivo, podem variar dentro de uma distribuição constante de probabilidades.

No módulo População, o usuário define o tamanho da população (número de empresas) que deseja criar, assim como dá o nome à população a ser gerada.

No módulo Rede, o usuário definirá a criação do grafo de relacionamento a partir da densidade do grafo, se a densidade é fixa ou variável. Neste caso, sendo fixa,

cada vértice deve ter um número fixo de vizinhos, enquanto no outro caso os vizinhos são limitados ao máximo da densidade definida nos parâmetros iniciais do software. Após estas seleções, o grafo é exibido na interface, mostrando os vértices nas cores vermelho para aqueles que usam a métrica de pareamento Máximo, azul para os que usam a métrica Média, amarelo para os que usam a métrica Mínimo e verde para os que usam a métrica de pareamento Mínimo. Quando a métrica é a mesma para todos, todos estarão com a cor cinza.

Figura 22 – (a) Grafo Agente, (b) Grafo de indivíduos com a mesma métrica



Fonte: próprio autor

Por fim no módulo simulação, o ambiente permite a inserção do número de execuções de simulação do algoritmo evolutivo.

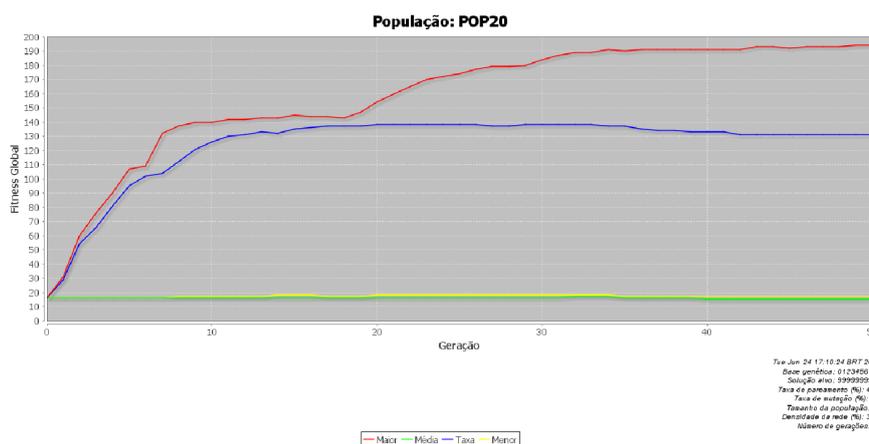
Existem dois modos de visualização do processo de simulação: Modo Geral e Modo Agente. No modo geral, os indivíduos são criados com taxas de absorção iguais para todos. Deste modo, podemos identificar o comportamento da evolução quando todos têm um comportamento interativo comum, indicando inclusive uma previsibilidade do modelo evolutivo para sua calibração. Já para o Modo Agente, cada agente tem sua própria métrica de absorção, ou seja, quando ele faz o pareamento com outro agente, ele absorve os valores por setor dependendo da métrica de absorção (aprendizado) que lhe foi atribuída no seu nascimento. A atitude de absorção do indivíduo nasce com ele e mantém-se ao longo de todas as gerações do processo evolutivo.

2.4.2. Módulo de Execução do Algoritmo Evolutivo

O módulo de execução do algoritmo evolutivo gera duas saídas importantes, uma contendo gráficos com as soluções obtidas pelo algoritmo evolutivo considerando cada métrica usada no módulo geral, e outra contendo os arquivos com os dados de entrada do processo (Arquivos * PopulacaoOriginal.XML e *Agente.XML). Nos dois casos as soluções de *fitness* são expressas em gráficos de linha e de área, que representam um processo evolutivo definido pelos parâmetros do modelo, estabelecido nas configurações anteriormente descritas. Os arquivos *PopulaçãoOriginal.XML podem ser alterados sistematicamente, através de um editor de .XML. Isto significa que é possível alterá-los manualmente de modo a construir uma situação específica controlada pelo próprio usuário.

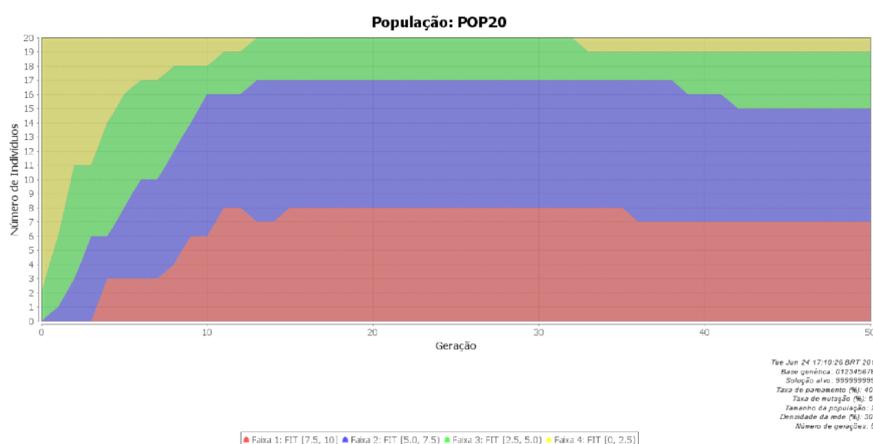
As figuras 23 e 24 apresentam os gráficos de linha contendo o resultado de uma execução do algoritmo evolutivo para população onde os agentes têm as mesmas métricas – máximo (Vermelho), média (Verde), mínimo (Amarelo) e taxa (Azul), ao longo de 50 gerações. E o gráfico de área para a métrica Taxa, onde se visualiza a quantidade de indivíduos que atingiram as quatro diferentes faixas de *fitness* indicadas ao longo das gerações.

Figura 23 – Gráfico de linha para as métricas: máximo, média, mínimo e taxa



Fonte: SimullInova

Figura 24 – Gráfico de área para a métrica taxa, com agentes de métrica igual



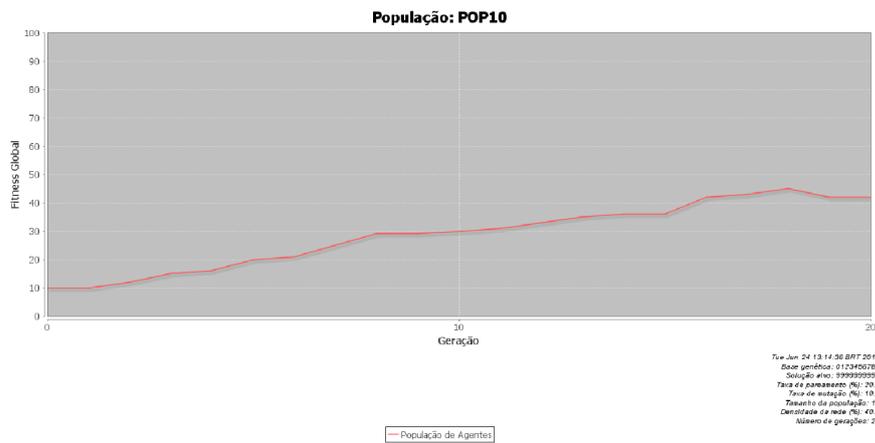
Fonte: Simullnova

2.4.3 Módulo de Execução das Simulações

O módulo de execução das simulações do algoritmo evolutivo gera quatro saídas importantes, uma contendo gráficos com a última simulação e a média das simulações, e outra contendo os arquivos com os dados de entrada do processo (Arquivos *PopulacaoOriginal.XML e *Agente.XML). Da mesma forma como antes, nos dois casos as soluções de *fitness* são expressas em gráficos de linha e de área, que representam um processo evolutivo definido pelos parâmetros do modelo, estabelecido nas configurações anteriormente descritas. Os arquivos *PopulacaoOriginal.XML também podem ser alterados sistematicamente, através de um editor de .XML.

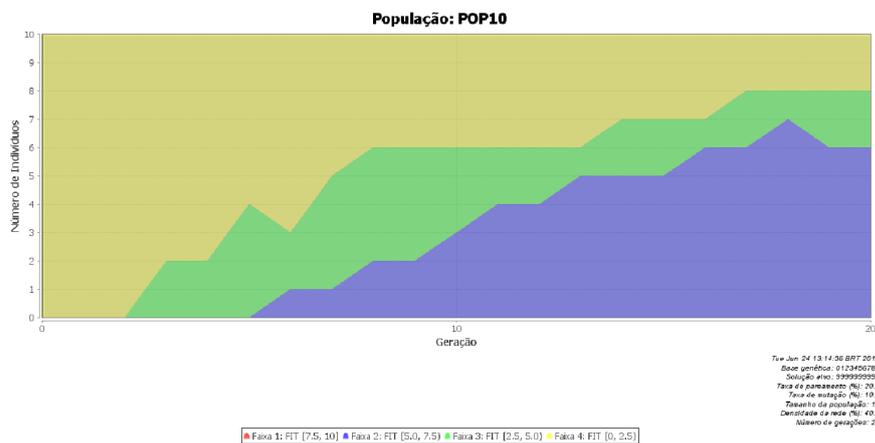
As figuras 25, 26 e 27 apresentam os gráficos de linha e área contendo o resultado de média das execuções do algoritmo evolutivo para população onde os agentes têm métricas distintas, ao longo de 50 gerações. O gráfico de área resultante das médias das simulações do algoritmo evolutivo, onde se visualiza a quantidade de indivíduos que atingiram as quatro diferentes faixas de *fitness* indicadas ao longo das gerações. Por fim o gráfico de linhas de cada agente, representando o comportamento médio de cada agente nas gerações ao longo de cada simulação.

Figura 25 – Gráfico de linha agentes evolutivo, para agentes de métricas distintas.



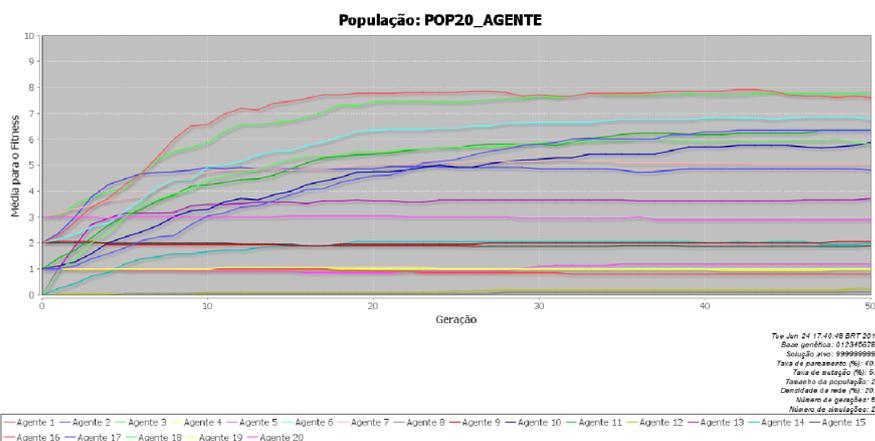
Fonte: Simullnova

Figura 26 - Gráfico de área com faixas de *fitness* para agentes de métricas distintas



Fonte: Simullnova

Figura 27 – Gráfico de linhas para cada agente com métricas distintas.



Fonte: Simullnova

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos através de 300 simulações de interações entre empresas que cooperam por meio de relacionamentos. A análise subsequente mostra como os indivíduos evoluem ao longo das interações, para cada situação considerada. A princípio apresenta-se o modelo com seus principais parâmetros de configuração das simulações. Na próxima seção aborda-se a construção dos cenários, cuja finalidade é examinar o efeito da estrutura de redes sobre a inovação e sua difusão. Na seção 3.3 apresenta-se o resumo dos resultados dos cenários examinados.

3.1. O MODELO

Como resultado deste trabalho, obteve-se a construção de um modelo empírico em ambiente computacional, capaz de representar as variáveis do *framework* analítico utilizado (figura 2) a partir da pressuposição de que o ambiente de interação em rede influencia a co-evolução das capacidades tecnológicas dos agentes, no caso desta pesquisa, as empresas.

O Modelo foi construído considerando os parâmetros de rede (densidade), associados ao ambiente, o número de agentes (50) e as características destes, compreendidas pelas taxa de pareamento e mutação.

As configurações iniciais das redes são as mesmas para todos os casos, ou seja: são os mesmos 50 indivíduos com 10 setores, cada setor tem atributos iguais inicialmente para cada simulação considerada, isto é, todas as simulações partem do mesmo estado inicial dos indivíduos. As medidas de absorção nos pareamentos, porém, divergem inicialmente por setor do indivíduo.

Na configuração inicial da rede existem 15 indivíduos com *fitness* 0, 17 indivíduos com *fitness* 1, 13 indivíduos com *fitness* 2, 4 indivíduos com *fitness* 3 e 1 indivíduo com *fitness* 5.

Segundo o modelo apresentado na tabela 02, na simulação verificou-se o comportamento da rede por meio do uso de cada parâmetro com pelo menos três situações distintas. Para as taxas de densidade, pareamento e mutação, trabalhou-se com os valores de 5%, 10% e 20%.

Importante dizer que o SimulInova usa geradores aleatórios com distribuição uniforme, ou seja, a probabilidade de escolha de um entre os elementos do conjunto de seleção é aproximadamente a mesma.

Tabela 2 – Cenários estudados no **Simullnova**

Cenários				
Densidade	Taxa de Pareamento	Taxa de Mutação	Cenários	
5%	5%	5%	Cenário 1 - C1	
		10%	Cenário 2 - C2	
		20%	Cenário 3 - C3	
10%	10%	5%	Cenário 4 - C4	
		10%	Cenário 5 - C5	
		20%	Cenário 6 - C6	
	20%	5%	Cenário 7 - C7	
		10%	Cenário 8 - C8	
		20%	Cenário 9 - C9	
20%	5%	5%	Cenário 10 - C10	
		10%	Cenário 11 - C11	
		20%	Cenário 12 - C12	
	10%	5%	Cenário 13 - C13	
		10%	Cenário 14 - C14	
		20%	Cenário 15 - C15	
	20%	20%	5%	Cenário 16 - C16
			10%	Cenário 17 - C17
			20%	Cenário 18 - C18
5%		5%	Cenário 19 - C19	
		10%	Cenário 20 - C20	
		20%	Cenário 21 - C21	
20%	10%	5%	Cenário 22 - C22	
		10%	Cenário 23 - C23	
		20%	Cenário 24 - C24	
	20%	5%	Cenário 25 - C25	
		10%	Cenário 26 - C26	
		20%	Cenário 27 - C27	

Fonte: próprio autor

Ainda conforme a tabela 02 verificou-se a possibilidade de se analisar até 27 cenários distintos, porém para efeitos de análise desta dissertação, optou-se por se fazer a análise de nove cenários possíveis, tendo em vista evitar a repetição de informações e o excesso de gráficos e por considerar que as informações escolhidas são suficientes para entender

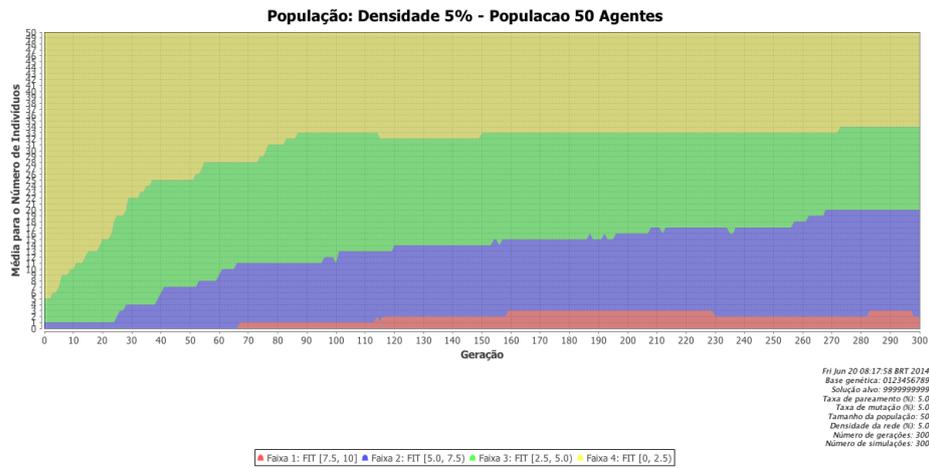
e analisar os resultados principais emergidos do modelo, bem como as implicações teóricas subsequentes pela utilização do **SimulInova**.

3.2. OS CENÁRIOS

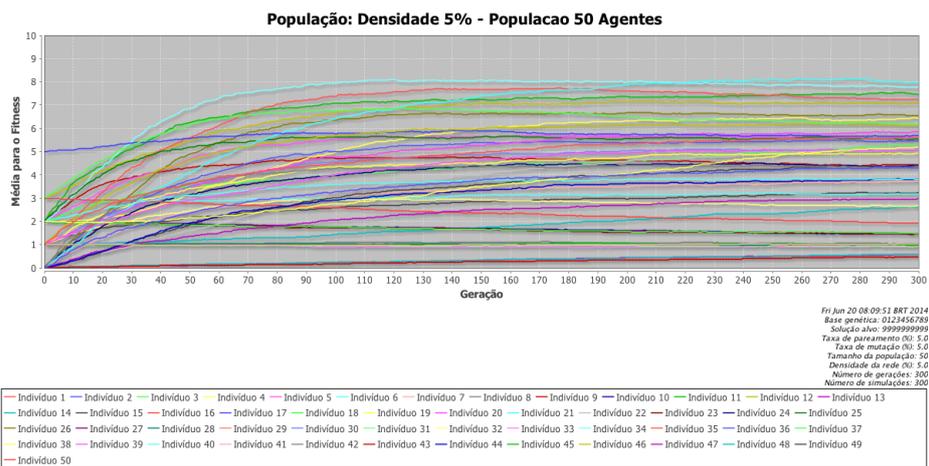
Os cenários apresentados a seguir mostram a simulação da trajetória co-evolutiva, na tabela 02 apresenta-se os cenários e as suas respectivas combinações. Os cenários escolhidos para compor a análise estão destacados de amarelo. Optou-se por manter fixa a taxa de mutação e variar as taxas de densidade e pareamento. Dentre as diversas simulações efetuadas, observou-se que quanto maior a taxa de mutação, menor o *fitness*, indicando baixa evolução nas capacidades tecnológicas do grupo de empresas que formam a rede.

Nos Gráfico 1 e 2 apresentam-se o resultado de uma simulação com a taxa de mutação de 5%, nos Gráfico 3 e 4 com taxa de mutação de 10% e nos Gráficos 5 e 6 com taxa de mutação de 20%.

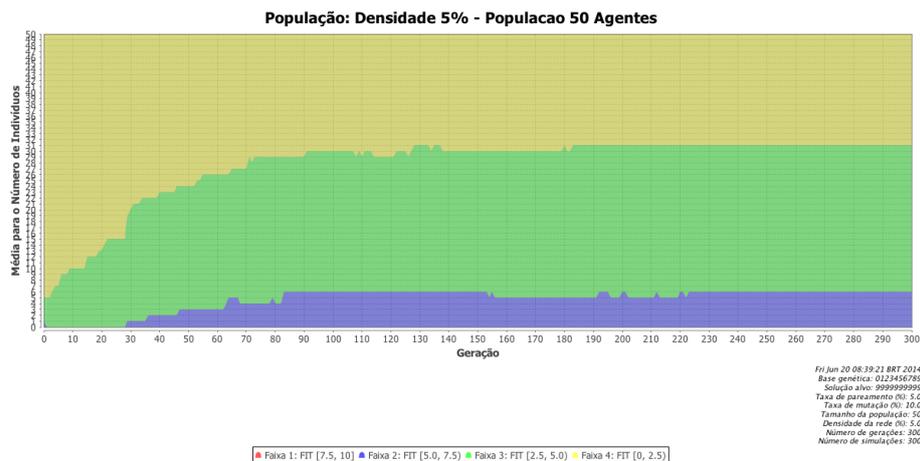
Pelos gráficos apresentados, percebe-se que na simulação com taxa de mutação de 5% o *fitness* global alcançado por algumas empresas da rede é maior. Ao se analisar outras simulações observando apenas a variação na taxa de mutação verificou-se comportamento semelhante, forçando o autor desta dissertação a manter esse índice no menor valor. Uma das explicações para esse comportamento está relacionada a ausência de critérios que indiquem se as mudanças internas podem ser boas ou ruins para as empresas. É um ponto a ser observado para pesquisas futuras.

Gráfico 1 – *Fitness* Global para taxa de Mutação - 5 %

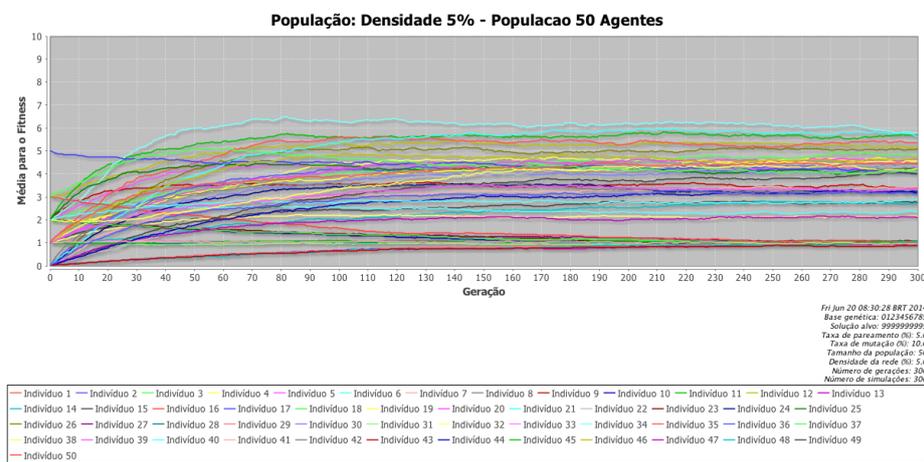
Fonte: Dados das Simulações

Gráfico 2 - Evolução do *Fitness* Individual para taxa de Mutação - 5 %

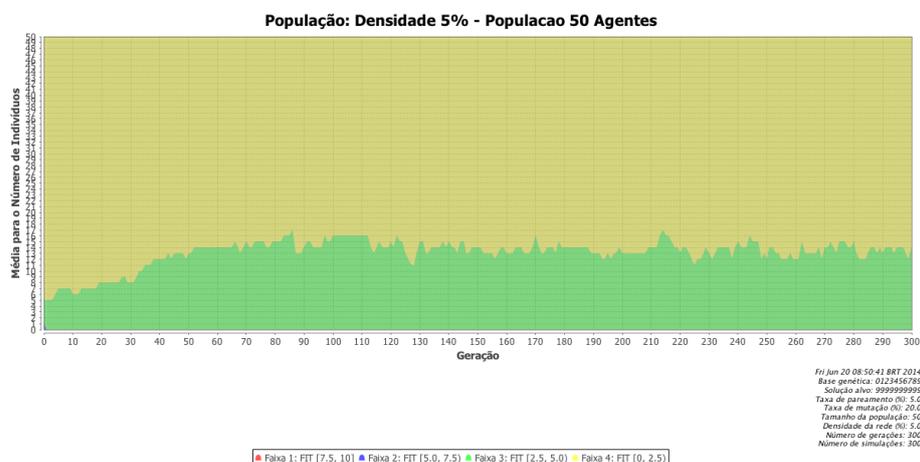
Fonte: Dados das Simulações

Gráfico 3 – *Fitness* Global para taxa de Mutação - 10 %.

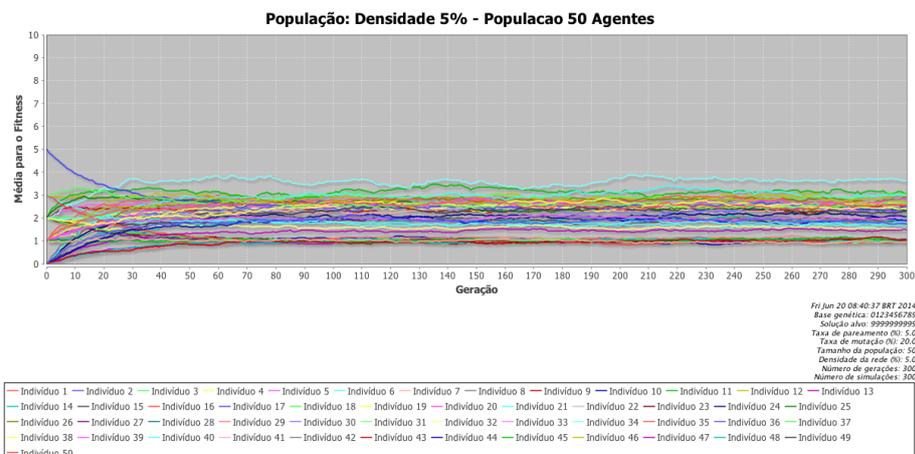
Fonte: Dados das Simulações

Gráfico 4 – Evolução do *Fitness* Individual para taxa de Mutação - 10 %

Fonte: Dados das Simulações

Gráfico 5 – *Fitness* Global para taxa de Mutação - 20 %.

Fonte: Dados das Simulações

Gráfico 6 – Evolução do *Fitness* Individual para taxa de Mutação - 20 %

Fonte: Dados das Simulações

O *fitness* indica o número de características compatíveis os valores da função objetivo do modelo. Quanto maior o *fitness* da empresa, maior sua capacidade inovativa, o que promove a co-evolução das relações existentes no modelo.

No gráfico 1 com taxa de mutação de 5%, observa-se um aumento médio do *fitness* do conjunto de indivíduos que compõem a simulação, com indivíduos chegando próximo a 8, numa escala que vai de 0 a 10. No gráfico 2 para a taxa de mutação de 10% houve uma redução no valor médio do *fitness* apresentando um pico de no máximo 6,5. Já no gráfico 3 para uma taxa de mutação de 20% a redução do valor médio do *fitness* foi ainda mais drástica, ocorrendo inclusive reduções abruptas entre alguns agentes, caindo até 3 pontos, como o indivíduo 44, caindo de 5 para 2. Diante do exposto, optou-se por utilizar para a análise dos cenários uma taxa de mutação sempre no valor de 5%, fornecendo uma melhor compreensão dos valores analisados.

A passo seguinte da análise consiste em apresentar os cenários. Na próxima seção tem-se os cenários para baixa densidade de rede.

3.2.1. Cenário C1

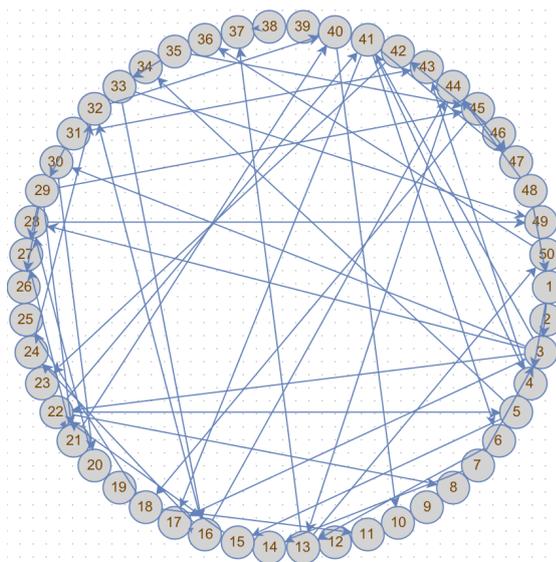
Considerando que o ambiente em rede se apresenta com baixa densidade de interação entre empresas, ou seja, existem poucas conexões entre os diferentes agentes da rede. Assim, as empresas nesta rede apresentam baixa propensão a se conectarem com parceiros e portanto apresentam menos diversidade de opções colaborativas.

Os cenários variam a taxa de pareamento que representa a efetividade das conexões, ou seja, das conexões que foram realizadas quantas de fato resultaram em aprendizado colaborativo.

Cada geração indica uma rodada onde as empresas cooperaram entre si dentro de um período que equivale a 300 interações. A evolução de uma geração para outra, acontece permitindo que as empresas ao cooperarem obtenham resultados em função da capacidade de absorção para cada capacidade inovativa.

A rede da figura 28, apresenta um contexto de co-evolução, onde 50 empresas atuam em uma rede com densidade de 5% , de valor fixo. Nesta rede, existem alguns indivíduos isolados que não cooperam com ninguém, somente recebem resultados de inovação dos seus parceiros e alguns indivíduos isolados que somente cedem seus resultados de inovação aos seus cooperados.

Figura 28 – Densidade de Rede 5% Fixa, Número de Agentes: 50



Fonte: Dados das Simulações

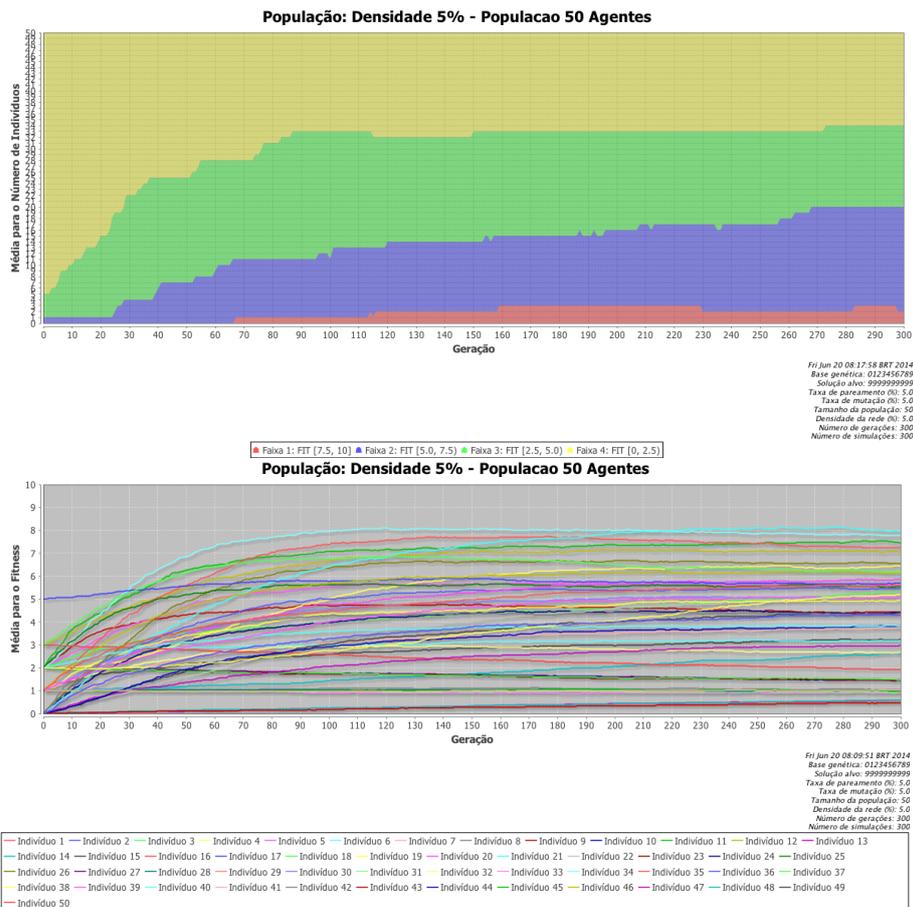
A figura 29 apresenta um cenário C1 de baixa densidade de rede, a trajetória co-evolutiva se deu em um ambiente de baixo pareamento (5%) e baixa mutação (5%). Na parte superior da Figura 30 observa-se que para um número de 50 indivíduos e 300 gerações, no início do período há em torno de 45 indivíduos no nível 1 de capacidade tecnológica (área amarela do gráfico). No período de 0 a 70 existe uma redução no número de agentes desse, reduzindo de 45 para 22 o que implica inferir que alguns agentes ascenderam para estágios superiores.

No nível 2, existiam 4 indivíduos no período 0. A partir do período 70, 18 agentes já se encontravam nesse nível. No final do período, houve uma redução no número de empresas nesse nível, porém essa redução justifica-se pela ascensão de algumas do nível 2 para o 3.

No nível 3, início do período, havia apenas 1 indivíduo evoluindo para 9 no período 70 e 17 no período final.

No quarto e último nível, não existia presença de nenhum agente no início do período. A partir do período 70, já existe a presença de um agente no nível de capacidade tecnológica 4 e ao final do período são 3 agentes nesse nível, que consiste no estágio em que a empresa encontra-se na fronteira da capacidade tecnológica internacional.

Figura 29 – Densidade de Rede 5% Fixa, Taxa de Pareamento 5%; Taxa de Mutação 5%.



Fonte: Dados das Simulações

3.2.2. Cenário C4

No Cenário C4, Figura 30, a taxa de densidade e a taxa de mutação permanecem com 5% e a taxa de pareamento é elevada para 10%. Na parte superior da Figura 30 observa-se que para um número de 50 indivíduos e 300 gerações, o início do Cenário C4 é idêntico ao C1, pois foi utilizada a mesma população.

Nesse cenário o tempo para os agentes alcançarem níveis maiores foi reduzido, diferente do cenário C1, que foi a partir o período 70, com a alteração da taxa de pareamento, esse período foi de 30 interações para C4.

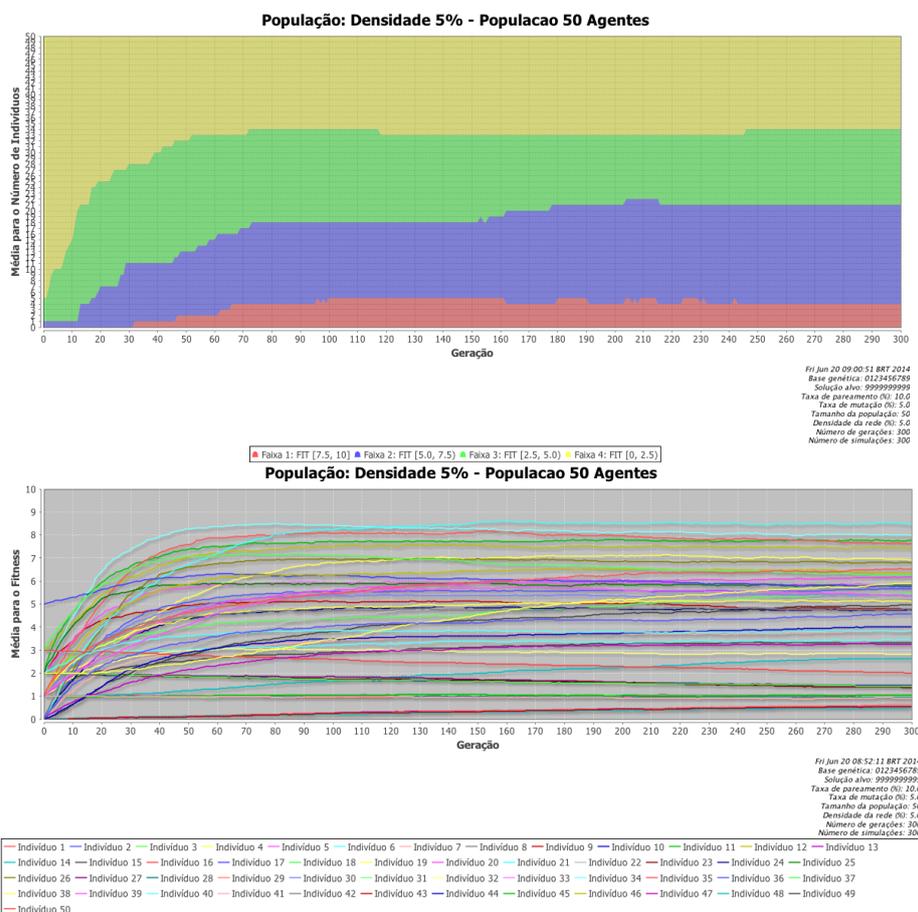
No nível 2, existiam 4 indivíduos no período 0. A partir do período 10, 14 agentes já se encontravam nesse nível. No final do período, houve um redução no

número de empresas nesse nível, porém essa redução justifica-se pela ascensão de algumas do nível 2 para o 3.

No nível 3, início do período, havia apenas 1 indivíduo. No período 30 observou-se 10 agentes.

No quarto e último nível, não existia presença de nenhum agente no início do período. A partir do período 30, já existe a presença 1 agente no nível de capacidade tecnológica 4 e ao final do período são 4 agentes nesse nível. Demonstrando que o aumento da taxa de pareamento de 5% para 10% reduziu o tempo necessário para a co-evolução dos agentes nos três níveis subsequentes além do aumento de 3 para 4 agentes no último nível.

Figura 30 – Densidade de Rede 5% Fixa, Taxa de Pareamento 10%; Taxa de Mutação 5%.



Fonte: Dados das Simulações

3.2.3. Cenário C7

No Cenário C7, conforme Figura 31, dobrou-se a taxa de pareamento de 10% para 20%, mantendo a densidade e a taxa de mutação em 5%. O período 0 do cenário C7 é idêntico aos cenários C1 e C4.

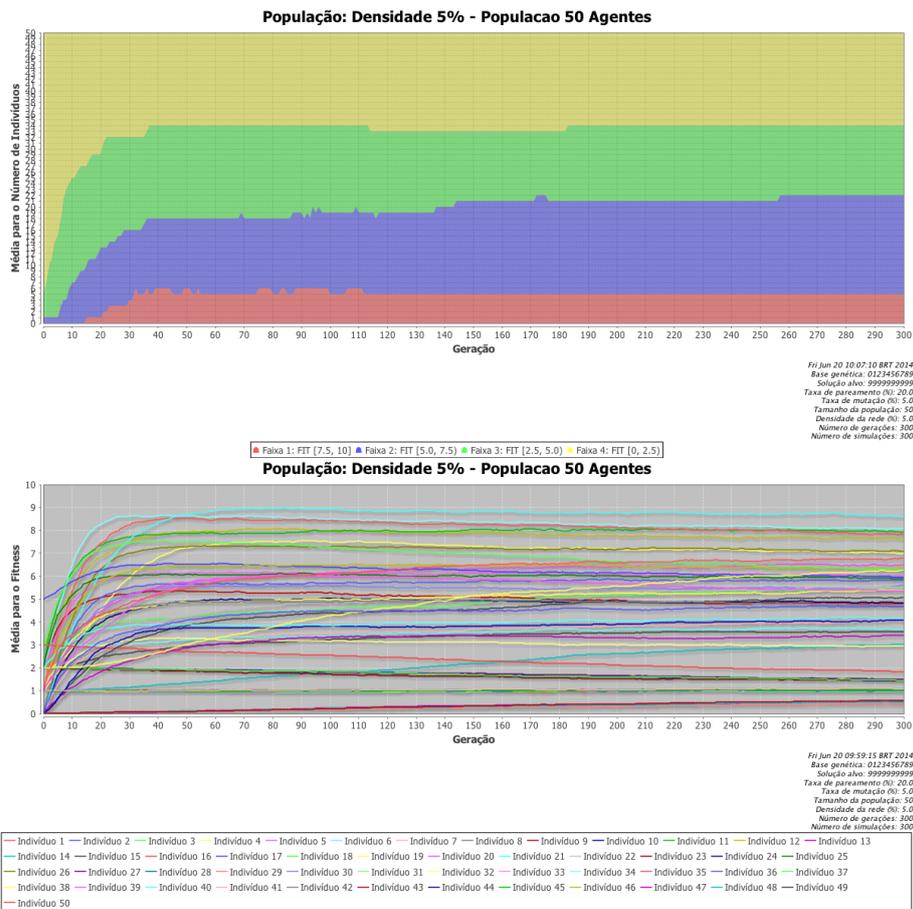
Nesse cenário o tempo para os agentes alcançarem níveis maiores foi reduzido para o período 15, diferente do cenário C1 que foi 70 e do cenário C4 que foi 30.

No nível 2, a partir do período 10, 18 agentes se encontravam nesse nível. Em comparação com C4 e C1 que tinham 14 e 10, respectivamente.

No nível 3, início do período, havia apenas 1 indivíduo. No período 15 observou-se 8 agentes.

No quarto e último nível, não existia presença de nenhum agente no início do período. A partir do período 15, já existe a presença de um agente no nível de capacidade tecnológica 4 e ao final do período são 5 agentes nesse nível. Demonstrando também que o aumento da taxa de pareamento de 5% para 10% e de 10% para 20% reduziu o tempo necessário para a co-evolução dos agentes nos três níveis subsequentes além do aumento de 3 para 5 agentes no último nível.

Figura 31 – Densidade de Rede 5% Fixa, Taxa de Pareamento 20%; Taxa de Mutação 5%.

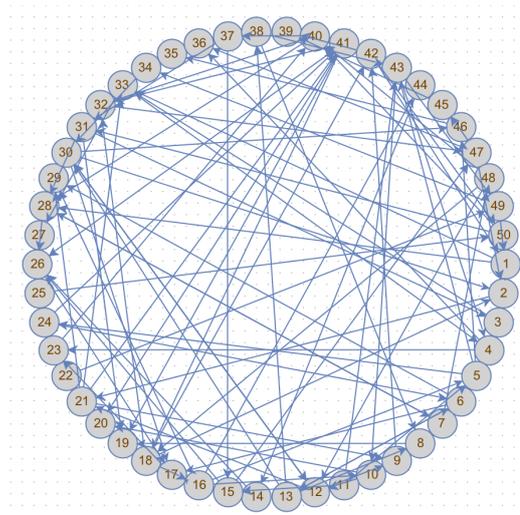


Fonte: Dados das Simulações

3.2.4 Cenário C10

Neste Cenário ocorre a alteração do grau de densidade da rede, de 5% para 10% o que aumenta o número de conexões, conforme Figura 32.

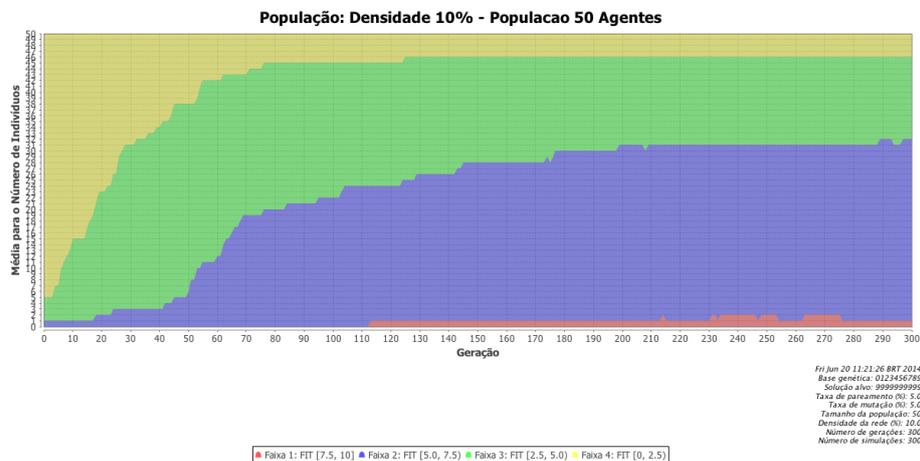
Figura 32 – Densidade de Rede 10% Fixa, Número de Agentes: 50

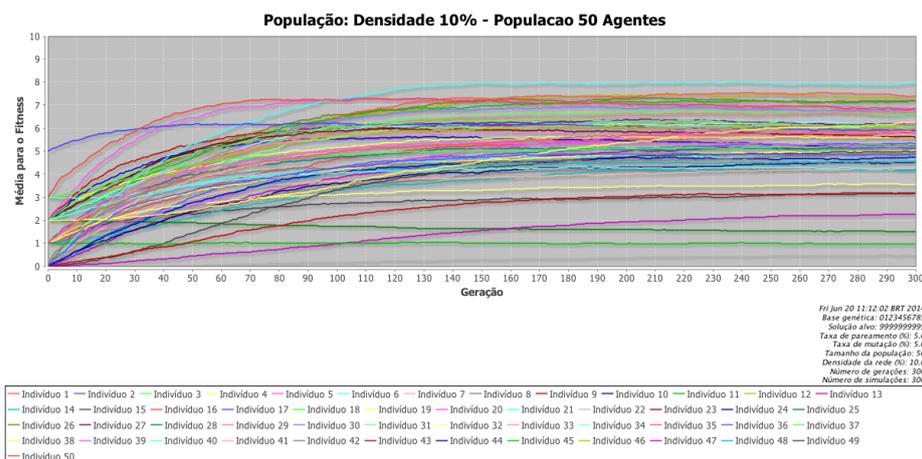


Fonte: Dados das Simulações

No C10 as empresas co-evoluem em tempo menor e em maior intensidade. Destaque-se a redução do número de empresas nos menores níveis, conforme figura 33.

Figura 33 – Densidade de Rede 10% Fixa, Taxa de Pareamento 5%; Taxa de Mutação 5%.





Fonte: Dados das Simulações

No nível 1, período 0, haviam 45 empresas conforme Figura 33. No final do período de simulação haviam apenas 4 empresas no nível 1, ou seja, mais de 90% das empresas da rede co-evoluíram em suas capacidades tecnológicas para níveis maiores.

No nível 2 houve acréscimo no número de empresas que terminaram o último período de simulação nesse nível em comparação com os cenários anteriores.

O principal destaque está no nível 3 que teve um expressivo aumento do número de empresas, saindo de 1 no período 0 para 31 no período 300, ou seja, mais de 60% do total de empresas participantes da rede chegaram nesse estágio até o período 300.

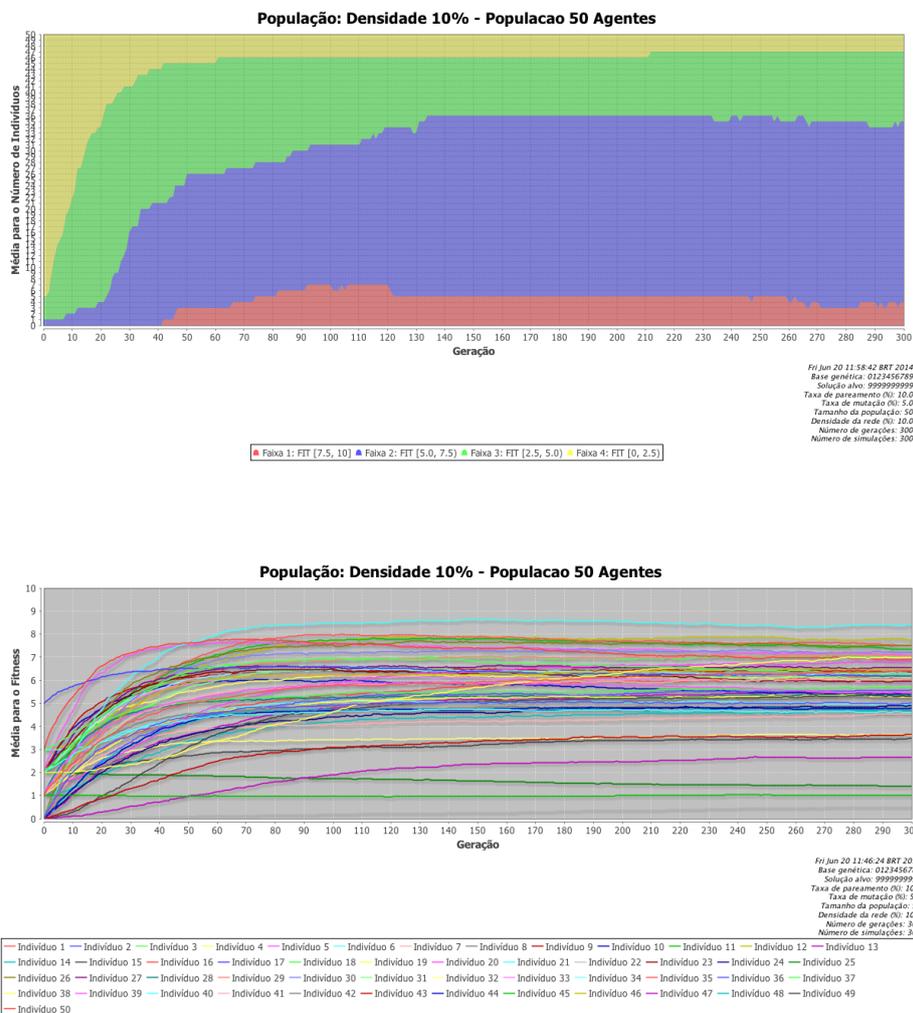
Apenas 1 empresa ficou no nível 4 ao final do período 300. A explicação para a redução no número de empresas nesse nível está associada a uma nova configuração da rede que possibilitou aos agentes se ligarem a agentes diferentes dos cenários C1, C4 e C7. O aumento da densidade proporciona uma maior interação das capacidades individuais dos agentes o que provoca a evolução de um maior número de agentes do nível 1 para os níveis 2 e 3, bem como trazendo agentes do nível 4 para o nível 3 deixando a rede mais homogênea.

3.2.5 Cenário C13

No Cenário C13, Figura 34, no qual ocorre o aumento da taxa de pareamento de 5% para 10%, a principal alteração ocorre no nível 4, onde há aumento do número de empresas nesse nível, passando de 1 no C10 para 4 no C13. Infere-se, portanto, que devido ao aumento na troca de informações das empresas, permite que estas ascendam

ao nível máximo. Outro ponto a destacar é o aumento da velocidade ocorrido na evolução das empresas do nível 1 para os níveis 2 e 3, principalmente.

Figura 34 – Densidade de Rede 10% Fixa, Taxa de Pareamento 10%; Taxa de Mutação 5%.

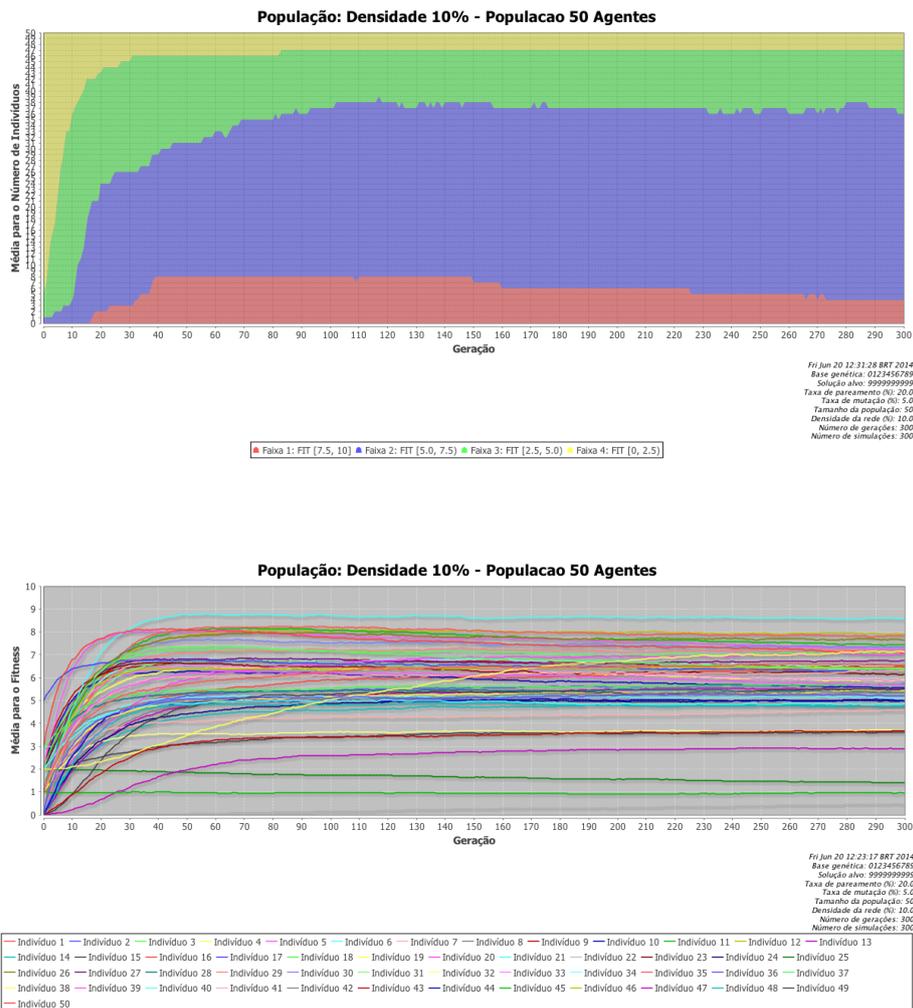


Fonte: Dados das Simulações

3.2.6 Cenário C16

O cenário C16, conforme apresentado na Figura 35, apresenta pouca variação em relação ao cenário C13. A maior alteração consiste na redução do tempo necessário para as empresas acenderem de nível. Evidenciando que o aumento na taxa de pareamento exerce maior impacto sobre a variável tempo.

Figura 35 - Densidade de Rede 10% Fixa, Taxa de Pareamento 20%; Taxa de Mutação 5%.

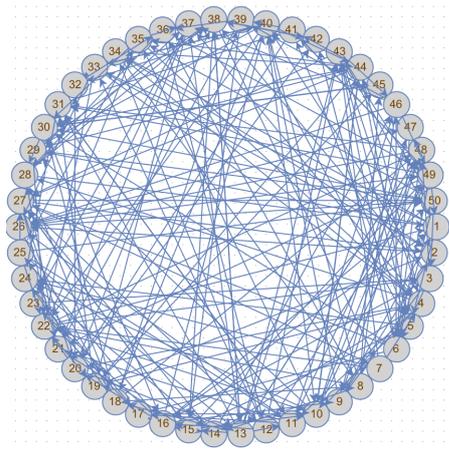


Fonte: Dados das Simulações

3.2.7 Cenário C19

Neste Cenário, Figura 36, ocorre a alteração do grau de densidade da rede, de 10% para 20% o que aumenta o número de conexões. Esta nova densidade de rede será utilizada nos cenários C19, C22 e C25.

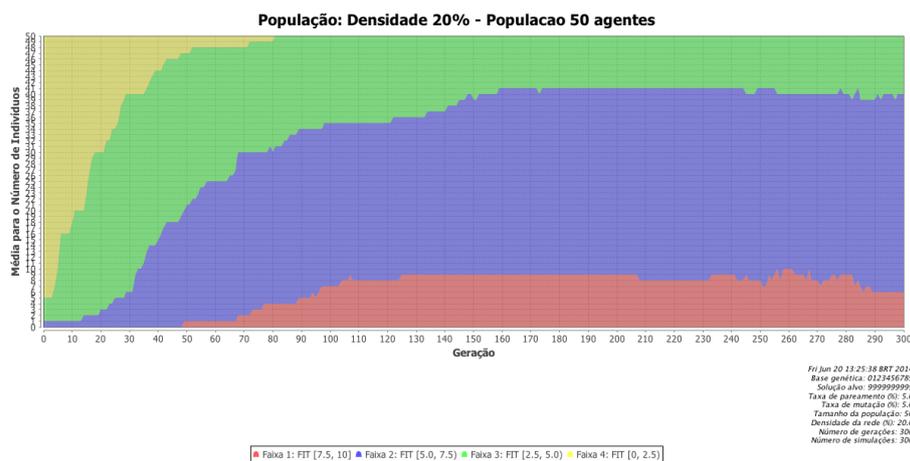
Figura 36 - Densidade de Rede 20% Fixa, Número de Agentes: 50

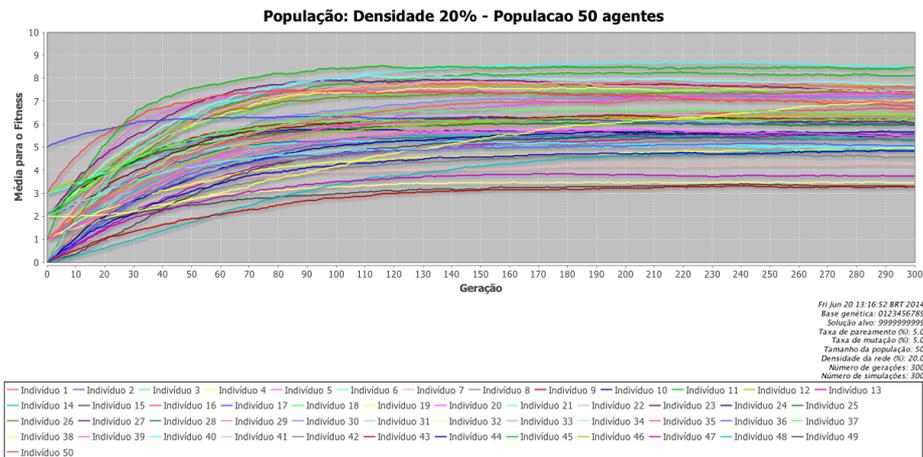


Fonte: Dados das Simulações

No cenário C19, observado na Figura 37, a partir do período 80, todas as empresas deixam o nível 1, permanece a concentração de um número maior de empresas no nível 3 e aumenta o número de empresas no nível 4. Portanto, as principais mudanças ocorridas nesse cenário são a extinção das empresas no nível 1 e o acréscimo das empresas nos níveis 3 e 4.

Figura 37 - Densidade de Rede 20% Fixa, Taxa de Pareamento 5%; Taxa de Mutação 5%.



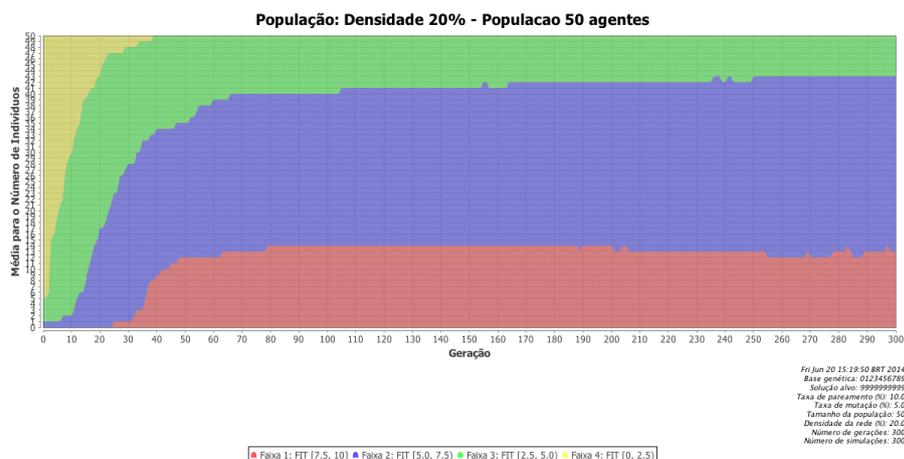


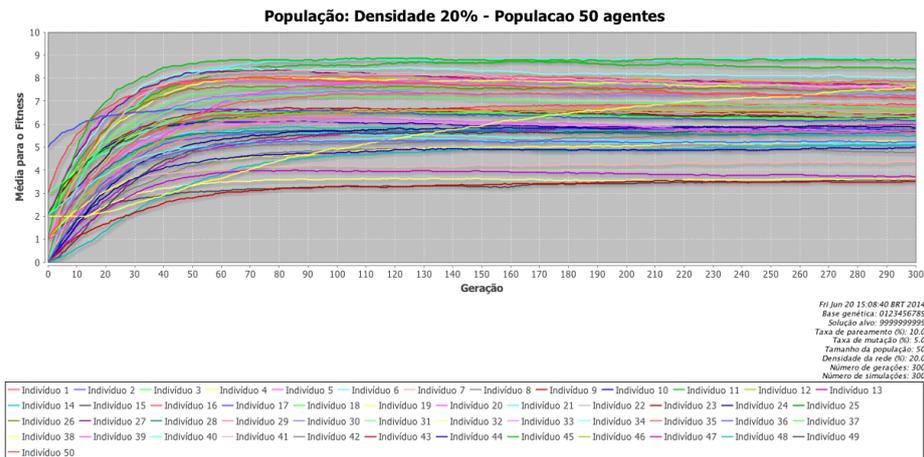
Fonte: Dados das Simulações

3.2.8 Cenário C22

No cenário C22, a alteração na taxa de pareamento de 5% para 10%, permitiu a redução do período 80 para o 40 no que se refere a extinção das empresas no nível 1. Percebe-se uma redução no número de empresas no nível 2, e conseqüentemente, um aumento do número de empresas nos níveis 3 e 4, portanto, a elevação da taxa de pareamento permitiu uma co-evolução maior entre os agentes da rede. O que fica evidenciado na Figura 38.

Figura 38 – Densidade de Rede 20% Fixa, Taxa de Pareamento 10%; Taxa de Mutação 5%.



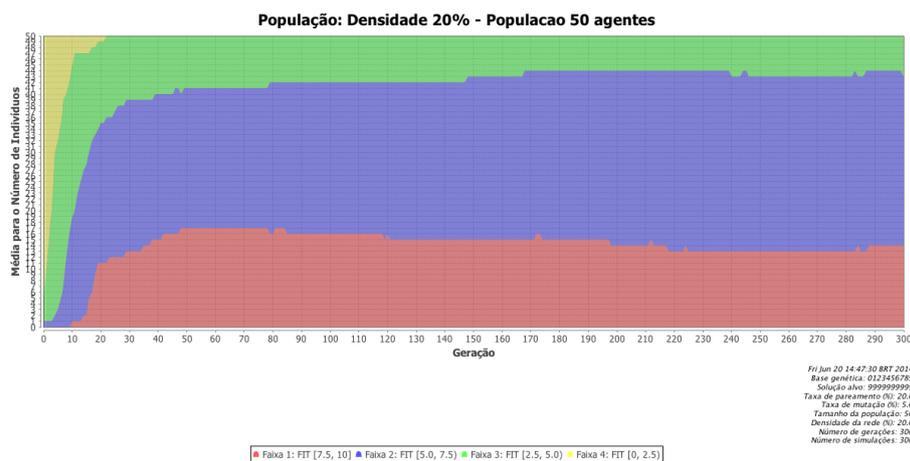


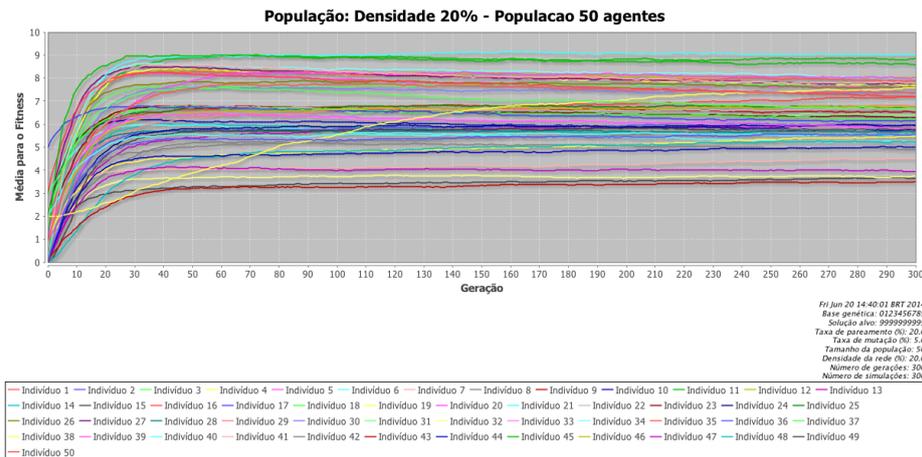
Fonte: Dados das Simulações

3.2.9 Cenário C25

No C25, Figura 39, o comportamento das empresas é observado na figura 39, este comportamento é semelhante ao verificado na transição do C19 para o C22. O tempo para as empresas evoluírem do nível 1 para os níveis 2, 3 e 4 reduziu de 40 no cenário C22 para 20 no cenário C25.

Figura 39 – Densidade de Rede 20% Fixa, Taxa de Pareamento 20%; Taxa de Mutação 5%.





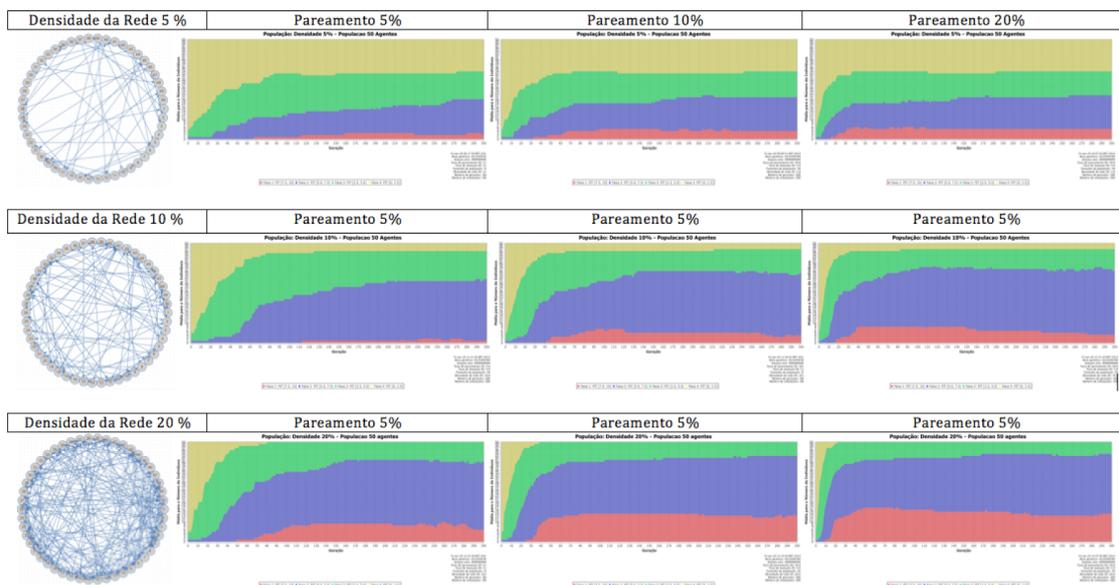
Fonte: Dados das Simulações

3.3. RESUMO DOS RESULTADOS DE CENÁRIOS

As redes colaborativas referem-se à formação das organizações em rede, através da colaboração externa para expandir e acelerar a aquisição de recursos úteis e habilidades. Os estudos de Powell e Grodal (2005) e Walker, Kogut e Shan (1997) indicaram que as posições das empresas em redes interorganizacionais influenciam os resultados das empresas. As redes com densidade elevadas, a exemplo do que ocorre nos cenários C19, C22 e C25, com muitas conexões que ligam os atores são facilitadas, e as estruturas sociais são vistas como vantajosas na medida em que as redes são "mais densas" (WALKER; KOGUT; SHAN, 1997).

Na Figura 40, apresenta-se todos os cenários analisados. Nota-se, portanto, que à medida que se aumenta a taxa de densidade da rede, ocorre um aumento no número de empresas que chegam a níveis maiores (3 e 4) e o aumento da taxa de pareamento promove a redução do tempo necessário para a evolução das empresas, o que promove o aumento das capacidades tecnológicas das empresas na rede através da co-evolução.

Figura 40 – Resumo dos Cenários apresentados



Fonte: Dados das Simulações

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação trata da influência de diferentes interpretações da rede de interação entre empresas inovadoras. Nós nos concentramos em investigar o impacto da rede sobre a aprendizagem através das evoluções tecnológicas na forma de capacidade inovativas.

Uma compreensão mais profunda da inovação ajuda os gestores a desenvolver e ampliar suas próprias capacidades, que determinam a prosperidade econômica da empresa, a longo prazo, e aos políticos para criar e implementar medidas adequadas para fortalecer a competitividade de uma região ou país e promover o crescimento econômico.

Portanto, nossa pesquisa tenta deslindar mecanismos relevantes usando uma ferramenta computacional para o estudo experimental de um setor dinâmico representado pela rede de empresas que cooperam para co-evolução. Dito isto, levantou-se o seguinte questionamento: *como as capacidades tecnológicas das empresas evoluem em um sistema que se configura em uma rede de relacionamento entre agentes que buscam deliberadamente a inovação e onde exista fluxo de conhecimento e capacidade de absorção deste conhecimento por estes atores?*

Sim, configurações de rede mais densas e uma maior troca de informações baseadas na capacidade de absorver conhecimento favorecem o aumento dos níveis individuais de capacidades tecnológicas e conseqüentemente o nível tecnológico do ambiente.

O modelo empírico utilizado neste trabalho pressupôs a existência, no processo inovativo, das relações dos agentes com seu ambiente e conseqüentemente do conceito de "co-evolução" (DOSI, 2005), ou seja, como um grupo de atores podem inovar juntos.

Ademais, este trabalho abordou a questão da inovação como propriedade emergente de um sistema que considera seus atores e as relações entre eles na formação de ambientes inovativos, como as redes, que podem apresentar inúmeros formatos e estruturas e que de muitas formas podem afetar a evolução das capacidades tecnológicas das organizações.

De forma geral, os principais resultados apontam que quanto mais se eleva as taxas de densidade e de pareamento, mais as empresas melhoram suas capacidades

tecnológicas e co-evoluem. De forma específica, o aumento na taxa de densidade exerce maior influencia no tempo requerido para as empresas ascenderem nos níveis de capacidade tecnológica, por exemplo, as empresas no cenário C10 atingiram níveis maiores em menor tempo em comparação ao cenário C1. Enquanto que a taxa de pareamento influenciou mais fortemente na mudança de níveis ocorridas dentro da rede, ou seja, um número maior de empresas passou dos níveis inferiores (1 e 2) para os níveis superiores (3 e 4), conforme a simulação, essa ascensão de nível indica que as empresas alcançaram a fronteira internacional das capacidades tecnológicas, a exemplo do que se verifica nos cenários C7, C16 e C25.

Nas simulações efetuadas a partir da variação das taxas de mutação ocorreram resultados adversos. À medida que se aumentou a taxa de mutação, reduziu-se o número de empresas nos níveis 3 e 4, ou seja, o aumento da taxa de mutação estava sendo prejudicial para a co-evolução das empresas na rede. Esse comportamento é explicado pela aleatoriedade do processo de mutação, razão pela qual optou-se por mantê-lo no menor parâmetro (5%).

Dentre as principais contribuições deste trabalho destaque-se a construção do ambiente computacional capaz de simular um método evolutivo caracterizado como um processo similar àquele definido como algoritmo genético. A co-evolução foi apresentada como algo que ocorre diretamente nas interações sociais entre os agentes avaliando variações nas taxas de pareamento, mutação e densidade da rede. Outra contribuição relevante sustenta-se na abordagem experimental empregada nesta dissertação, pois esse tipo de abordagem não é comum em trabalhos que usam o arcabouço teórico de capacidades inovativas, capacidade de absorção e redes interorganizacionais. Em termos gerenciais, verifica-se que as empresas que mantêm redes interorganizacionais alcançam níveis maiores de capacidade inovativa e menor tempo.

No que se refere às limitações do estudo, alguns aspectos não podem deixar de ser explicados. Utilizou-se nesse trabalho uma função de *fitness* para indicar o número de características compatíveis com a função objetivo do modelo, porém, podem haver outras formas de se calcular esse indicador de maneira mais precisa, pois até onde fomos não encontramos na literatura uma explicação teórica que indicasse ou revelasse a melhor função, ou mesmo um melhor critério para sua construção.

Outra limitação reside no fato de não terem sido utilizados receitas e custos no modelo, tendo em vista uma elevação no grau de dificuldade de construção de

algoritmos capazes de representar essa realidade em ambiente simulado. Sabendo dessa limitação, optou-se por não colocá-los para tornar mais simples a construção e a análise do modelo explorado nesta dissertação.

Sugere-se para pesquisas futuras explorar o comportamento co-evolutivo diante de novas abordagens para a construção do *fitness*, aperfeiçoar o modelo buscando incorporar elementos que aproximem cada vez mais o ambiente real do simulado, verificar o comportamento da rede para números diferentes de agentes e por fim, fazer o uso de redes de absorção simétricas, considerando que estas podem apresentar resultados diferentes para a co-evolução das empresas. Além disso, deve-se considerar na análise do comportamento das redes, a possibilidade de taxas de absorção diferentes entre setores das empresas que cooperam.

REFERÊNCIAS

AHUJA, Gautam. Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study. **Administrative science quarterly**, v. 45, n. 3, p. 425-455, 2000.

ALLEN, Robert C. Collective invention. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 4, n. 1, p. 1-24, 1983.

ARIFOVIC, Jasmina. The behavior of the exchange rate in the genetic algorithm and experimental economies. **Journal of Political Economy**, p. 510-541, 1996.

ARIFOVIC, Jasmina; MASCHEK, Michael K. Revisiting individual evolutionary learning in the cobweb model—an illustration of the virtual spite-effect. **Computational economics**, v. 28, n. 4, p. 333-354, 2006.

ARTHUR, W. Brian. The structure of invention. **Research Policy**, v. 36, n. 2, p. 274-287, 2007.

AXELROD, Robert M. **The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration**. Princeton University Press, 1997.

BÄCK, Thomas. **Evolutionary Algorithms in Theory and Practice**. Oxford University Press, Oxford, 1996.

BACKX, Mattijs; CARNEY, Michael; GEDAJLOVIC, Eric. Public, private and mixed ownership and the performance of international airlines. **Journal of Air Transport Management**, v. 8, n. 4, p. 213-220, 2002.

BALESTRIN, Alsones; VARGAS, Lilia Maria. A dimensão estratégica das redes horizontais de PMEs: teorizações e evidências. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 8, p. 203-227, 2004.

BELL, M., D. SCOTT-KEMMIS & SATYARAKWIT W. 'Limited Learning in Infant Industry: a Case Study', In F. Stewart and J. James (eds) *The Economics of New Technology in Developing Countries*. London: Frances Pinter, 1982.

BELL, M.; PAVITT, K. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. **Industrial and Corporate Change**, v. 2, n. 2, p. 157-211, 1993.

BELL, Martin; PAVITT, Keith. The development of technological capabilities. **Trade, technology and international competitiveness**, v. 22, p. 69-101, 1995.

BELL, Martin; PAVITT, Keith. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. **Technology, globalisation and economic performance**, p. 83-137, 1997.

BELL, Martin; FIGUEIREDO, Paulo N. Innovation capability building and learning mechanisms in latecomer firms: recent empirical contributions and implications for research. **Canadian Journal of Development Studies/Revue canadienne d'études du développement**, v. 33, n. 1, p. 14-40, 2012.

BIRCHENHALL, Chris; KASTRINOS, Nikos; METCALFE, Stan. Genetic algorithms in evolutionary modelling. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 7, n. 4, p. 375-393, 1997.

BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo. Grafos: teoria, modelos e algoritmos. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 2001.

BRASS, Daniel J. Galaskiewicz, Joseph., Greve, Henrich. R., & Tsai, W. Taking stock of networks and organizations: A multilevel perspective. **Academy of management journal**, v. 47, n. 6, p. 795-817, 2004.

BULL, Larry. **Applications of learning classifier systems**. Heidelberg: Springer, 2004.

BULLARD, James; DUFFY, John. Learning and excess volatility. **Macroeconomic Dynamics**, v. 5, n. 02, p. 272-302, 2001.

BULLINGER, H.-J.; AUERNHAMMER, Karin; GOMERINGER, Axel. Managing innovation networks in the knowledge-driven economy. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 17, p. 3337-3353, 2004.

BURT, Ronald S. Social contagion and innovation: Cohesion versus structural equivalence. **American journal of Sociology**, p. 1287-1335, 1987.

BURT, Ronald S. Structural holes and good ideas. **American journal of sociology**, v. 110, n. 2, p. 349-399, 2004.

CANTWELL, John; DUNNING, John H.; LUNDAN, Sarianna M. An evolutionary approach to understanding international business activity: The co-evolution of MNEs and the institutional environment. **Journal of International Business Studies**, v. 41, n. 4, p. 567-586, 2010.

CAPELLO, Roberta; FAGGIAN, Alessandra. Collective learning and relational capital in local innovation processes. **Regional studies**, v. 39, n. 1, p. 75-87, 2005.

CASTELLACCI, Fulvio. 5 Theoretical models of heterogeneity, growth and competitiveness: insights from the mainstream and evolutionary economics paradigms. **International Handbook on the Economics of Integration: Competition, Spatial Location of Economic Activity and Financial Issues**, v. 2, p. 90, 2011.

CHESBROUGH, Henry William. **Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology**. Harvard Business Press, 2003.

COHEN, Wesley M.; LEVINTHAL, Daniel A. Innovation and learning: the two faces of R & D. **The economic journal**, p. 569-596, 1989.

COHEN, Wesley M.; LEVINTHAL, Daniel A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative science quarterly**, p. 128-152, 1990.

CONTRACTOR, F. J.; LORANGE, P. Why should firms cooperate? The strategy and economics basis for cooperative ventures. In CONTRACTOR, F.J.; LORANGE, P. (Eds), **Cooperative Strategies in International Business**. Lexington: Lexington Books, p. 4-30, 1988.

DEBRESSON, Chris; AMESSE, Fernand. Networks of innovators: a review and introduction to the issue. **Research policy**, v. 20, n. 5, p. 363-379, 1991.

DIELEMAN, Marleen; SACHS, Wladimir M. Coevolution of institutions and corporations in emerging economies: How the Salim group morphed into an institution

of Suharto's crony regime. **Journal of Management Studies**, v. 45, n. 7, p. 1274-1300, 2008.

DIJKSTERHUIS, Marjolijn S.; VAN DEN BOSCH, Frans AJ; VOLBERDA, Henk W. Where do new organizational forms come from? Management logics as a source of coevolution. **Organization Science**, v. 10, n. 5, p. 569-582, 1999.

DOSI, Giovanni. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research policy**, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

DOSI, Giovanni et al. **Technical change and industrial transformation**. New York: St. Martin's Press, 1984.

DOSI, Giovanni. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of economic literature**, p. 1120-1171, 1988.

DYER, Jeffrey H.; SINGH, Harbir. The relational view: cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. **Academy of management review**, v. 23, n. 4, p. 660-679, 1998.

EDQUIST, Charles (Ed.). **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations**. Psychology Press, 1997.

EISENHARDT, Kathleen M.; MARTIN, Jeffrey A. Dynamic capabilities: what are they?. **Strategic management journal**, v. 21, n. 10-11, p. 1105-1121, 2000.

FAGERBERG, Jan; VERSPAGEN, Bart. Technology-gaps, innovation-diffusion and transformation: an evolutionary interpretation. **Research Policy**, v. 31, n. 8, p. 1291-1304, 2002.

FAGERBERG, Jan. Schumpeter and the revival of evolutionary economics: an appraisal of the literature. **Journal of evolutionary economics**, v. 13, n. 2, p. 125-159, 2003.

FIGUEIREDO, P. N. Learning processes features and technological capability-accumulation: explaining inter-firm differences. **Technovation**, v. 22, n. 11, p. 685-698, 2002.

FIGUEIREDO, Paulo N. Aprendizagem tecnológica e inovação industrial em economias emergentes: uma breve contribuição para o desenho e implementação de estudos empíricos e estratégias no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 3, n. 2 jul/dez, p. 323-361, 2009.

FLEMING, Lee. Recombinant uncertainty in technological search. **Management science**, v. 47, n. 1, p. 117-132, 2001.

FLEMING, Lee; MARX, Matt. Managing Creativity in Small Worlds. **California Management Review**, v. 48, n. 4, 2006.

FOGEL, David B. **Evolutionary computation: the fossil record**. Wiley-IEEE Press, 1998.

FREEMAN, John; CARROLL, Glenn R.; HANNAN, Michael T. The liability of newness: Age dependence in organizational death rates. **American sociological review**, p. 692-710, 1983.

FREEMAN, Linton C. **The development of social network analysis: A study in the sociology of science**. Vancouver: Empirical Press, 2004

FUKUGAWA, Nobuya. Determining factors in innovation of small firm networks: a case of cross industry groups in Japan. **Small Business Economics**, v. 27, n. 2-3, p. 181-193, 2006.

FUNK, Jeffery. Components, systems and discontinuities: The case of magnetic recording and playback equipment. **Research Policy**, v. 38, n. 7, p. 1192-1202, 2009.

GILBERT, Nigel. **A simulation of the structure of academic science**. 1997.

GILBERT, Nigel; PYKA, Andreas; AHRWEILER, Petra. Innovation networks - A simulation approach. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 4, n. 3, p. 1-13, 2001.

GILBERT, Nigel; TROITZSCH, Klaus. **Simulation for the social scientist**. McGraw-Hill International, 2005.

GOLD, Andrew H.; MALHOTRA, Arvind; SEGARS, Albert H. Knowledge management: an organizational capabilities perspective. **J. of Management Information Systems**, v. 18, n. 1, p. 185-214, 2001.

GOLDBERG, David E.; HOLLAND, John H. Genetic algorithms and machine learning. **Machine learning**, v. 3, n. 2, p. 95-99, 1988.

GRANOVETTER, Mark. Economic action and social structure: the problem of embeddedness. **American journal of sociology**, p. 481-510, 1985.

GULATI, Ranjay; HIGGINS, Monica C. Which ties matter when? The contingent effects of interorganizational partnerships on IPO success. **Strategic Management Journal**, v. 24, n. 2, p. 127-144, 2003.

HAGEDOORN, John; SCHAKENRAAD, Jos. The effect of strategic technology alliances on company performance. **Strategic management journal**, v. 15, n. 4, p. 291-309, 1994.

HAKANSSON, H.; JOHANSON, J. Formal and informal cooperation strategies in international industrial networks. In: CONTRACTOR, F. J.; LORANGE, P. (Eds.). **Cooperative strategies in international business: joint ventures and technology partnerships between firms**. New York: Lexington Books, p. 369-379, 1988.

HELFAT, Constance E. et al. **Dynamic capabilities: Understanding strategic change in organizations**. John Wiley & Sons, 2009.

HENDERSON, Rebecca; COCKBURN, Iain. Measuring competence? Exploring firm effects in drug discovery. **The nature and dynamics of organizational capabilities**, p. 155-182, 2000.

HERVÁS-OLIVER, Jose-Luis; ALBORS-GARRIGOS, Jose. The role of the firm's internal and relational capabilities in clusters: when distance and embeddedness are not enough to explain innovation. **Journal of Economic Geography**, v. 9, n. 2, p. 263-283, 2009.

HOLLAND, John H. **Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence**. U Michigan Press, 1975.

HOLLAND, John H.; MILLER, John H. Artificial adaptive agents in economic theory. **The American Economic Review**, p. 365-370, 1991.

JACOBIDES, Michael G.; WINTER, Sidney G. The co-evolution of capabilities and transaction costs: Explaining the institutional structure of production. **Strategic Management Journal**, v. 26, n. 5, p. 395-413, 2005.

KIM, D.H. The link between individual and organizational learning. **Sloan Management Review**, v.35, p.37-50, 1993.

LALL, Sanjaya. Technological capabilities and industrialization. **World development**, v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.

LANE, Peter J.; LUBATKIN, Michael. Relative absorptive capacity and interorganizational learning. **Strategic management journal**, v. 19, n. 5, p. 461-477, 1998.

LANE, Peter J.; KOKA, Balaji R.; PATHAK, Seemantini. The reification of absorptive capacity: a critical review and rejuvenation of the construct. **Academy of management review**, v. 31, n. 4, p. 833-863, 2006.

LANGDON, William B.; POLI, Riccardo. **Foundations of genetic programming**. Springer, 2002.

LEVINTHAL, Daniel; MYATT, Jennifer. Co-evolution of capabilities and industry: the evolution of mutual fund processing. **Strategic Management Journal**, v. 15, n. S1, p. 45-62, 1994.

LEWIN, Arie Y.; VOLBERDA, Henk W. Prolegomena on coevolution: A framework for research on strategy and new organizational forms. **Organization science**, v. 10, n. 5, p. 519-534, 1999.

LEWIN, Arie Y.; LONG, Chris P.; CARROLL, Timothy N. The coevolution of new organizational forms. *Organization Science*, v. 10, n. 5, p. 535-550, 1999.

LUNDEVALL, Bengt-Åke, "Innovation as a interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation", in: G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete (Eds.), **Technical Change and Economic Theory**, London: Pinter Publishers, p. 349-369, 1988

LUNDEVALL, Bengt-Ake. User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. **National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning**, p. 45-67, 1992.

LUNDEVALL, Bengt-Åke et al. National systems of production, innovation and competence building. **Research policy**, v. 31, n. 2, p. 213-231, 2002.

LYLES, Marjorie A.; SALK, Jane E. Knowledge acquisition from foreign parents in international joint ventures: An empirical examination in the Hungarian context. **Journal of international business studies**, p. 877-903, 1996.

MALHOTRA, Arvind et al. Radical innovation without collocation: A case study at Boeing-Rocketdyne. **MIS quarterly**, p. 229-249, 2001.

MARKS, Robert Ernest. Validating simulation models: a general framework and four applied examples. **Computational Economics**, v. 30, n. 3, p. 265-290, 2007.

MITCHELL, Melanie. **An introduction to genetic algorithms**. MIT press, 1998.

MCKELVEY, Bill. Perspective-Quasi-Natural Organization Science. **Organization Science**, v. 8, n. 4, p. 351-380, 1997.

NELSON, Richard R. **An evolutionary theory of economic change**. Harvard University Press, 1982.

NELSON, Richard R. "Recent evolutionary theorizing about economic change", **Journal of Economic Literature** 33.1: 48-90, 1995.

NELSON, Richard R. "Bringing institutions into evolutionary growth theory", **Journal of Evolutionary Economics**. Springer-Verlag. v. 12, pp. 17-28, 2002.

NELSON, Richard R. On the uneven evolution of human know-how. **Research Policy**, v. 32, n. 6, p. 909-922, 2003.

NELSON, Richard R. The market economy, and the scientific commons. **Research policy**, v. 33, n. 3, p. 455-471, 2004.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. In search of useful theory of innovation. **Research policy**, v. 6, n. 1, p. 36-76, 1977.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. Evolutionary theorizing in economics. **Journal of Economic Perspectives**, p. 23-46, 2002.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **Uma Teoria Evolucionária**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2005.

Newman, Mark, Albert-László Barabási, and Duncan J. Watts, eds. **The structure and dynamics of networks**. Princeton University Press, 2006.

NIETO, María Jesús; SANTAMARÍA, Lluís. The importance of diverse collaborative networks for the novelty of product innovation. **Technovation**, v. 27, n. 6, p. 367-377, 2007.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Oslo manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data**. OECD publishing, 2005.

OWEN-SMITH, Jason; POWELL, Walter W. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the Boston biotechnology community. **Organization science**, v. 15, n. 1, p. 5-21, 2004.

PAVITT, Keith. Technical innovation and industrial development: 1. The new causality. **Futures**, v. 11, n. 6, p. 458-470, 1979.

PITELIS, Christos. Clusters, entrepreneurial ecosystem co-creation, and appropriability: a conceptual framework. **Industrial and Corporate Change**, p. 1359-1388, 2012

POWELL, Walter W.; KOPUT, Kenneth W.; SMITH-DOERR, Laurel. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. **Administrative science quarterly**, p. 116-145, 1996.

POWELL, W. Neither market nor hierarchy. **The sociology of organizations: classic, contemporary, and critical readings**, v. 315, p. 104-117, 2003.

POWELL, Walter W.; GRODAL, Stine. Networks of innovators. **The Oxford handbook of innovation**, p. 56-85, 2005.

PYKA, Andreas; KÜPPERS, Günter. Innovation networks. **Theory and Practice, Cheltenham, Elgar**, 2002.

RICHARDSON, George B. The organisation of industry. **The economic journal**, p. 883-896, 1972.

RIECHMANN, Thomas. Learning and behavioral stability An economic interpretation of genetic algorithms. **Journal of evolutionary economics**, v. 9, n. 2, p. 225-242, 1999.

RIM, Myung-Hwan; CHOUNG, Jae-Yong; HWANG, Hye-Ran. The Sources and Directions of Technological Capability Accumulation in the Korean Semiconductor Industry. **ETRI journal**, v. 20, n. 1, p. 55-73, 1998.

RITTER, Thomas; GEMÜNDEN, Hans Georg. Network competence: its impact on innovation success and its antecedents. **Journal of Business Research**, v. 56, n. 9, p. 745-755, 2003.

RYCROFT, Robert W.; KASH, Don E. Path dependence in the innovation of complex technologies. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 14, n. 1, p. 21-35, 2002.

SCHUMPETER, Joseph. The instability of capitalism. **The economic journal**, p. 361-386, 1928.

SCHUMPETER, Joseph Alois. The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. **Transaction Publishers**, 1934.

SCHUMPETER, Joseph Alois. The economics and sociology of capitalism. Princeton University Press, 1991.

SCHWEFEL, Hans-Paul Paul. **Evolution and optimum seeking: the sixth generation**. John Wiley & Sons, Inc., 1993.

SMITH, Stephen C. Innovation and market strategy in Italian industrial cooperatives: Econometric evidence on organizational comparative advantage. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 23, n. 3, p. 303-320, 1994.

STEENSMA, H. Kevin; LYLES, Marjorie A. Explaining IJV survival in a transitional economy through social exchange and knowledge-based perspectives. **Strategic Management Journal**, v. 21, n. 8, p. 831-851, 2000.

STOCK, Gregory N.; TATIKONDA, Mohan V. External technology integration in product and process development. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 7, p. 642-665, 2004.

STUART, Toby E. Interorganizational alliances and the performance of firms: A study of growth and innovation rates in a high-technology industry. **Strategic management journal**, v. 21, n. 8, p. 791-811, 2000.

SUHOMLINOVA, Olga. Toward a Model of Organizational Co-Evolution in Transition Economies. **Journal of Management Studies**, v. 43, n. 7, p. 1537-1558, 2006.

TEECE, David J. Capturing value from technological innovation: Integration, strategic partnering, and licensing decisions. **Interfaces**, v. 18, n. 3, p. 46-61, 1988.

TEECE, David; PISANO, Gary. The dynamic capabilities of firms: an introduction. *Industrial and corporate change*, v. 3, n. 3, p. 537-556, 1994.

TEECE, David J. **Dynamic Capabilities and Strategic Management: Organizing for Innovation and Growth: Organizing for Innovation and Growth**. Oxford University Press, 2009.

TEECE, David J.; PISANO, Gary; SHUEN, Amy. **Dynamic capabilities and strategic management**. 1997.

TESFATSION, Leigh; JUDD, Kenneth L. (Ed.). **Handbook of computational economics: agent-based computational economics**. Elsevier, 2006.

TESFATSION, Leigh. Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. **Handbook of computational economics**, v. 2, p. 831-880, 2006.

TODOROVA, Gergana; DURISIN, Boris. Absorptive capacity: valuing a reconceptualization. **Academy of Management Review**, v. 32, n. 3, p. 774-786, 2007.

TSAI, Wenpin. Knowledge transfer in intraorganizational networks: Effects of network position and absorptive capacity on business unit innovation and performance. **Academy of management journal**, v. 44, n. 5, p. 996-1004, 2001.

UTTERBACK, James M. **Mastering the dynamics of innovation: how companies can seize opportunities in the face of technological change**. Cambridge, MA. 1994.

VAN BRAGT, David; VAN KEMENADE, Cees; LA POUTRÉ, Han. The influence of evolutionary selection schemes on the iterated prisoner's dilemma. **Computational Economics**, v. 17, n. 2-3, p. 253-263, 2001.

VAN DEN BOSCH, Frans AJ; VOLBERDA, Henk W.; DE BOER, Michiel. Coevolution of firm absorptive capacity and knowledge environment: Organizational forms and combinative capabilities. **Organization Science**, v. 10, n. 5, p. 551-568, 1999.

VRIEND, Nicolaas J. An illustration of the essential difference between individual and social learning, and its consequences for computational analyses. **Journal of economic dynamics and control**, v. 24, n. 1, p. 1-19, 2000.

WALKER, Gordon; KOGUT, Bruce; SHAN, Weijian. Social capital, structural holes and the formation of an industry network. **Organization science**, v. 8, n. 2, p. 109-125, 1997.

WEISS, Gerhard (Ed.). **Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence**. MIT press, 1999.

WINTER, Sidney G. Understanding dynamic capabilities. **Strategic management journal**, v. 24, n. 10, p. 991-995, 2003.

WOOLDRIDGE M. **An Introduction to MultiAgent Systems**. Chichester, UK: Wiley, 2002.

WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nicholas R. Intelligent agents: Theory and practice. **The knowledge engineering review**, v. 10, n. 02, p. 115-152, 1995.

YANG, D. How Does knowledge Sharing and GOVERNANCE Mechanism Affect Innovation Capabilities? – From the Coevolution Perspective. **International Business Research**. Vol. 4. N. 1, jan, 2011.

ZAHRA, Shaker A.; GEORGE, Gerard. Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. **Academy of management review**, v. 27, n. 2, p. 185-203, 2002.

ZANDER, Ivo. How do you meanglobal'? An empirical investigation of innovation networks in the multinational corporation. **Research Policy**, v. 28, n. 2, p. 195-213, 1999.

ZENG, Saixing Xie; XIE, Xuemei M.; TAM, Chi Ming. Relationship between cooperation networks and innovation performance of SMEs. **Technovation**, v. 30, n. 3, p. 181-194, 2010.

APÊNDICE

PopulacaoOriginal.XML

```
<populacao>
<individuos>
  <individuo idIndividuo="1">
    <fitness>5</fitness>
    <genes>4396999279</genes>
    <taxaAbsorcao>
      <double>0.972</double>
      <double>0.132</double>
      <double>0.713</double>
      <double>0.021</double>
      <double>0.723</double>
      <double>0.775</double>
      <double>0.08</double>
      <double>0.298</double>
      <double>0.32</double>
      <double>0.727</double>
    </taxaAbsorcao>
  </individuo>
  .
  .
  .
  <individuo idIndividuo="50">
    <fitness>3</fitness>
    <genes>6598729559</genes>
    <taxaAbsorcao>
      <double>0.531</double>
      <double>0.505</double>
      <double>0.889</double>
      <double>0.3</double>
      <double>0.106</double>
      <double>0.847</double>
      <double>0.129</double>
      <double>0.458</double>
      <double>0.048</double>
      <double>0.92</double>
    </taxaAbsorcao>
  </individuo>
```