

Simulação Computacional de Efeitos Econômicos de Inovação Tecnológica: Aspectos Cognitivos

José Antonio Gonçalves dos Santos (IFBA, Campus Salvador /UESB)
joseph.toni@gmail.com

Elias Ramos de Souza (IFBA, Campus Salvador)
eramosdesouza@gmail.com

Resumo: *Este artigo discute a importância da simulação computacional baseada em agentes para valorar e estimar ex-ante impactos econômicos de tecnologias microbianas para recuperação avançada de petróleo (MEOR) no setor. A partir de uma pesquisa bibliográfica, o estudo apresenta uma revisão assistemática da literatura sob uma visão quantitativa com a finalidade de responder quais os aspectos cognitivos relevantes são subjacentes à análise ex-ante do valor de mercado e de possíveis impactos econômicos das tecnologias MEOR? Propõe-se simulação computacional para estimar possíveis efeitos econômicos positivos, evidenciando que a MEOR surgiu no setor da biotecnologia, o que pode gerar incerteza que dificulta a interpretação, no processo decisório de adoção, por parte das empresas.*

Palavras-chave: Economia. Petróleo. Tecnologia.

1. Introdução

O objetivo principal deste trabalho é discutir sobre o uso de simulação computacional baseada em modelagem matemática em análises *ex-ante* com a finalidade de estimar o valor de mercado de tecnologias destinadas à Recuperação Avançada de Petróleo por ação Microbiana (MEOR) em campos maduros, e seus impactos econômicos potenciais no setor. O propósito é mostrar que a simulação computacional contribui para superar restrições cognitivas inerentes ao ser humano que impedem o empresário calcular resultados econômicos que espera obter no futuro ao decidir, no presente, entre várias alternativas por determinada inovação.

A escolha da tecnologia Recuperação microbiana Avançada de Petróleo, conhecida em inglês como *Microbial Enhanced Oil Recovery* (MEOR) justifica-se pela sua importância econômica e ambiental na indústria petrolífera.

Busca-se responder quais aspectos cognitivos podem influenciar empresas na decisão de adotar inovações tecnológicas à base de microrganismos, destinadas a Recuperação Avançada de Petróleo em campos maduros. Parte-se do pressuposto teórico da Economia da Inovação de que o agente econômico não consegue prever todos os resultados esperados de uma decisão tomada em ambiente de incerteza, risco, oportunismo e informações incompletas. A tomada de decisão do agente econômico é considerada um processo cognitivo mental de busca e seleção de determinada ação entre diferentes cenários. A racionalidade limitada do agente o faz recorrer a procedimentos e ferramentas como rotinas e computador.

O estudo, que está fundamentado em uma pesquisa bibliográfica e descritiva a partir de revisão assistemática sobretudo da teoria econômica acerca da questão da inovação e sobre a MEOR, é composto por esta introdução, e os seguintes tópicos: o primeiro apresenta os aspectos teóricos da inovação, o segundo trata dos processos linear e interativos de inovação, o terceiro aborda a relação entre racionalidade limitada e simulação computacional na perspectiva cognitiva, o quarto refere-se à discussão sobre o uso de simulação computacional para estimação do valor e dos efeitos de tecnologias MEOR, e o quinto tece considerações finais.

2. Adoção e difusão de inovações tecnológicas: aspectos teóricos

Schumpeter (1961; 1982) define inovação como a unidade básica do sistema econômico capitalista. A inovação promove a dinâmica econômica devido a sua capacidade de romper o fluxo circular de renda da economia, originando o fenômeno do desenvolvimento. Esse processo de mutação industrial “incessantemente revoluciona a estrutura econômica a partir de dentro, incessantemente destruindo a antiga, incessantemente criando uma nova.” (SCHUMPETER, 1961, p. 110). A inovação compreende a introdução de um novo produto, de novo método de produção, abertura de novo mercado e a conquista de nova organização de qualquer setor industrial.

Na vertente da Economia Evolucionária, Rosenberg (1982) descreve inovação tecnológica como um processo de aprendizado e tenta identificar os vários tipos de aprendizado e o modo como estes contribuem num padrão maior de atividades que constituem a inovação tecnológica e, ainda, os encadeamentos que ocorrem entre os processos tecnológicos e suas consequências econômicas.

Para Dosi (1982), a tecnologia reúne conhecimentos práticos e teóricos, englobando equipamentos físicos, *know-how*, métodos e procedimentos, experiências. Esta definição permite ressaltar que trajetórias e mudanças tecnológicas resultam da busca de oportunidades (NELSON; WINTER, 2005). A busca consiste em um processo que ocorre dentro da empresa, decorrente de competências individuais, e em processos de tentativas e erros, o que remete à existência de riscos, reconhecida e aceita pelas empresas ao assumirem o comportamento de busca (CORAZZA; FRACALANZA, 2004), resultando em novos aprendizados, criando outras rotinas, ativos e competências.

Dosi (1988, p. 222) define a inovação como atividade de resolução de problemas e de procedimentos, incluindo busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação adoção de novos produtos, novos processos e novas técnicas organizacionais, visando à resolução de problemas e à elaboração de rotinas específicas para isso.

A inovação incremental consiste em aprimoramento técnico contínuo, mas sem modificar a estrutura industrial onde a empresa atua. Geralmente, as inovações incrementais decorrem de invenções e melhorias sugeridas por engenheiros e outros profissionais envolvidos diretamente no processo de produção ou como resultados de iniciativas e propostas de usuários. A inovação radical representa mudança estrutural no padrão tecnológico vigente, podendo resultar em novas indústrias, setores ou mercados. A inovação radical é descontínua e dá origem a atividades de pesquisa e desenvolvimento que a empresa decide realizar, seja em seu interior, universidades ou laboratórios especializados (FREEMAN, 1987; OECD, 1997).

Segundo a OECD (1997), existem duas modalidades de inovação funcionalmente distintas: a inovação de processo pode se materializar em máquinas e equipamentos ou na organização da produção.

A concorrência é um motivo pelo qual as empresas buscam inovar, com a expectativa de se diferenciarem das demais em vantagem competitiva, obtendo lucros extraordinários. A concorrência gera assimetrias que provocam mudanças ao longo do tempo mediante o progresso técnico resultante das inovações, o que altera as posições competitivas das empresas, as relações intersetoriais acompanhadas de reestruturação produtiva. No âmbito concorrencial, na perspectiva do aprendizado e da transferência de tecnologia apresentada por Kim (1997), existem empresas inovadoras e imitadoras em inovação. A decisão em inovar ou imitar é derivada de diferentes razões.

As empresas imitadoras seguem as líderes em um processo de seleção e adaptação ao novo ciclo de negócios. A pressão concorrencial induz as empresas imitadoras à busca de aprendizado, tanto de conhecimento como de estratégias capazes ajudá-las a diferenciar seus produtos e processos. As companhias de capital aberto enfrentam problemas de agência em relação à governança corporativa, como assimetria de informação, risco moral e seleção adversa, abordados por Jensen e Meckling (1976) e Arrow (1985). A formulação e operacionalização das estratégias tecnológicas empresariais são afetadas por fatores externos como informação assimétrica, incerteza e oportunismo, presentes no macroambiente e no microambiente. Os resultados do processo inovativo dependem, portanto, da capacidade de controle da empresa para ampliar o número de suas alternativas competitivas viáveis.

3. Processos de inovação

Autores como Lundvall (1988), Marinova e Phillimore (2003), e Godin (2006; 2017) e Tidd (2016) contribuem para a compreensão da evolução dos processos de inovação e suas interações. Segundo a literatura, existem dois grupos de processos de inovação: os lineares e os interativos. Os modelos lineares são conhecidos como *technology push* e o *demand pull*, definidos respectivamente pelos argumentos de que a inovação é induzida pela oferta de conhecimento científico e pela demanda de necessidades do mercado. O modelo *technology push*, ou *science push*, surgiu na década de 1950 e consiste no processo de inovação constituído de uma sequência automática de etapas independentes entre si de atividades de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico, produção industrial, marketing e difusão. Neste modelo, o empresário individual/corporação decide inovar a despeito das preferências dos consumidores. Segundo Guimarães e Mello Viana (2010, p. 122), o processo e a taxa de inovação dependem de um programa de investimentos e do estoque de capital relacionado à P&D.

No modelo *demand pull* a demanda de mercado é o determinante da inovação. O processo inovativo abrange uma sequência de etapas independentes entre si de identificação de necessidades e desejos sinalizados pelo mercado, atividades de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico, produção, comercialização. A demanda por inovação e o mercado influenciam a direção e a velocidade da mudança técnica, sinalizando os caminhos onde os investimentos deveriam ser realizados, na fronteira das possibilidades

técnicas. A sinalização somente é possível através de forças sociais e institucionais (GUIMARÃES; MELLO VIANA, 2010; CONDE; ARAÚJO-JORGE, 2003).

O modelo *technology push* destaca que a incerteza tecnológica, as despesas com P&D e o tempo são maiores quando comparados ao modelo *demand-pull*. O modelo *technology push* diz respeito à inovação radical e um processo baseado em aprendizado, o modelo *demand pull* condiz com inovação incremental e adaptação das firmas (MAÇANEIRO; CUNHA, 2011).

O modelo linear desconsidera as atividades externas à P&D por entender que a inovação tecnológica é um ato de produção em vez de um processo social contínuo, incluindo atividades de gestão, coordenação, aprendizado, negociação, investigação de necessidades de usuários, aquisição de competência, gestão do desenvolvimento de novo produto, gestão financeira, dentre outras (SIRILLI, 1998 *apud* CONDE; ARAÚJO-JORGE, 2003).

A constatação de deficiências que limitam a aplicabilidade generalizada dos modelos lineares induziu o desenvolvimento de modelos interativos durante a década de 1980. Para Grizendi (2004), investimentos em P&D não promoviam automaticamente progresso tecnológico e sucesso econômico do uso da tecnologia. Kleinknecht e Verspagen (1990) revisaram o trabalho de Schmookler (1966) sobre a abordagem *demand pull*, e encontram inadequação estatística referente a coeficientes mais baixos em relação aos cálculos originais, o que compromete a direção da causalidade prevista do processo de inovação.

A abordagem moderna para análise de processo de inovação é geralmente atribuída a Kline e Rosenberg (1986). Os autores apresentaram os fundamentos dos modelos interativos e introduziram novos elementos no processo de inovação, eliminaram a relação unidirecional de causa e efeito no processo de inovação e estabeleceram interações achadas dentro das empresas e entre as empresas e o sistema de ciência e tecnologia onde atuam.

Essas interações, que caracterizam os modelos interativos (*chaine link model*), consistem em estruturas específicas (*design*) e comportam efeitos de *feedbacks* entre as diversas etapas do processo de inovação. O termo inovação pode caracterizar um processo de mudança provocado por um novo procedimento ou produto no comportamento ou no repertório cognitivo dos indivíduos que o aproveitam. A cognição influencia a capacidade de decisão dos agentes em ofertar e demandar novos produtos e processos produtivos (CHAHARBAGHI; NEWMAN, 1996 *apud* SCHREIBER; BOHNENBERGER, 2017, p. 63)

As decisões individuais ou compartilhadas na esfera organizacional são influenciadas por quatro limitações essenciais: racionalidade limitada, incerteza, informação assimétrica e

oportunismo. A racionalidade limitada, ou semiforte (WILLIAMSON, 1985), é um pressuposto cognitivo de caráter comportamental que Simon (1959; 1980) define como uma limitação da capacidade mental dos seres humanos em lidar com a formulação e a resolução de problemas complexos inerentes à realidade.

Dequech (2001, p. 912-913) afirma que, na maioria dos casos, ou em todos, “a expressão ‘racionalidade limitada’ é usada para denotar o tipo de racionalidade a que pessoas ou organizações se referem quando o ambiente no qual elas operam é complexo em relação às capacidades mentais, que são limitadas”

Nelson e Winter (1982) trataram da racionalidade limitada e processual como princípios que modificaram o pensamento econômico sobre o comportamento dos agentes econômicos. A racionalidade processual passou a ser representada pela ideia de rotina.

A racionalidade limitada está relacionada ao problema da informação assimétrica, impossibilita o agente calcular com precisão os resultados esperados sobre determinada inovação. O cálculo capitalista para avaliar se o investimento *ex-ante* será recompensado ao longo do tempo *ex-post* é influenciado por incertezas (BAPTISTA, 1999).

A racionalidade limitada no contexto da economia evolucionária implica em incerteza devido a complexidade do ambiente. Knight (2002, p. 224) define incerteza em sentido amplo, como “um estado no qual não existem bases válidas ou experiência passada para calcular a probabilidade de determinada ocorrência”. Arrow (1974) também conceitua a incerteza como um estado no qual existe uma incompleta descrição do mundo que se acredita ser verdadeiro.

O problema de assimetria de informação consiste em incompletude e escassez de informação nos processos de inovação e de tomada de decisão, implicando em custos relativos à utilização do mercado pela empresa para coletar informação, negociar e monitorar contratos. O valor do contrato é diretamente proporcional ao grau de incerteza associada à transação envolvida. A assimetria de informação corresponde à situação em que o agente obtém informações relevantes, ao passo que outros não conseguem obtê-las. A hipótese de racionalidade limitada do agente implica o fato de que este não interpreta informações do ambiente de maneira perfeita.

O oportunismo, por sua vez, é um princípio que revela o comportamento aético e inescrupuloso do agente na busca do interesse próprio, com avidez. Segundo Williamson (1985, p. 47), trata-se das ações decorrentes da descoberta incompleta de informações, especialmente o esforço desleal para com o outro agente envolvido na transação, usando

instrumentos que violem o contrato. Os agentes econômicos enquanto partes em um contrato, podem agir com oportunismo *ex-ante*, ao assumir um acordo tácito ou formal sabendo previamente que poderá não cumpri-lo em parte ou totalmente por um motivo específico previamente conhecido, incorrendo em risco moral, ou *ex-post* descumprindo o contrato por motivos sobre os quais as partes não tem controle (WILLIAMSON, 1985), como uma crise econômica, por exemplo.

4. Racionalidade Limitada e simulação computacional baseada em agentes

Os modelos de simulação são apropriados para a obtenção de resultados de diferentes problemas sobre a interação entre agentes em ambientes complexos, capazes de viabilizar a produção de informações sobre a relação causal entre duas ou mais variáveis. Os elementos presentes em cada cenário são constituídos por um conjunto de parâmetros e condições iniciais, que permite o modelo ser calibrado para representar um ambiente específico.

Segundo Axelrod (2003), a simulação computacional no campo da economia intensificou-se a partir da década de 1990. Para Melo e Fucidji (2016), trata-se de uma ferramenta essencial para compreender sistemas complexos, pois compatibiliza o instrumental metodológico com as características do objeto de análise. Estes autores fazem referência ao problema do uso de hipóteses fundamentais em que se baseiam os modelos de simulação, concordando com a afirmação de que não é necessário resolver o modelo, sendo suficiente descrevê-lo (VALENTE, 1999 apud MELO; FUCIDJI, 2016, p. 637).

Segundo Melo e Fucidji (2016), no campo da economia evolucionária o modelo mais utilizado é conhecido como *history-friendly*, apresentado nos trabalhos de Silverberg et al. (1988), Orsenigo (2003) e Dosi et al. (2010). Esses modelos baseiam-se nas relações causais extraídas da análise dos processos históricos dos fenômenos econômicos, e têm como objetivo compreender os processos determinados inteiramente pelas condições *path-dependency* e parâmetros, independente das influências estocásticas. Os modelos microeconômicos baseados em agentes revelam que a heterogeneidade das estratégias de inovação não influencia somente o desenvolvimento das firmas individuais, mas tem efeitos sobre o desenvolvimento de toda a indústria (MELO; FUCIDJI, 2016).

Melo e Fucidji (2016) afirmam que para Brenner e Werker (2007) o modelo de simulação deve combinar pressupostos teóricos e empíricos, e para Axelrod (2003) as análises com

simulações diferem de análises dedutivas, pois os resultados não são utilizados para provar teoremas.

O modelo de simulação indicado para estudos de ambientes com forte interação entre os agentes é o “agent-based modeling”. Os modelos baseados em agente utilizados nas ciências sociais visam propiciar a compreensão de processos fundamentais presentes em uma variedade de aplicações.

No campo da ciência econômica, as simulações devem ser modeladas visando à simplificação da realidade visando sua explicação de maneira consistente, robusta e confiável. Melo e Fucidji (2016, p. 639) defendem essa ideia pois entendem que nenhum modelo de simulação consegue captar a complexidade da realidade integralmente. Isto porque os elementos mais dinâmicos e de aparente desordem observados na interação entre os agentes no âmbito micro resultam em propriedades emergentes, em regularidades e auto-organização no âmbito macro, possibilitando o surgimento de trajetórias inteligíveis em tempo discreto.

Melo e Fucidji (2016, p. 639) afirmam que

A simulação permite vincular a interação entre as estratégias individuais de inovação, as estruturas de mercado e os efeitos micro ao desenvolvimento de variáveis industriais ou mesmo variáveis da economia como um todo, como a produtividade média dos fatores, o número de firmas ou o crescimento econômico (DAWID, 2005, p. 1241 *apud* MELO; FUCIDJI, 2016).

A compreensão da complexidade do sistema econômico, da dinâmica tecnológica dos setores industriais onde atuam as empresas e da capacidade destas em absorver conhecimento são elementos cruciais para o processo de inovação.

5. Simulação computacional em análise de inovação na indústria petrolífera

A decisão de inovar depende da lucratividade esperada em comparação com a tecnologia vigente. O valor de uma tecnologia é calculado com base em estimativas do valor do produto da tecnologia em análise, expressa em custos agregados dos investimentos passados e presentes necessários para desenvolver essa tecnologia somados à da margem de retorno financeiro do parceiro em perspectiva, ao benefício social em potencial decorrente do seu uso (EMBRAPA, 1998).

As relações causais envolvendo tecnologias para Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana podem ser descritas por meio de um *modelo dinâmico de simulação*

computacional. Oreiro e Ono (2007, p. 83) observam que é comum a literatura econômica heterodoxa analisar o problema da dinâmica capitalista usando “modelos de equações diferenciais ou em diferenças finitas lineares e não-lineares para solução analítica fechada”.

No caso de valoração de novas tecnologias, os resultados, *a priori*, não ficam comprometidos, pois os modelos dinâmicos *de simulação computacional*, conforme Oreiro e Ono (2007, p. 83), admitem definir trajetórias no tempo para as variáveis endógenas através da solução numérica do modelo, podendo ser atualizado. O procedimento consiste em atribuir valores economicamente viáveis para os parâmetros das equações dinâmicas e para as condições iniciais do modelo. A modelagem deve comportar produção, determinação do lucro, aumento da produtividade e sua interação com P&D, e a dinâmica do investimento e crescimento do estoque de capital, como constam no modelo de Nelson e Winter (2005).

Os métodos de recuperação de petróleo são subdivididos em três estágios: primário, secundário e terciário. Segundo Musse e Quintella (2009), a literatura classifica os métodos de recuperação avançada (terciária) em quatro grandes grupos: métodos térmicos, métodos miscíveis, métodos químicos e métodos microbiológicos. A recuperação avançada de petróleo por ação microbiana (MEOR) é uma alternativa tecnológica mais sustentável do que o processo de recuperação por métodos químicos (CEOR), tais como biossurfactantes, biopolímeros e ácidos.

Segundo Bryant et al. (1989) *apud* Carvalho e Carvalho (2012), as vantagens apresentadas pelo uso de microrganismos na produção de petróleo são: a) facilidade de aplicação; b) custo relativamente baixo e não dependente do preço do petróleo; c) atividade microbiana pode ser controlada; d) podem ser aplicados para um largo espectro de óleos crus; e) podem ser selecionados para a aplicação nas condições específicas de cada reservatório. Apesar dessas vantagens e da concentração de patentes em MEOR em alguns países, no Brasil, essa tecnologia ainda não é empregada na indústria. Portanto, modelos matemáticos são necessários para descrever as interações da MEOR e gerar simulações que estimam o impacto econômico na indústria petrolífera do país.

Considerações Finais

O propósito deste trabalho foi apresentar os principais aspectos teóricos abordados na Economia Evolucionária, relevantes à compreensão do uso da simulação computacional para descrever as relações econômicas das tecnologias Recuperação Avançada de Petróleo por

Ação Microbiana (MEOR) no setor petrolífero, na perspectiva de as empresas adotarem-na de acordo com resultados satisfatórios esperados em um ambiente complexo, caracterizado por incerteza e racionalidade limitada. As regras e rotinas que representam as dimensões cognitivas precisam ser aceitas.

As constatações e os argumentos correspondentes permitiram um estudo sobre a questão em pauta, em que pesem carecer de aprofundamento. A MEOR surgiu na indústria de biotecnologia, o que requer das empresas conhecimentos sobre a referida tecnologia, além de provavelmente gerar incerteza, uma vez que o seu desenvolvimento ocorre em um ambiente externo à empresa. Assim, os impactos econômicos positivos da MEOR podem se constituir no ponto de partida para incentivar a indústria de petróleo a adotá-la. Observa-se que as empresas são agentes econômicos cujos gestores são seres humanos submetidos a limitações cognitivas devido à racionalidade limitada que os impede de obter todas as informações relevantes, somadas à incerteza decorrente da complexidade do sistema econômico.

REFERÊNCIAS

ARROW, K. **The limits of organization**. New York: Norton, 1974.

ARROW, K. J. **Principal and agents: the structure of American business**. Boston: Harvard Business School Press, 1985.

BAPTISTA, R. A. **Inovação nos produtos, processos e organizações**. Porto: Sociedade Portuguesa de Inovação, 1999.

CARVALHO, A. A. E. S.; CARVALHO, G. C. Recuperação avançada de petróleo empregando microrganismos. **Cadernos de Prospecção**, v. 5, n. 4, p. 214-220, 2012.

CHAHARBAGHI, K.; NEWMAN, V. Innovating: towards an integrated learning model. **Management Decision**, v. 34, n. 4, p. 5-13, 1996.

CONDE, M. V. F.; ARAÚJO-JORGE, T. C. Modelos e concepções de inovação: a transição de paradigmas, a reforma da C&T brasileira e as concepções de gestores de uma instituição pública de pesquisa em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**. v. 8, n. 3, p. 727-741, 2003.

CORAZZA, R. I.; FRACALANZA, P.S. Caminhos do pensamento neo-schumpeteriano: para além das analogias biológicas. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, p. 127-155, maio/ago. 2004.

DAWID, H. Models of innovation and change technological agent-based. In: Handbook of **Computational Economics**, 2006.

DEQUECH, D. Bounded rationality, institutions, and uncertainty. **Journal of Economic Issues**, v. 35, n. 4, p. 911-929, December 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/loi/mjei20>>. Acesso em: 01 out. 2019.

DOSI, G. 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, Jun. 1982.

DOSI, G. Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation. **Journal of Economic Literature**, v. 26, n. 3, September, p. 1120-1171. 1988.

EMBRAPA. **Política de negócios tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 1998.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance**. Londres: Pinter Publishers London and New York, 1987.

GODIM, B. The Linear Model of Innovation: the historical construction of an analytical framework. **Science, Technology & Human Values**, v. 31, n. 6, November 2006, p.639-667. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/loi/sthd>>. Acesso em: 30 set. 2019.

GODIM, B. B. **Models of Innovation**: the history of an idea. Cambridge, MA: MIT Pres, 2017.

GRIZENDI, Eduardo. **Processos de inovação**: modelo linear x modelo interativo. 2004. Disponível em: <<http://www.institutoinovacao.com.br>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

GUIMARÃES, R.; MELLO VIANA, C. M. **Ciência e tecnologia em saúde**. Tendências Mundiais, diagnóstico global e estado da arte no Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília. 2010. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/0203anais_cncts2.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2019.

JENSEN, M. C.; MECKLING, W. H. Theory of the firm: managerial behavior, agency costs and ownership structure. **Journal of Financial Economics**, v. 3, n. 4, 1976.

KIM, L. **Imitation to innovation**: the dynamics of Korea's technological learning. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

KLINE, S. J.; ROSENBERG, N. An Overview of Innovation. In: LANDAU, R.; ROSENBERG, N. (orgs.). **The Positive Sum Strategy**. Washington, DC: National Academy of Press, 1986.

KLEINKNECHT, A.; VERSPAGEN, B. Demand and innovation: Schmoookler re-examined. **Research Policy**, North-Holland, n. 19, p.387-394, 1990.

KNIGHT, F. H. **Risk, uncertainty and profit**. 5. ed. Washington: Beard Books, 2002

LUNDEVALL, B.-A. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: DOSI, G. et al. (eds.). **Technical Change and Economic Theory**. Pinter Publisher. London, 1988. p. 349-369.

MAÇANEIRO, M. B.; CUNHA, J. C. Os modelos technology-push e demand-pull e as estratégias de organizações ambidestras: a adoção de inovações tecnológicas por empresas brasileiras. **Revista Capital Científico**, Guarapuava, PR, v.9 n.1, p. 27-41, jan./jun. 2011.

MARINOVA, D.; PHILLIMORE, J. Models of innovation. In L. V. Shavinina (Ed.), **International handbook on innovation**. Oxford: UK: Elsevier. p. 44-53, 2003.

MELO, T. M.; FUCIDJI, J. R. Racionalidade limitada e a tomada de decisão em sistemas complexos. *Revista de Economia Política*, v. 36, n. 3, p. 622 - 645, jul./set.2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rep/v36n3/1809-4538-rep-36-03-00622.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2019.

MUSSE, A. P. S.; QUINTELLA, C. M. Recuperação Avançada de Petróleo. **Cadernos de Prospecção**, v. 2, n. 1, p. 12-22, 2009.

NELSON, R., WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Belknap Press, 1982.

OECD. The measurement of scientific and technological activities. Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. **Oslo Manual**. Paris: OECD, 1997.

OREIRO, J. L.; ONO, F. H. Um modelo macrodinâmico pós-keynesiano de simulação. **Revista de Economia Política**, v. 27, n. 1, São Paulo, jan./mar. 2007.

ROSENBERG, N. *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

SCHUMPETER, J. A. **A teoria do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982. (Os economistas).

SCHUMPETER, J. A. **Capitalism, socialism and democracy**. New York: Harper and Brothers, 1961.

SCHMOOKLER, J. *Inuerttion and Economic Growth*. Cambridge: Harvard University Press, 1966.

SCHREIBER, D.; BOHNENBERGER, M. C. Bounded rationality and selective perception in R&D decision-making process. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 8, n. 2. p. 58-70, maio/ago. 2017.

SENKER, J. Tacit knowledge and models of innovation. **Industrial and corporate change**, v. 4, ed. 2, 1995, p. 425-447.

SIMON, H. A. Theories of decision-making in economics and behavioral science. **American Economic Review**, v. 49, p. 253-283, 1959.

SIMON, H. A. A racionalidade do processo decisório em empresas. **Edições Multiplic**, v. 1, n. 1, out./1980.

TIDD, J. **A review of innovation models**. London: Imperial College, 2006. (Discussion paper, 1).

WILLIAMSON, O. E. **The economic institutions of capitalism**. New York: Free Press, 1985.