

AUGUSTO DE ALMEIDA PRADO GAVA TORÁCIO

MAXIMIZAÇÃO, RACIONALIDADE LIMITADA E EVOLUÇÃO: UMA ANÁLISE DA
TOMADA DE DECISÃO DO INDIVÍDUO

Trabalho apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em ciências
econômicas no curso de Ciências Econômicas,
Setor de Ciências Sociais Aplicadas da
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Adriana Sbicca Fernandes

CURITIBA
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

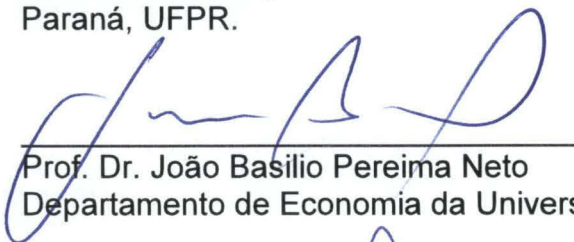
AUGUSTO DE ALMEIDA PRADO GAVA TORÁCIO

MAXIMIZAÇÃO, RACIONALIDADE LIMITADA E EVOLUÇÃO: UMA ANÁLISE DA
TOMADA DE DECISÃO DO INDIVÍDUO

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em ciências econômicas no curso de Ciências Econômicas, pela seguinte banca examinadora:



Profa. Dra. Adriana Sbicca Fernandes
Orientadora – Departamento de Economia da Universidade Federal do
Paraná, UFPR.



Prof. Dr. João Basilio Pereima Neto
Departamento de Economia da Universidade Federal do Paraná, UFPR.



Prof. Dr. José Felipe Araujo de Almeida
Departamento de Economia da Universidade Federal do Paraná, UFPR.

Curitiba, 02 de agosto de 2013

Do mesmo modo como podemos usar uma régua de cálculo sem perceber que, na realidade, estamos usando logaritmos, também um animal pode estar pré-programado para comportar-se como se tivesse feito um cálculo complicado. (Richard Dawkins)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise crítica do modelo de tomada de decisão proposto por Herbert Simon (o modelo de racionalidade limitada), em comparação com o modelo de maximização da utilidade do agente, evidenciando as diferenças significativas teóricas e de previsão entre os dois modelos, em especial, em situações nas quais há uma dinâmica evolutiva social. Apesar das diferenças que poderiam ser observadas em situações de escolhas individuais estáticas, ao analisarmos a dinâmica social sob uma perspectiva evolucionária, percebemos que há uma tendência de aproximação das escolhas de ambos os modelos, uma vez que as heurísticas do agente com racionalidade limitada se aprimorariam em direção ao ótimo. Em experimentos realizados através de simulação em computador de agentes com racionalidade limitada, operando por satisfação (*satisficing*), percebeu-se a tendência das decisões individuais, com o tempo, se aproximarem cada vez mais do ótimo maximizador. Essa convergência é mais rápida nos casos em que existem mais vizinhos (agentes que se comunicam entre si) por indivíduo da população. Além disso, a tendência às escolhas ótimas também pôde ser observada nos casos em que existe certa probabilidade de que as informações sejam passadas ou compreendidas de forma equivocada, embora com menor velocidade de convergência ao ótimo.

ABSTRACT

This work presents a critical analysis of the decision-making model, proposed by Herbert Simon (the model of bounded rationality), compared with the agent's utility maximization model, showing the significant theoretical and prediction differences between both models, especially in situations where there is an evolutionary social dynamics. Despite the differences that could be observed in static individual choices situations, when we analyze the social dynamics in an evolutionary perspective, we realize that there is a tendency to the approximation of the choices, since the heuristics of the agent with bounded rationality improves towards the optimum. Experiments done by computer simulation of agents with bounded rationality, operating with *satisficing*, noticed that the decisions, over time, have a tendency of increasingly approaching the optimum. This convergence is faster in cases where there are more neighbors (agents that communicate with each other) by individual of the population. Moreover, the tendency toward the optimal choices could also be observed in cases where there is some probability that the information could be passed or understood wrong, although with lower speed of convergence to the optimum.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 O MODELO CLÁSSICO DE MAXIMIZAÇÃO DA UTILIDADE.....	10
3 A CRÍTICA DE SIMON E O MODELO DE RACIONALIDADE LIMITADA.....	12
3.1 INCONSISTÊNCIA E INCOMENSURABILIDADE DAS PREFERÊNCIAS	13
3.2 INCERTEZA.....	15
3.3 COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL.....	17
3.4 DISCUSSÃO COMPARATIVA	19
4 UMA PERSPECTIVA EVOLUTIVA	23
4.1 VISÃO EVOLUCIONÁRIA DA RACIONALIDADE.....	23
4.2 MODELO DE TOMADA DE DECISÃO EVOLUTIVO	25
5 SIMULAÇÃO.....	29
5.1 O MODELO PARA A SIMULAÇÃO	29
5.1.1 O Problema	29
5.1.2 Comunicação entre os Indivíduos	31
5.1.3 Os Indivíduos da População.....	33
5.2 RESULTADOS	35
6 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICE.....	43

1 INTRODUÇÃO

Muitos modelos que procuram descrever a tomada de decisão dos agentes econômicos fazem uso explícito ou implícito de um forte pressuposto de racionalidade, pelo qual tais agentes procuram maximizar algum tipo de função utilidade uni ou multiatributo. É a partir deste tipo de cálculo mental, que os agentes chegam à escolha que deve ser tomada, que trará o maior benefício ao indivíduo.

No entanto, Simon (1955) lançou dúvidas sobre essa representação do comportamento dos agentes, sugerindo que os indivíduos consideram algum tipo de limiar de aspiração e procuram apenas satisfazê-lo, sem iniciar um processo de maximização de utilidade. Isso seria devido à limitação cognitiva dos agentes, que tornaria inviável a realização de todos os possíveis cálculos maximizadores.

Com isso, Simon ainda sugere que, ao invés de uma racionalidade substantiva maximizadora, os indivíduos possuam uma racionalidade procedimental, seguindo, assim, procedimentos razoáveis heurísticos, e possivelmente sub-ótimos, para a tomada de decisão (SIMON H. A., 1997). A partir desse conceito, somaram-se ao argumento inúmeras bases de evidências coletadas nas últimas décadas, sobretudo por psicólogos, com intuito de demonstrar que os indivíduos possuem uma racionalidade procedimental e não substantiva. Contudo, estranhamente, ainda há um número limitado de modelos econômicos formais que procuram operacionalizar a racionalidade limitada procedimental (MUNIER, 1999).

Dessa forma, mais do que uma análise sobre o *produto do pensamento*, a ideia de racionalidade limitada concentrou-se mais no *processo de pensamento* e, logo, muitas vezes, aproximou-se do objeto de estudo da psicologia, afastando-se do objeto tradicional da ciência econômica.

Nesse aspecto, Simon (1980) defende que a diferença no *processo de pensamento* estabelecida entre o modelo de racionalidade limitada e o de maximização de utilidade é de vital importância e traria diferenças visíveis no *produto do pensamento* ou previsões econômicas. Tais diferenças poderiam ser observadas uma vez que um indivíduo que opera por satisfação (racionalidade limitada) realizaria seu procedimento até se sentir satisfeito, no que diz respeito a sua aspiração, sem explorar todas as possibilidades para escolher a melhor possível (a exemplo do que faria um maximizador).

Ainda assim, sob essa análise comparativa dos modelos em si, percebe-se a ausência de um importante fator, que estaria implícito nos procedimentos heurísticos do indivíduo: a decisão do agente pode ser influenciada pela decisão de outros agentes em um ambiente dinâmico e comunicativo.

Logo, uma análise mais criteriosa entre os dois modelos deve considerar esse aspecto da dinâmica social, a fim de evidenciar as semelhanças e diferenças durante um processo evolutivo ou de longo prazo.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar criticamente o modelo de tomada de decisão proposto por Simon (racionalidade limitada), de modo a avaliar se existem diferenças significativas teóricas e de previsão em comparação com o modelo da maximização de utilidade e como uma dinâmica evolutiva social poderia aproximar as previsões de ambos os modelos.

Para isso, este trabalho foi organizado em seis capítulos. No Capítulo 2, descrevemos o modelo racional de tomada de decisão com o processo de maximização de utilidade. Após isso, no Capítulo 3, são enumeradas as críticas de Simon ao modelo de maximização, apresentando-se, como alternativa, o modelo de racionalidade limitada. Em seguida, no Capítulo 4, apresentamos uma perspectiva dinâmica evolutiva do modelo de racionalidade limitada, considerando-se os efeitos que outros indivíduos em sociedade têm na escolha individual. Já no Capítulo 5, são apresentados um modelo simulador e os resultados de uma simulação em computador para o modelo evolutivo de racionalidade limitada proposto, com o objetivo de identificar a tendência da escolha individual influenciada pela sociedade. Por fim, no Capítulo 6, são feitas as conclusões do trabalho.

2 O MODELO CLÁSSICO DE MAXIMIZAÇÃO DA UTILIDADE

Este capítulo descreve o processo básico de tomada de decisão racional por meio da maximização da utilidade para o agente. Segundo Simon (1955), modelos de comportamento racional geralmente requerem alguns ou todos os seguintes elementos primitivos:

- Um conjunto A de alternativas de decisão.
- Um subconjunto $\tilde{A}$ de alternativas que o agente leva em consideração ou conhece, sendo $\tilde{A} \subseteq A$. Nos casos de completo conhecimento do espaço de alternativas, $\tilde{A} = A$.
- O conjunto S de possíveis consequências das escolhas. Dada uma escolha $a \in \tilde{A}$, sua consequência pode ser representada como $s_a \in S$.
- Uma função $V(s)$, sendo $s \in S$, que representa o valor ou utilidade para o agente de cada possível resultado de uma escolha.

Em situações de certeza, sob o modelo racional clássico da decisão, o agente procura realizar o seguinte procedimento:

$$\max_{a \in \tilde{A}} V(s_a)$$

Para a teoria do consumidor, por exemplo, o problema da maximização da utilidade vem a ser a situação em que o indivíduo se encontra durante a tomada de decisão, na qual deve escolher a melhor configuração de bens a fim de maximizar a sua utilidade, levando em conta sua restrição orçamentária. Assim, sendo n o número de bens, $q_1, q_2, \dots, q_n$, a quantidade escolhida de cada bem, $p_1, p_2, \dots, p_n$, o custo de cada bem, m a restrição orçamentária do indivíduo (o custo máximo da cesta) e $u(q_1, q_2, \dots, q_n)$ a utilidade da cesta para o indivíduo, podemos definir o problema da maximização da utilidade como:

$$\max_{q_1, q_2, \dots, q_n} u(q_1, q_2, \dots, q_n) ,$$

Sujeito a:

$$p_1 q_1 + p_2 q_2 + \dots + p_n q_n \leq m$$

$$q_1, q_2, \dots, q_n \geq 0$$

$$p_1, p_2, \dots, p_n > 0.$$

Nesse contexto, é importante notar que as cestas possíveis $q_1, q_2, \dots, q_n$ são aquelas que obedecem as restrições do problema e, assim, devem pertencer a S , pois, do contrário, são decisões inválidas. Dessa forma, as variáveis que podem ser controladas pelo indivíduo são unicamente as quantidades de cada bem que ele vai escolher. Esta é a decisão racional que ele deve tomar, visando obter como resultado uma cesta de tamanho máximo, limitado pelo custo máximo com que ele pode arcar.

Simon (1955) descreve ainda mais dois elementos importantes para situações de escolhas racionais com incerteza:

- Informações sobre que resultados em S ocorrerão realmente se uma alternativa $a \in \tilde{A}$ for escolhida. Tal informação poderia ser incompleta, pois pode haver mais de uma possível consequência $s \in S$ para cada alternativa a , sendo o conjunto dessas consequências $S_a \subseteq S$.
- Informação acerca da probabilidade que uma consequência $s \in S_a$, em particular, tem de ocorrer se uma alternativa $a \in \tilde{A}$ for escolhida. Assim, $P_a(s)$ é a probabilidade de ocorrer s se a for escolhida.

E, nesse caso, os agentes poderiam maximizar sua utilidade esperada para situações de risco (incerteza) por meio do seguinte procedimento:

$$\max_{a \in \tilde{A}} \sum_{s \in S_a} V(s) P_a(s)$$

Assim, seja qual for o grau de certeza em que os agentes se encontram, sua decisão seria considerada racional. No entanto, para isso, seria necessário que os indivíduos tivessem informações corretas acerca das probabilidades das consequências, do espaço de alternativas e do mapeamento entre as alternativas e consequências. Do contrário, poderiam tomar decisões equivocadas.

3 A CRÍTICA DE SIMON E O MODELO DE RACIONALIDADE LIMITADA

O modelo da maximização da utilidade tem sido alvo de várias críticas por diferentes economistas. O principal modelo de tomada de decisão concorrente, alternativo ao modelo maximizador, é o modelo de racionalidade limitada, desenvolvido por Herbert Simon (1955).

O conceito de racionalidade limitada diz respeito à escolha racional do indivíduo que leva em conta os limites da capacidade humana de calcular, a grande deficiência do conhecimento humano sobre as consequências da escolha e os limites da habilidade humana de escolher entre vários objetivos (CALLEBAUT, 2007).

Simon relata que a evidência de que os consumidores efetivamente distribuem seus gastos de forma a maximizar a sua utilidade é inexistente e, com isso, combate as premissas do modelo de maximização que preveem que o agente: a) possui uma bem definida função de utilidade; b) é confrontado com um conjunto de alternativas de escolha bem definido; c) pode associar uma distribuição de probabilidade conjunta para todos os futuros conjuntos de eventos; d) irá maximizar o valor esperado, em termos de sua função utilidade (SIMON H. A., 1997).

As críticas de Simon sobre essas quatro premissas se embasam principalmente nos seguintes pontos: (a) as alternativas não são conhecidas, nem suas consequências; (b) suas preferências não são consistentes; (c) não se tem capacidade computacional suficiente para a resolução do problema, pois a complexidade é muito grande (KOBLOITZ, 2008).

Assim sendo, Simon se tornou um dos maiores críticos da visão econômica da maximização da utilidade. Para ele, os agentes não procuram maximizar e, pelo contrário, agem por meio de um processo heurístico, escolhendo a primeira alternativa que os satisfaça.

Dessa forma, o indivíduo possuiria um dado nível de aspiração (um resultado desejado), o qual compararia com a consequência esperada da alternativa. Se o resultado se igualar ou superar o nível de aspiração, a alternativa é escolhida e para-se de procurar. Nesse aspecto, dois conceitos são fundamentais: a busca e o que Simon chamou de *satisficing* (satisfazimento).

Satisficing (escolher uma opção que atende a alguns critérios específicos, mas que não é necessariamente única nem a melhor) é um conceito de comportamento racional alternativo à otimização. É uma alternativa atraente quando um ótimo genuíno apenas poderia ser calculado com níveis inviáveis de esforço, ou quando os objetivos são incomensuráveis. As regras que determinam o satisfatório podem ser determinadas pelo ajuste dos níveis de aspiração em resposta à experiência (SIMON, 2012, tradução nossa).

Desse ponto de vista, a ideia de *satisficing* é, sobretudo, uma teoria de busca por alternativas. Se as alternativas não forem fornecidas para o tomador de decisão, este deve iniciar um processo de busca por tais alternativas, onde se associa o *satisficing* como o critério de parada do agente (para-se de procurar assim que se encontra uma alternativa satisfatória) (CALLEBAUT, 2007).

Vamos, nas próximas seções, analisar mais detalhadamente os argumentos de Simon.

3.1 INCONSISTÊNCIA E INCOMENSURABILIDADE DAS PREFERÊNCIAS

Uma das críticas de Simon ao modelo maximizador é que as preferências individuais não são consistentes, uma vez que não é possível ordená-las em graus de preferência, devido à incomensurabilidade. Sendo assim, as decisões tomadas pelos agentes possivelmente não representarão corretamente suas preferências e não maximizarão, dessa forma, sua utilidade.

A hipótese de que as preferências são consistentes é uma definição padrão assumida nos modelos de racionalidade substantiva (KOBLOITZ, 2008). A consistência das preferências pode ser definida como a capacidade que os agentes têm de estabelecer uma relação binária transitiva e completa de preferência (“ordem fraca”) sobre os objetos de escolha (KREPS, 1998). No entanto, uma série de trabalhos, conforme apresentado por Conlisk (1996), sugere violações dessa hipótese de consistência das preferências.

Sobre essa questão, Simon explica que um alto grau de consistência pode ser observado em escolhas quando os resultados são em dinheiro. No entanto, esse grau de consistência é muito menor com desfechos multidimensionais, como por exemplo, escolha entre gravações fonográficas ou moças para o casamento

(KOBLOITZ, 2008). Uma das principais causas dessas violações pode estar relacionada ao efeito da incomensurabilidade das preferências.

Simon (1987) apresenta três situações nas quais a incomensurabilidade é um fator importante a se considerar:

- a) Incerteza: quando, para cada alternativa, um resultado ruim sob uma contingência precisa ser balanceado contra um bom resultado sob outra;
- b) Escolhas multipessoais: quando um ganho de uma pessoa é uma perda de outra;
- c) Casos nos quais cada escolha envolve ganho em uma dimensão de valor e perda em outra.

Tais situações dificultariam, ou impossibilitariam, o indivíduo de comparar valores distintos durante um *trade-off*, uma vez que essas escolhas envolveriam, muitas vezes, objetos complexos, com multiatributos. Esse problema levaria os agentes a ferirem a hipótese de transitividade das preferências¹ ou de invariância de procedimento² (KOBLOITZ, 2008).

Vários experimentos afirmam ter encontrado situações nas quais as preferências são inconsistentes. Um exemplo clássico é o de reversão das preferências individuais apresentado por Tversky e Thaler (1990), através de um experimento com loterias. Nesse experimento, os agentes devem escolher entre duas loterias:

A) ganhar \$4 com probabilidade 8/9;

B) ganhar \$40 com probabilidade 1/9.

A maioria das pessoas escolhe a opção A. No entanto, sob o pedido de estabelecerem o menor preço em que eles estariam dispostos a vender tais loterias, a maioria concedia um maior preço para a opção B. Segundo os autores, isso se deve à quebra da hipótese de invariância de procedimento, uma vez que através de diferentes procedimentos de análise, a ordem das preferências teria sido diferente, levando a uma reversão das preferências. Com isso, chegam às seguintes conclusões:

¹ Se os agentes preferem a alternativa A à alternativa B e preferem B a C, logo, devem preferir A a C.

² Procedimentos de análise de preferência equivalentes deveriam resultar na mesma ordem das preferências (TVERSKY e THALER 1990).

a) Não possuímos um conjunto pré-definido de preferências para cada contingência. Ao invés disso, as preferências são construídas no processo de tomada de decisão ou julgamento.

b) O contexto e os procedimentos envolvidos na tomada de decisão influenciam as preferências que estão implícitas nas respostas induzidas.

Ainda assim, é preciso muita cautela nesse tipo de análise, uma vez que os resultados desses experimentos e argumentos contra a consistência ainda necessitam de uma base mais consolidada. Por exemplo, ainda não se pode afirmar que o experimento das loterias negue que o indivíduo realize um processo de maximização, ou que suas preferências sejam de fato incomensuráveis, uma vez que demonstra apenas a obtenção de tomadas de decisão diferentes a partir de pontos de referência diferentes. Isso, apesar de fortalecer o argumento da racionalidade limitada, não significa que a maximização ou a ordenação das preferências não ocorrem.

3.2 INCERTEZA

Uma das condições para que, através da racionalidade objetiva, a maximização seja possível é a existência de uma relação clara entre a alternativa e sua consequência. Isso permite que regras comportamentais possam ser logicamente deduzidas, uma vez que quando identificada uma consequência desejável viável, uma alternativa que levaria a essa consequência poderia ser facilmente identificada e escolhida (KOBLOITZ, 2008). No entanto, para Simon, em inúmeros problemas econômicos, há uma fraca ligação entre ação e consequência, devido principalmente à complexidade e à incerteza. Isso claramente impediria os agentes de tomarem decisões maximizando objetivamente suas utilidades, uma vez que as consequências das alternativas escolhidas não são conhecidas.

A hipótese da incerteza é que os indivíduos não dispõem de informações suficientes para estabelecer essa relação entre as alternativas viáveis e sua consequência pretendida. Além disso, as próprias alternativas viáveis não são de fácil conhecimento, o que prejudica a tomada de decisão.

Nesse aspecto, a economia clássica trouxe avanços com o modelo de utilidade esperada subjetiva. Nessa teoria, o agente procura maximizar uma função de utilidade esperada, que seria baseada nas expectativas bayesianas do agente. Tais expectativas — que seriam previsões de eventos futuros — são elaboradas através de distribuições de probabilidades que o agente observa no ambiente. Logo, ele teria condições de estabelecer uma relação simples entre as alternativas e suas consequências, tomando sua decisão através de um processo de maximização (KOBLITZ, 2008).

No entanto, para Simon (1980), o modelo de maximização da utilidade esperada requer “hipóteses heroicas sobre as informações que o agente decisório possui acerca das distribuições de probabilidades das variáveis relevantes”. Além disso, tal modelo é insuficiente para lidar com outras questões de incerteza como a limitação do conhecimento das alternativas e utilidades (KOBLITZ, 2008).

Ainda, segundo Lucas (1981), o modelo de utilidade esperada subjetiva, que prevê tomadores de decisão bayesianos, tem pouca aplicação normativa, uma vez que não há um meio de inferir qual é a visão de futuro subjetiva do agente e, sendo assim, o conteúdo empírico da teoria torna-se muito pequeno. Diante disso, do ponto de vista da racionalidade substantiva, duas alternativas são possíveis. A primeira seria justamente tentar explicar a formação de crenças pela regra de Bayes. A segunda seria a de criar uma definição de equilíbrio que postula a identidade entre os modelos do agente e da realidade. Essa última foi adotada tanto pela teoria dos jogos (equilíbrio de Nash) quanto pela macroeconomia (expectativas racionais) (KOBLITZ, 2008).

Ainda assim, Simon (1980) observa que tais avanços ainda não são suficientes para resolver tais problemas: “A teoria dos jogos não trouxe para as teorias de oligopólio e concorrência imperfeita o alívio de suas contradições e complexidades, conforme era esperado. Ao contrário, mostrou que estas dificuldades são inerradicáveis”. E ainda:

Certas dificuldades teóricas já estão sendo percebidas. Como o próprio Muth apontou, é racional (isto é, maximizador de lucros) usar as regras de decisão de “expectativas racionais”, quando as equações relevantes de custo forem de fato quadráticas. Já sugeri alhures, que seria menos ambíguo denominá-la regra de “expectativas consistentes”. (SIMON H. A., 1980).

3.3 COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL

Talvez a crítica mais contundente de Simon contra a ideia da maximização da utilidade seja a de que não possuímos a capacidade computacional para efetuarmos todos os cálculos para a solução ótima. Gigerenzer (2004) afirma que, na maioria das situações, a otimização é computacionalmente intratável em qualquer implementação, neural ou de máquina. Essa afirmação pode ser comprovada pelos avanços da ciência da computação e da teoria da complexidade computacional.

Para isso, tomemos como exemplo um problema clássico da ciência da computação: o Problema da Mochila (PM - *Knapsack problem*) (DANTZIG, 1957). O problema da mochila pode ser caracterizado pela decisão de um ladrão que deseja levar o maior número possível de objetos de uma casa. Para isso, ele dispõe somente de uma mochila que possui uma limitação de peso. Assim, o ladrão deve escolher a melhor configuração de objetos que, somados, deem o maior valor financeiro, considerando a limitação de peso imposta pela mochila. Em outras palavras, o problema pode ser definido como:

$$\text{maximizar } x_0 = \sum_{j=1}^n v_j x_j,$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n p_j x_j \leq P$$

$$x_j \in \{0,1\},$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

sendo v_j e p_j , respectivamente, o valor e o peso do objeto j ; x_j a situação de escolha (se igual a 1, o objeto foi escolhido para a mochila; caso contrário, objeto não será levado); e P o peso máximo que a mochila pode carregar. Esta definição, na qual um objeto só pode ser escolhido uma só vez ou nenhuma, recebe o nome de Problema da Mochila 0-1 (CAMPELLO & MACULAN, 1994).

Se notarmos bem, o problema da mochila é o mesmo problema por que passa o consumidor microeconômico. Substituindo o valor dos objetos pelas suas

utilidades, o peso dos objetos pelo seu preço e a limitação de peso da mochila pela restrição orçamentária, temos exatamente o problema da maximização de utilidade do consumidor. Essa tradução pode também ser feita para o problema da escolha de uma carteira de investimentos, por exemplo.

A questão é que o PM 0-1 (e suas variantes) é um problema intratável. Na teoria da complexidade computacional, seu problema de decisão³ é um dos 21 problemas NP-Completo⁴ de Karp (1972), ao passo que o problema de otimização (como o do exemplo) é classificado como NP-Difícil⁵ (CAMPELLO & MACULAN, 1994).

Isso tudo quer dizer que soluções eficientes para o problema não são conhecidas. O tempo requerido para a solução do problema de otimização cresce muito rápido (na ordem exponencial) quando o tamanho do problema cresce (na ordem polinomial). Por exemplo, supondo que um PM 0-1 com 10 objetos possa ser resolvido por um computador moderno em 1 segundo, o acréscimo de mais um objeto ao problema dobra o tempo computacional requerido. Assim, com 20 objetos o tempo de solução seria 1024 segundos (17 min); com 30 objetos, 1.048.576 segundos (mais de 12 horas); com 40 objetos, 34 anos; com 50 objetos, mais de 34865 anos.

Assim, a maximização de problemas com poucos itens pode até ser viável. No entanto, à medida que o número de itens de escolha aumenta, há uma explosão combinatória exponencial. Ainda assim, é possível haver algoritmos mais eficientes para esse tipo de problema. Porém, tais algoritmos têm, no pior caso, desempenho idêntico ao obtido pela enumeração de todas as possibilidades⁶ (PISINGER, 1995).

Esse custo elevado para a obtenção de uma solução ótima do problema (maximização) obriga a utilização de alternativas que retornam uma boa solução (não necessariamente ótima) com custo computacional reduzido (CAMPELLO &

³ Pode-se conseguir um valor total de ao menos X para um determinado peso máximo P?

⁴ NP-completo é um subconjunto do conjunto NP que representa todos os problemas computacionais que podem ser resolvidos com uma máquina de Turing não determinística em tempo polinomial (rápido). Acontece que não se conhece solução determinística de tempo polinomial (rápido) para um problema NP-completo. Nesse caso, embora qualquer solução dada para o problema possa ser facilmente verificada, não há nenhuma forma eficiente conhecida de encontrar uma solução, ou seja, nenhuma solução rápida do problema é conhecida.

⁵ NP-Difícil é um conjunto de problemas computacionais que são "ao menos tão difíceis quanto o mais difícil problema de NP" (CAMPELLO e MACULAN 1994).

⁶ Uma das possíveis soluções é com o uso de programação dinâmica, que economiza computações desnecessárias que já foram realizadas, guardando resultados em memória. Apesar de mais eficiente na questão do tempo, sua ordem de complexidade ainda não é polinomial e sua complexidade de espaço (memória necessária para a solução) é muitas vezes intratável.

MACULAN, 1994). Dessa forma, Simon (1955) sugere que o tomador de decisão, perante um problema mais complexo, se utiliza de procedimentos heurísticos, com o intuito de encontrar uma solução aproximada, pois a maximização é intratável. Dessa forma, os agentes possuiriam uma racionalidade procedimental.

Assim, o agente executaria o processo heurístico de *satisficing*, de forma a escolher, durante a busca pelas alternativas viáveis, a primeira que satisfaça um dado nível de aspiração do indivíduo (SIMON, 1955).

No entanto, a resposta para o seguinte problema de *satisficing*: “existe alguma solução que satisfaça meu nível de aspiração?”, fazendo a devida analogia com o problema de decisão da mochila, também é computacionalmente intratável em sua solução determinística, uma vez que a procura por uma solução que satisfaça o nível de aspiração pode, no pior caso, demorar o mesmo tanto da enumeração de todas as possibilidades. Por exemplo, dado um nível de aspiração maior que a solução ótima, o agente morrerá procurando por uma solução que o satisfaça e não a encontrará. Assim, a factibilidade do modelo de *satisficing* exige a adaptação dos níveis de aspiração durante a busca, de forma a, probabilisticamente (não deterministicamente), atingir uma solução rápida e viável.

Assim, Simon propõe que os níveis de aspiração se alterem durante um processo dinâmico. Isso poderia acontecer de forma que quando o agente, em sua busca por alternativas, achar difícil (de alguma forma) encontrar alguma alternativa satisfatória, seu nível de aspiração cai, ao passo que se ele achar fácil, seu nível sobe (SIMON, 1955).

3.4 DISCUSSÃO COMPARATIVA

Após a descrição das críticas de Simon ao modelo maximizador da utilidade, pode-se questionar se o que Simon apresenta como modelo de racionalidade limitada possui diferenças significativas do ponto de vista da teoria da decisão e das previsões econômicas.

Carmel e Bem-Haim (2005) argumentam que as teorias baseadas no *satisficing*, mais do que na otimização, “às vezes, sofrem de falta de falseabilidade”.

Simon (1997) diz que, da mesma forma, a economia neoclássica se torna “essencialmente tautológica e irrefutável”.

O fato é que ambas as teorias apresentam certa falta de falseabilidade, uma vez que ainda não tem sido possível analisar os processos internos da tomada de decisão. Do ponto de vista empírico, é verdade que modelos podem ser falseados se suas previsões não forem verificadas. Contudo, a falha de um modelo não implica necessariamente na falha de todas as suas premissas.

Dessa forma, conforme alerta Friedman, citado por Simon (1980), uma vez que a teoria tem previsões consistentes no nível macroscópico, a exatidão das hipóteses de comportamento racional que a fundamentam é não somente irrelevante como também impossível de ser testada empiricamente, de qualquer forma direta. E ainda, mesmo que o modelo falhasse em suas previsões, não poderíamos falsificar todas as suas hipóteses.

Assim, não convém afirmar como em (SIMON H. A., 1980) de que “em estudos pioneiros utilizando situações de escolha extremamente simples, o comportamento parecia maximizador. [No entanto] quando foram introduzidas pequenas complicações nas situações, tornaram-se evidentes grandes desvios de comportamento”. Isso porque não se conhece a função de utilidade dos indivíduos para que se soubesse que o resultado da escolha foi equivocado. Talvez, com a adição das “pequenas complicações” a que se refere, os pesquisadores não souberam representar a verdadeira função de utilidade esperada subjetiva resultante ou complicaram o entendimento do problema.

A partir disso, é possível provar que qualquer comportamento de *satisficing* pode ser raciocinado como um comportamento de maximização, ou melhor:

Qualquer problema de satisficing pode ser formulado como um problema de maximização equivalente, de forma que uma solução satisfatória de um seja uma solução ótima de outro.

Por exemplo, seja X o conjunto de todas as alternativas e $S \subseteq X$ o conjunto de todas as alternativas satisfatórias. Assim, escolher uma solução satisfatória é o mesmo que o seguinte problema de maximização:

$$\max_{s \in X} I_S(s)$$

onde $I_S(s)$ é uma função objetivo indicadora de S , definida como:

$$I_S(s) = \begin{cases} 1, & s \in S \\ 0, & s \notin S \end{cases}, \\ s \in X.$$

Logo, uma solução $s \in X$ é ótima se, e somente se, é uma solução satisfatória⁷.

O próprio Simon sugere esse modelo de representação quando representa a função de valor do *satisficing* como assumindo dois valores (1,0) ou três valores (1, 0, -1), interpretando-os respectivamente como (satisfatório, não satisfatório) ou (ganho, empate e perda) (SIMON, 1955).

Assim, do ponto de vista da teoria da decisão, a distinção entre maximização e *satisficing* é essencialmente mais uma questão de estilo (que pode ser importante em certas aplicações) do que uma questão substantiva. O que parece ser importante determinar para a ciência econômica não é como o processo funciona internamente, mas **o que** deve ser maximizado e **o que** deve ser satisfeito.

No entanto, em termos econômicos, seria um equívoco para o agente maximizador do modelo clássico não considerar outras opções que levariam a uma escolha de maior utilidade. Isso poderia ser considerado uma decisão equivocada do agente ou anomalia. Logo, sob um ponto de vista teórico, o agente maximizador **deve** maximizar uma função de utilidade completa que considera todas as alternativas possíveis. Nesse contexto, quando se considera um agente com racionalidade limitada cuja aspiração se iguala ao ótimo, teremos obviamente as mesmas conclusões a partir dos dois modelos.

Contudo, conforme observa Winter (1964), como é possível que tal conhecimento das distribuições de probabilidades, identificação do tipo da busca e a habilidade de determinar o procedimento preciso necessário estejam incorporados nos recursos limitados de obtenção e processamento das informações do tomador de decisão?

⁷ Nesse caso, o valor máximo que a utilidade pode alcançar é 1. Assim, maximizar a utilidade é selecionar quaisquer das opções satisfatórias, e vice-versa.

Sob o ponto de vista dos economistas clássicos, analisando a economia de forma macroscópica, isso não importa, desde que as previsões do modelo sejam consistentes com as observações.

No entanto, a pergunta pode ser invertida: como é possível que um agente com racionalidade limitada saiba exatamente ao que deve aspirar e selecionar para chegar às mesmas conclusões que um maximizador? Nessa situação hipotética, essa é uma questão que poderia instigar os economistas comportamentais.

Assim, pelo menos sob uma análise estática, supondo que o nível de aspiração não esteja relacionado à utilidade para o agente — ou seja, o agente não sabe o que deve querer —, poderíamos observar diferenças de previsões entre os dois modelos. Isso porque o modelo de maximização da utilidade vai, de forma determinística, retornar o resultado ótimo, ao passo que com o modelo de racionalidade limitada, existe grande possibilidade da primeira solução satisfatória escolhida não ser a ótima, dependendo do nível de aspiração.

Sobre isso, Simon observa que:

Se as teorias clássica e neoclássica fossem, conforme é algumas vezes colocado, simplesmente instrumentos poderosos para derivar as consequências agregadas que tanto servem à racionalidade perfeita quanto à limitada, teríamos todas as razões para mantê-las com este propósito. Mas, pelo contrário, já vimos que a teoria neoclássica nem sempre chega às mesmas conclusões, a nível dos fenômenos agregados e da política, que são sugeridas pelo postulado da racionalidade limitada em qualquer de suas variantes (SIMON H. A., 1980).

Todavia, a análise estática da tomada de decisão não representa a realidade, uma vez que temos de considerar a possibilidade de uma sequência de tomadas de decisão interdependentes. Essa dinâmica, auxiliada por um processo social de comunicação entre os indivíduos, como veremos no próximo capítulo, pode vir a aproximar, ou mesmo igualar, as previsões de ambos os modelos.

4 UMA PERSPECTIVA EVOLUTIVA

Observando a sugestão de Simon abaixo, apresentamos, neste capítulo, uma visão de dinâmica evolutiva relacionada à racionalidade, de modo a identificar uma tendência do comportamento do tomador de decisão com racionalidade limitada em sociedade.

O comportamento humano, mesmo o racional, não pode ser tratado por uma coletânea de invariâncias. Certamente, não é tratável pela suposição de perfeita adaptabilidade ao ambiente. Seus mecanismos básicos podem ser bastante simples, e eu acredito que de fato o sejam, mas esta simplicidade opera em interação com condições limitrofes extremamente complexas, impostas pela ambiência, pelos fatos da memória humana de longo prazo e pela capacidade de aprendizado individual e coletivamente. (...) Se desejarmos ser guiados por uma metáfora da ciência natural, eu sugiro que ela seja tirada da biologia ao invés da física. Lições óbvias devem ser retiradas da biologia evolucionista e, bem menos óbvias, da biologia molecular (SIMON H. A., 1980).

4.1 VISÃO EVOLUCIONÁRIA DA RACIONALIDADE

Nas últimas décadas, as pesquisas psicológicas têm descoberto que as estratégias humanas de tomada de decisão são repletas de erros e parcialidades que tendem a resultados irracionais (GOLDSTEIN & HOGARTH, 1997), (SHAFIR & LEBOEUF, 2002). No mesmo período, outros pesquisadores, estudando animais à procura de alimentos em seu hábitat, descobriram que esses animais tendem a fazer escolhas razoáveis que se aproximam do ótimo (REAL, 1991) (SHETTLEWORTH, 1998). Tal paradoxo levou alguns psicólogos evolucionistas às seguintes conclusões (WEITEN, 2010):

- A pesquisa tradicional sobre a tomada de decisão impôs um padrão irreal de racionalidade, que assume que as pessoas devam aplicar a lógica dedutiva e probabilidade estatística de modo perfeito, pesando fatores múltiplos para chegar a certas decisões.

- Os seres humanos apenas parecem irracionais porque os psicólogos cognitivos apresentam às pessoas problemas que não têm relação com os problemas adaptativos do mundo real que a mente humana evoluiu para resolver.

Segundo Gigerenzer (1997), as pessoas evoluíram para pensar em frequências puras ao invés de índices básicos e probabilidades. Nosso senso de probabilidade é resultado de estimativas acumuladas das frequências naturais e não dos índices estatísticos resultantes⁸.

O raciocínio das pessoas evoluiu de modo a depender em grande parte da “heurística rápida e frugal”, que é mais simples do que os processos mentais estudados na pesquisa cognitiva tradicional (GIGERENZER, 2000).

Na maior parte dos casos, os agentes não têm tempo, recursos, nem capacidade cognitiva para reunir todas as informações relevantes, considerar todas as possíveis opções, calcular as probabilidades e riscos e depois tomar a decisão estatisticamente ótima⁹ (WEITEN, 2010). Assim, supondo que tenha havido seres maximizadores durante o processo evolutivo darwiniano, a demora na tomada de decisões importantes poderia ter diminuído a probabilidade de sobrevivência e reprodução de tais seres. Dessa forma, a evolução se deu por outro lado, de escolhas mais rápidas e probabilísticas, que aumentaram as chances de sobrevivência de inúmeras espécies.

No entanto, isso de nada adiantaria se as decisões tomadas por tais seres não fossem, na maioria das vezes, boas soluções. Assim, no melhor conceito darwiniano, indivíduos que tomam decisões ruins não sobrevivem e não passam seus métodos cognitivos ruins para gerações futuras. Essa seleção do que é melhor para um dado momento cria uma tendência de melhoria contínua, especialmente quando não há alterações significativas no ambiente.

Logo, não é difícil notar que a evolução é um processo probabilístico otimizador no longo prazo, procurando maximizar a adaptabilidade dos indivíduos e também, obviamente, de seus processos cognitivos. De forma clara, o homem, por

⁸ Por exemplo: “Deu certo 5 das 7 vezes que eu pesquei naquele trecho do rio” e não “71% das vezes que eu pesquei...”.

⁹ Seres maximizadores até poderiam considerar todos esses custos em sua função de utilidade e aí sim igualmente maximizar. No entanto, isso aumenta a complexidade computacional do problema, o que faz com que, no mínimo, se demore muito mais para a obtenção de uma resposta.

dependem enormemente de sua cognição, é uma das espécies que obtêm transformações cognitivas mais rapidamente.

Com base nesses conceitos, vamos, na próxima seção, apresentar um modelo dinâmico para as tomadas de decisão de agentes com racionalidade limitada, baseado na evolução dos processos cognitivos.

4.2 MODELO DE TOMADA DE DECISÃO EVOLUTIVO

Com o desenvolvimento da linguagem, a evolução cognitiva humana se acelerou, uma vez que as pessoas passaram a herdar conhecimentos e métodos heurísticos já prontos sem ter de redescobri-los. Esse tipo de processo evolutivo foi denominado por Richard Dawkins (2007) de evolução memética.

Nesse tipo de evolução, as ideias (*memes*) mais adaptadas à visão de mundo das pessoas sobrevivem e criam a forma de pensar das novas gerações, que criam outras ideias a partir dessas, abandonando aquelas que não fazem mais tanto sentido no momento.

Fazendo forte analogia à evolução genética, Dawkins explica:

Tal como os genes se propagam no *pool* gênico saltando de corpo para corpo através dos espermatozoides ou dos óvulos, os memes também se propagam no *pool* de memes saltando de cérebro para cérebro através de um processo que, num sentido amplo, pode ser chamado de imitação. Se um cientista ouve ou lê sobre uma boa ideia, transmite-a aos seus colegas e alunos. Ele a menciona nos seus artigos e nas suas palestras. Se a ideia pegar, pode-se dizer que ela propaga a si mesma, espalhando-se de cérebro para cérebro (DAWKINS, 2007).

Assim, não só os indivíduos e seus métodos cognitivos fisiológicos sofrem um processo evolutivo, mas também os métodos heurísticos e cognitivos sociais, ou herdados, sendo que aqueles que trazem melhores resultados são mais aceitos pela sociedade. Dessa forma, à medida que o processo avança, existe uma tendência probabilística de tais métodos seguirem em direção ao ótimo social.

O próprio Simon alerta em (SIMON H. A., 1980) que, no equilíbrio de longo prazo, “pode até ser que o processo de escolha, com níveis de aspiração que se

adaptam dinamicamente, seja equivalente à escolha ótima, levando-se em conta os custos da busca”.

No entanto, ao invés de um simples processo adaptativo individual — no qual o agente altera seu nível de aspiração se a busca por alternativas satisfatórias for fácil ou difícil —, existe uma característica adaptativa social muito mais importante. Essa característica diz respeito à comunicação existente entre os indivíduos em uma sociedade que faz com que as informações sejam compartilhadas e os memes disseminados.

Esses memes trazem consigo informações que não só criam tensões para a alteração do nível de aspiração individual, mas, principalmente, orientam a decisão do agente. Dentre essas informações, podemos citar:

- **Informações pré-processadas:** se o agente não possui capacidade cognitiva e computacional para processar todas as informações de que ele precisa para a tomada de decisão, ele poderia receber grande parte dessa informação já pré-processada pela sociedade.
- **Mudanças nas utilidades e preferências das alternativas:** apesar das preferências e utilidades serem subjetivas para o indivíduo, ele pode vir a ser auxiliado por informações sociais. Assim, em questões mais complexas de ordenação das preferências, o agente se utilizaria de preferências sociais (grande parte das preferências individuais pode ter sido aprendida da sociedade).
- **Novas alternativas:** nem sempre o agente precisa realizar uma busca extensiva individual por alternativas. Muitas delas já vêm processadas e selecionadas socialmente.
- **Mudanças nos métodos heurísticos utilizados para a tomada de decisão:** uma das principais informações adquiridas pelo agente seria a disseminação de heurísticas para problemas específicos, de modo a orientar plenamente o agente para uma escolha aceitável.

Assim, partindo desse modelo, a decisão do agente não seria individual, e sim, aprendida e orientada, em grande parte, pela sociedade, via comunicação entre os indivíduos. Tal comunicação supre grande parte das limitações cognitivas individuais, aproximando as decisões dos agentes das decisões ótimas, com o passar do tempo, mesmo sem considerar os custos da busca.

A partir disso, podemos esperar que as decisões econômicas complexas (bem como quaisquer outras) que há mais tempo já são tomadas na sociedade tendam a estar mais próximas do ótimo do que as decisões complexas tomadas há menos tempo.

Para uma melhor compreensão, podemos citar, por exemplo, um consumidor que deseja manter duas placas de madeira juntas e, assim, decide comprar pregos. Para escolhê-los, provavelmente identificaria o tipo de prego necessário à atividade que irá desempenhar e, a partir daí, saberia as características necessárias — como tamanho, grossura, se com ou sem cabeça — e, observando o preço, tomaria uma decisão possivelmente ótima. No entanto, ele provavelmente saberia que para certos fins os parafusos são melhores e, a partir daí, os escolheria para o fim correto, tomando, na maioria das vezes, uma decisão ótima. Pode até parecer uma decisão simples, mas um indivíduo maximizador teria de considerar todas as possibilidades para efetuar a tarefa, — como verificar se já possui martelo ou chave de fenda, a possibilidade de utilização de cola, pedir para alguém segurá-las juntas, ou até o custo de fazer outra coisa no lugar desta. Grande parte dessas alternativas já foi selecionada e pré-processada pela sociedade, deixando o indivíduo com apenas poucas alternativas fáceis para a escolha.

Ainda, o mesmo consumidor, sem precisar reconsiderar todas as possibilidades de comunicação (pombo-correio, carta, mensageiro, e-mail, etc.), decide comprar um telefone celular. Contudo, no mercado de celulares, por exemplo, poderia não ter uma ideia clara para uma escolha ótima. No entanto, aos poucos, a disseminação das informações começa a definir grandes fabricantes, que acabam por se tornarem o ótimo do mercado. Assim, os consumidores de celulares tomariam suas decisões não pensando individualmente sobre todas as possibilidades de celulares, mas sim, aproveitando grande parte do conhecimento social adquirido do mercado. Com o passar do tempo, as preferências dos consumidores se voltariam para os fabricantes e aparelhos ótimos.

Logo, em situações de decisão relativamente novas, pode ser que não se tenha uma clara ideia ou direção a tomar. Todavia, em poucos ciclos de informação disseminada, as decisões que dão certo e caminham para o ótimo acabam pautando as novas decisões de outros agentes, cujas boas decisões pautarão as decisões subsequentes.

Essas informações podem, inclusive, se espalhar de forma epidêmica seguindo uma função exponencial. Conforme descreve Dawkins (2007): “uma epidemia é um exemplo de processo exponencial típico: cada pessoa transmite o vírus para diversas outras pessoas, cada uma das quais, por sua vez, o transmite a um igual número de pessoas novamente, de modo que o número de vítimas aumenta a uma velocidade sempre crescente”. Já pudemos perceber o poder de uma função exponencial na Seção 3.3 (se cada um passar para duas diferentes novas pessoas, a informação terá atingido toda população da Terra em menos de 32 ciclos de passagens¹⁰).

Assim, chamemos de **vizinhos** os agentes que compartilham informações diretamente. Cada agente conversaria apenas com seus vizinhos e aprenderia ou ensinaria somente a eles. Contudo, cada vizinho possui outros vizinhos que o atualizam ou são atualizados a respeito das informações cognitivas. Definimos, então, o final de um ciclo de informação quando todos se atualizam com seus vizinhos uma vez.

É evidente que o agente não necessita aprender plenamente ou acreditar piamente na informação de seu vizinho. Cabe a ele certo nível de interpretação, que será passada à frente. É o que poderíamos chamar de variação memética. É dessa forma que se cria variabilidade na sociedade e se consegue explorar grande parte do espaço de alternativas.

Assim, o replicador memético dependeria de três qualidades: longevidade, fecundidade e fidelidade na cópia. A primeira, menos importante, diz respeito ao tempo de vida do meme. A segunda, bem mais importante, é o grau de difusão da informação, que dependeria da forma como ela é disseminada e do grau de aceitação desta informação. A terceira, por sua vez, seria o grau de mutação ou diferenciação da informação recebida e transmitida (DAWKINS, 2007).

¹⁰ Considerando-se um pouco mais de 7 bilhões de habitantes. O tempo de disseminação pode ser extremamente reduzido se, ao invés de uma árvore binária de difusão, tivéssemos uma estrutura topológica do tipo estrela, que tem como papel realizar a difusão para inúmeras pessoas de uma só vez (ex.: mídia).

5 SIMULAÇÃO

Com base no modelo proposto no último capítulo, são apresentados, neste capítulo, os resultados de uma simulação de indivíduos com racionalidade limitada, operando por meio de *satisficing*, a fim de mostrar a tendência à escolha individual ótima que a comunicação entre os indivíduos proporciona com o passar do tempo.

Para isso, foi elaborada uma meta-heurística populacional, baseada em conceitos da computação evolucionária¹¹.

5.1 O MODELO PARA A SIMULAÇÃO

O processo consiste em simular uma população de indivíduos com racionalidade limitada na busca por resolver o problema da mochila (Seção 3.3) através do mecanismo de *satisficing*. Esse mecanismo sofre influência dos resultados obtidos pelas escolhas de outros indivíduos que se comunicam através de vizinhança. De forma simples, o algoritmo da simulação pode ser apresentado como (fluxograma no Apêndice):

Simulação:

1. Enquanto não atingir um número de ciclos S , faça:
 - 1.1 Para cada indivíduo i da população, faça:
 - 1.1.1 Conversa com seus vizinhos, verificando suas mochilas;
 - 1.2.1 *Satisficing* de i

Fim

5.1.1 O Problema

O problema da simulação é um típico Problema de Otimização da Mochila 0-1 — que, conforme vimos na Seção 3.3, é intratável — e pode ser compreendido a seguir.

¹¹ Os mais destacáveis dentro desse campo são, principalmente, Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithm*) (HOLLAND, 1975) e Otimização por Nuvem de Partículas (*Particle Swarm Optimization*) (KENNEDY & EBERHART, 1995).

Um aventureiro resolve viajar para as montanhas. Para isso, ele só poderá levar uma mochila com capacidade máxima de 50 Kg e os objetos que nela couberem. Cada objeto possui um peso e uma utilidade para o indivíduo nas montanhas, estando descrito no QUADRO 1.

Num	Objeto	Peso (Kg)	Utilidade
1	Mapa	0,9	150
2	Bússola	1,3	35
3	Água	15,3	200
4	Sanduíche	5	160
5	Glicose	1,5	60
6	Enlatado	6,8	45
7	Banana	2,7	60
8	Maçã	3,9	40
9	Queijo	2,3	30
10	Cerveja	5,2	10
11	Protetor Solar	1,1	70
12	Câmera	3,2	30
13	Camiseta	2,4	15
14	Calças	4,8	10
15	Guarda-chuva	7,3	40
16	Calça Impermeável	4,2	70
17	Roupa Impermeável	4,3	75
18	Bloco de notas	2,2	80
19	Óculos de sol	0,7	20
20	Toalhas	1,8	12
21	Meias	0,4	50
22	Livro	3	10
23	Notebook	9	1
24	Barraca	20	150
25	Botas	2,2	50
26	Corda	4,5	30
27	Casaco	4,2	38
28	Chinelo	0,7	13
29	Kit Higiene	1,7	10
30	Fósforo	1,4	42
TOTAL		123,5	1604

QUADRO 1 — OBJETOS DA MOCHILA

Fazendo uma analogia simples, a mochila seria uma possível solução para um problema complexo qualquer. Se o peso total da mochila é menor ou igual ao peso máximo que ela pode carregar, então a solução do problema é válida. Tal solução trará resultados ao tomador de decisão, que poderão ser medidos através

da utilidade total da mochila nas montanhas. Uma mochila com o peso total maior que 50 Kg é uma solução inválida do problema e não tem utilidade para o indivíduo, que a descarta.

Nesse caso, um aventureiro maximizador deve escolher a mochila que trouxer a maior utilidade total nas montanhas. Já um aventureiro que faz uso de *satisficing* deverá escolher, dentre algumas tentativas aleatórias, a mochila cuja utilidade total supera ou iguala sua aspiração.

Para esse problema, a mochila ótima, que foi calculada por força bruta, é a que contém: mapa, bússola, água, sanduíche, glicose, banana, queijo, protetor solar, câmera, calça impermeável, roupa impermeável, bloco de notas, óculos de sol, meias, botas, chinelo e fósforo, com um peso de 49,4 Kg e uma utilidade total de 1195.

5.1.2 Comunicação entre os Indivíduos

Para a comunicação entre os indivíduos da população, estabeleceu-se o conceito de vizinhança. Cada agente só pode observar o comportamento de seus vizinhos e de ninguém mais. Nesse caso, há dois tipos de vizinhos: passivo e ativo.

Os vizinhos ativos são aqueles que originam a troca de conhecimento, ou conforme chamaremos: conversa. O indivíduo com o qual o vizinho ativo conversa é o vizinho passivo. Assim, o vizinho passivo jamais verificará informações com seu vizinho ativo a não ser que este o faça.

Cada indivíduo escolhe aleatoriamente seus C vizinhos passivos dentre quaisquer da população e permanece com eles durante toda a simulação. Nesse caso, permite-se a hipótese de o indivíduo possuir vizinhos passivos repetidos ou até ser vizinho ativo dele mesmo. Isso pode permitir que haja isolamento de certos indivíduos, embora com baixa probabilidade. Além disso, pode permitir que certos agentes possuam muitos vizinhos ativos, o que aumentaria sua interligação social.

Assim, seja N_{Ai} o número de vizinhos ativos do indivíduo i e N_{Pi} o número de vizinhos passivos para o mesmo indivíduo, podemos verificar as seguintes relações:

$$0 \leq N_{Ai} \leq T - 1$$

$$0 \leq N_{Pi} \leq C$$

de forma que T é o número total de indivíduos da população e C é o número máximo de indivíduos com os quais i inicia uma conversa. A FIGURA 1 apresenta um exemplo de como a vizinhança ocorre entre seis agentes A , B , C , D , E e F . Uma flecha interliga 2 vizinhos, partindo de um vizinho ativo para um passivo. Nesse caso, cada indivíduo possui apenas dois vizinhos passivos. No entanto, pode-se perceber que D é um indivíduo isolado, E só possui um vizinho e F é um indivíduo com bastante interligação social.

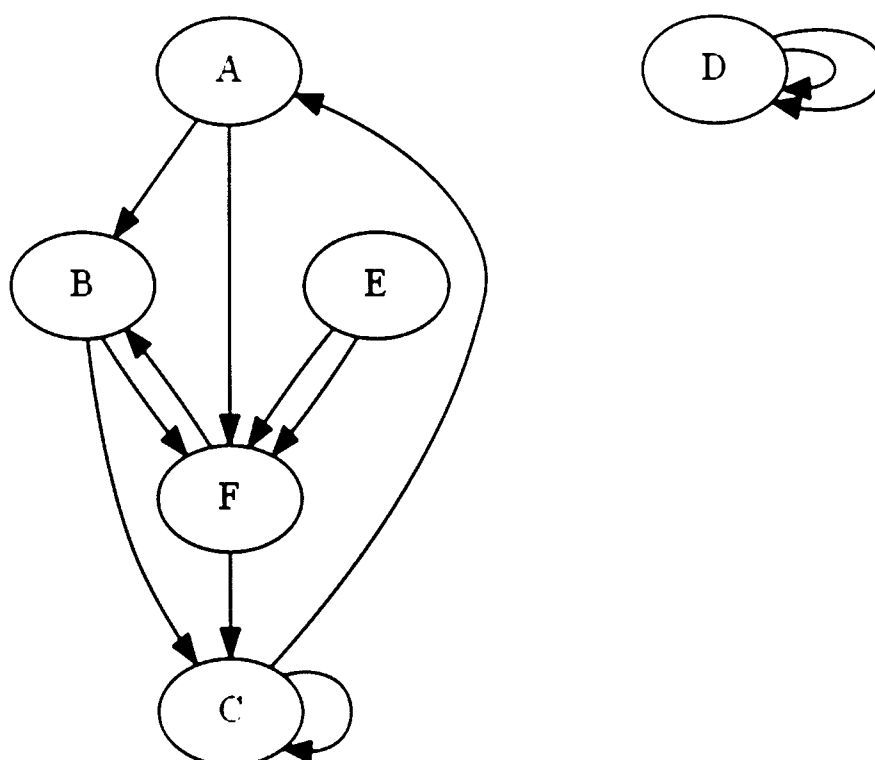


FIGURA 1 — EXEMPLO DE TOPOLOGIA DE VIZINHANÇA

Durante uma conversa, os agentes verificam o valor total da mochila conseguida por seu vizinho. Se esse valor for maior que o valor da sua própria mochila, o agente imita parte da mochila de seu vizinho, na busca por uma melhor solução. Se o resultado o agradar, mantém a nova mochila e se satisfaz. Após isso, o agente provavelmente altera o seu nível de aspiração, se este estiver abaixo da utilidade da nova mochila ou da mochila de seu vizinho. O algoritmo de uma conversa pode ser representado como (fluxograma no Apêndice):

Conversa:

1.1.1 Conversa com vizinhos passivos de um indivíduo i :

1.1.1.1 Para cada vizinho passivo vp de i , faça:

a) Se utilidade da mochila de $i <$ utilidade da mochila de vp ,

1. Se aspiração de $i <$ utilidade da mochila de vp ,
Aspiração de $i \leftarrow$ utilidade da mochila de vp
2. i imita parte da mochila de vp .
3. Se mochila resultante é melhor, mantém.
4. Se utilidade resultante $>$ aspiração de i ,
Aspiração de $i \leftarrow$ utilidade da nova mochila

b) Se utilidade da mochila de $vp <$ utilidade da mochila de i ,

1. Se aspiração de $vp <$ utilidade da mochila de i ,
Aspiração de $vp \leftarrow$ utilidade da mochila de i
2. vp imita parte da mochila de i .
3. Se mochila resultante é melhor, vp mantém.
4. Se utilidade resultante $>$ aspiração de vp ,
Aspiração de $vp \leftarrow$ utilidade da nova mochila

Fim

A imitação da mochila por parte do agente busca representar as informações aprendidas da sociedade, como novas heurísticas para a solução de um problema, novas alternativas pré-selecionadas de escolha e demais informações pré-processadas por outros indivíduos. Para isso, o agente escolhe alguns objetos aleatoriamente e verifica se este objeto se encontra ou não na mochila de seu vizinho. A imitação, nesse caso, é aleatória e não completa (ou seja, apresenta certo nível de infidelidade na cópia), a fim de representarmos também a incerteza do meio, que obrigaria o indivíduo a tentar uma alternativa sem a certeza de que ela vá trazer o retorno esperado.

Quanto mais interligados forem os indivíduos, mais rápido a informação deve se difundir. O momento em que todos os indivíduos se atualizaram com seus vizinhos passivos marca o final de um ciclo da simulação.

5.1.3 Os Indivíduos da População

Cada indivíduo da população possui uma mochila, um nível de aspiração H e uma lista de no máximo C vizinhos passivos. Sua mochila inicial é totalmente vazia e, dessa forma, o indivíduo se encontra inicialmente insatisfeito.

Sua heurística é bastante simples: inserir ou remover alguns objetos aleatoriamente. Após isso, ele deve avaliar a utilidade da mochila. Dependendo de nível de aspiração do indivíduo, isso já pode ser suficiente para que ele se satisfaça com a mochila resultante e pare de procurar. Do contrário, tentará mais um número máximo de $X - 1$ vezes ou até se satisfazer. Atingido o número de tentativas X , parará independentemente de satisfação e escolherá a melhor alternativa dentre as observadas.

Uma vez encontrada uma mochila viável satisfatória, seu nível de aspiração se altera, igualando-se à utilidade total da mochila. Isso porque é de se esperar que o indivíduo não fique mais satisfeito com mochilas de utilidade total inferior à atual nas próximas viagens.

O algoritmo do processo de *satisficing* do indivíduo pode ser apresentado como (fluxograma no Apêndice):

Satisficing:

1.2.1 *Satisficing* de indivíduo i :

1.2.1.1 $M \leftarrow$ mochila atual;

1.2.1.2 $X \leftarrow$ número máximo de tentativas;

1.2.1.3 Enquanto não está satisfeito e não atingiu X tentativas, faça:

- a) Com base em M , retire e coloque objetos aleatoriamente.
- b) Se utilidade total de $M >$ aspiração H , então satisfeito

1.2.1.4 a) Mochila atual $\leftarrow$ melhor mochila testada;

- b) Se $H <$ Utilidade da mochila atual,
 $H \leftarrow$ utilidade total de Mochila atual;

Fim

É importante notar que os agentes não conhecem a utilidade de cada objeto e tomam conhecimento apenas da utilidade total resultante da mochila final (*ex post*). Com isso, analisam esse resultado com seu nível de aspiração e, se satisfatório, param de procurar, mantendo a mochila que lhes satisfaz. Assim, os agentes guardam na memória somente a mochila atual e, em nenhum momento, tomam conhecimento de qual é o ótimo ou de qualquer mochila que não seja de algum vizinho seu.

5.2 RESULTADOS

Com base nas descrições da seção anterior, apresentamos, nesta seção, alguns resultados obtidos. Para isso, cada simulação foi realizada com as seguintes características:

- População de 100 indivíduos;
- Mochila inicial dos indivíduos completamente vazia: utilidade total = 0.
- Nível de aspiração individual inicial de 100.
- Busca aleatória por alternativas;
- No máximo 3 tentativas para o *satisficing*. Se não encontrar alternativa satisfatória, fica com a melhor das três, mantendo sua aspiração.
- 50 ciclos de informação.
- Ótimo do problema: 1195.
- Aspiração só se modifica por influência social ou em virtude de obtenção de alguma mochila que a supere;

A FIGURA 2 apresenta um gráfico dos resultados das médias das utilidades obtidas pelos indivíduos em cada ciclo para 1000 simulações com 2 vizinhos passivos por indivíduo. Conforme nossa hipótese, analisando o gráfico, é possível observar a tendência a escolhas ótimas para o problema por parte de toda a população de indivíduos. Em poucos ciclos de informação, já há indivíduos com a escolha ótima. O QUADRO 2 apresenta alguns valores desses gráficos e seus respectivos desvios padrão. É possível observar uma tendência inicial à diversidade de soluções do problema nas etapas iniciais (através do crescimento dos desvios), e uma convergência das soluções nas etapas finais.

Para se ter uma noção da influência dos vizinhos na convergência às escolhas individuais ótimas, a FIGURA 3 traz o comportamento das médias das utilidades de 1000 simulações, comparando diferentes números de vizinhos passivos por indivíduo. Com, possivelmente, muito mais interligações entre os indivíduos, as informações são rapidamente disseminadas. Nesse contexto, nota-se claramente a rápida convergência para as populações com maior número de vizinhos, o que mostra a importância social para a melhora da escolha. Com zero vizinho, os indivíduos operariam basicamente para suprir as suas aspirações que,

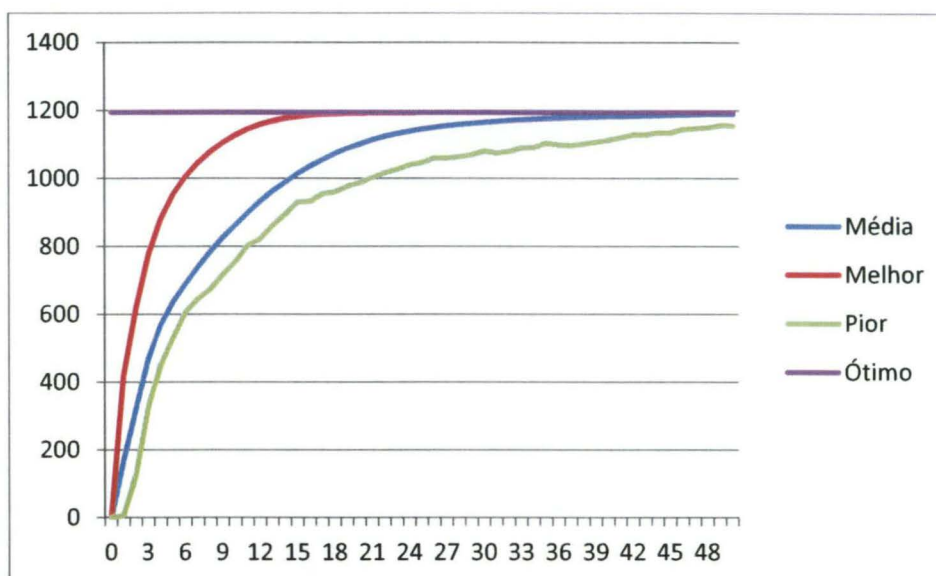


FIGURA 2 — MÉDIAS DAS UTILIDADES EM 1000 EXECUÇÕES PARA O MELHOR, PIOR E MÉDIO DE CADA CICLO: com 2 vizinhos passivos por indivíduo.

Ciclo	Média		Melhor		Pior	
	média	desvio	média	desvio	média	desvio
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	166,98	12,09	416,61	59,04	6,16	18,69
2	321,91	21,14	616,85	59,96	126,75	87,90
3	470,38	25,01	774,86	55,83	330,63	148,00
4	569,32	29,08	878,82	49,78	450,76	196,47
5	637,37	34,12	953,29	45,62	532,45	229,22
10	862,82	42,00	1127,39	28,73	755,32	284,83
15	1013,73	40,15	1182,78	10,72	930,29	236,22
20	1101,56	32,25	1193,30	2,91	987,13	257,84
25	1146,46	23,29	1194,41	1,49	1046,99	199,16
30	1165,14	18,85	1194,57	1,26	1081,53	170,28
40	1183,26	12,38	1194,63	1,19	1112,72	142,73
50	1190,49	8,47	1194,63	1,18	1156,24	96,70

QUADRO 2 — MÉDIAS DAS UTILIDADES OBTIDAS EM 1000 SIMULAÇÕES

nesse caso, não se alteram por estímulos sociais. Dessa forma, sem vizinhos, os indivíduos tomariam suas decisões por si próprios e, no momento em que todos estiverem satisfeitos, não há incentivos à mudança.

Ainda assim, a velocidade de disseminação não deve ser muito alta, pois isso pode causar a diminuição da diversidade necessária para uma busca efetiva do espaço de alternativas nos ciclos iniciais, o que levaria a uma convergência antes do tempo. Tal fato poderia levar a resultados sub-ótimos, uma vez que

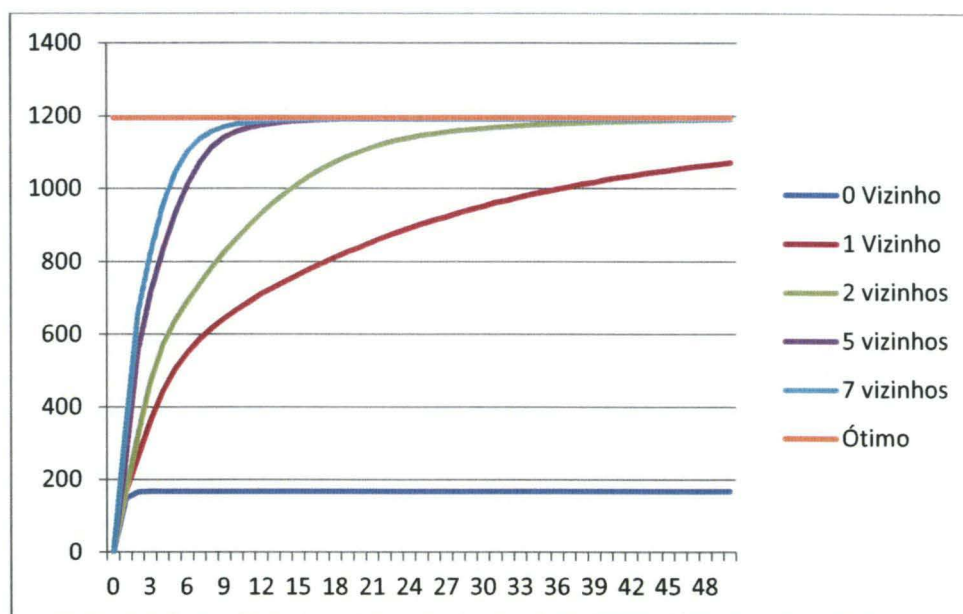


FIGURA 3 — MÉDIAS DAS UTILIDADES OBTIDAS POR CICLO PARA 1000 EXECUÇÕES PARA DIFERENTES NÚMEROS DE VIZINHOS PASSIVOS POR INDIVÍDUO.

parte do espaço de alternativas não seria bem explorado, principalmente quando todos os indivíduos partem de uma mesma situação (mochila vazia, por exemplo) e quando não há incentivos à mudança. Tal incentivo existiria se os níveis de aspiração do indivíduo se adaptassem, ou nos casos em que há uma iniciativa individual repentina por melhores soluções.

O grau de incerteza, nesse modelo, é representado em parte pela informação incompleta que os indivíduos possuem acerca da mochila de outros indivíduos, fazendo com que se consiga imitar apenas parte dessa informação. No entanto, a incerteza do meio também poderia ser simulada, por exemplo, através do recebimento ou entendimento da informação de forma equivocada durante uma conversa. Assim, além de observar só uma parte da informação, o agente poderia entendê-la completamente errado. Evidentemente, quanto maior o grau de imitação equivocada da mochila, mais longe se pode ficar da convergência ao ótimo, pois isso anestesiaria parte do efeito selecionador da comunicação social. Apesar disso, ainda podemos observar a tendência evolutiva na FIGURA 4, que apresenta os resultados de 1000 simulações entre diferentes números de vizinhos, com uma probabilidade de 10% de imitação equivocada (nesse caso, a troca da situação do objeto) durante uma conversa. Nota-se, no entanto, uma convergência mais tardia do que no experimento da FIGURA 3.

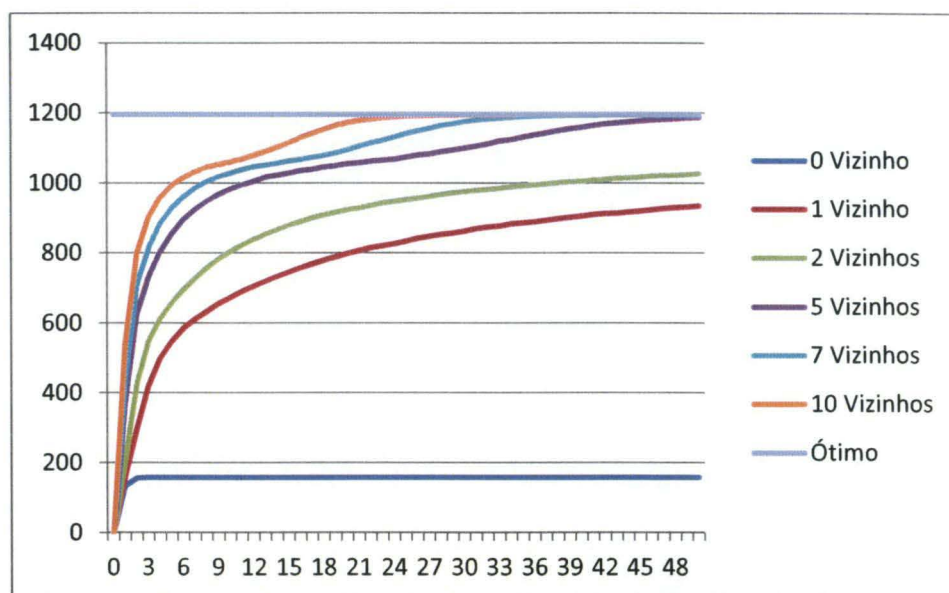


FIGURA 4 — MÉDIAS DAS UTILIDADES OBTIDAS POR CICLO PARA 1000 EXECUÇÕES PARA DIFERENTES NÚMEROS DE VIZINHOS PASSIVOS POR INDIVÍDUO E IMITAÇÃO EQUIVOCADA DE 10%.

Com isso, a partir desses experimentos, demonstramos como, mesmo em indivíduos com racionalidade limitada, a escolha ótima é possível e provável, uma vez que a influência social determina grande parte desta escolha. É evidente que há outras variáveis a se considerar, como a subjetividade das utilidades e preferências, além de situações nas quais há mudanças constantes significativas no ambiente, por exemplo. Poderíamos, ainda, considerar um grau de iniciativa individual por melhores soluções, que partiria da alteração individual da aspiração e poderia trazer novos impulsos de exploração de alternativas nas situações nas quais houve uma convergência social antecipada. Contudo, uma conclusão já podemos tirar desse experimento: quando se considera a decisão em sociedade, é clara a tendência evolutiva existente que aproxima as decisões de ambos os modelos de racionalidade.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise sobre os conceitos de racionalidade relacionados à ciência econômica, com o intuito de evidenciar as semelhanças e diferenças entre os modelos de racionalidade limitada e de maximização de utilidade.

A partir da análise, percebeu-se que o principal empecilho à maximização seria a limitação cognitiva e computacional do indivíduo, que inviabilizaria a realização de todos os cálculos necessários à obtenção da escolha ótima.

No entanto, quando se considera a ação de outros indivíduos influenciando a decisão de um agente, pode-se notar que grande parte dessas limitações inerentes à decisão individual é suprida por informações, ou partes de informações, sociais. Tais informações sociais criam uma dinâmica evolutiva dos processos cognitivos humanos, culminando em uma tendência à escolha ótima. O indivíduo não precisa fazer longas computações e buscas explorando um enorme espaço de alternativas para a obtenção de uma escolha ótima, uma vez que o processo social faz isso por ele.

Logo, quando se discute sobre a validade dos modelos de racionalidade (à parte a importância do *processo de pensamento*), deve-se observar para qual objetivo os modelos se aplicam. Em grande parte dos casos, o processo de racionalidade limitada se torna muito complexo em sua definição, o que inviabiliza o surgimento de modelos econômicos mais gerais, mas que, claramente, não impede que modelos de racionalidade limitada para fins específicos sejam utilizados, com o intuito da obtenção de previsões mais acuradas. Nesse sentido, o conceito da maximização de utilidade é bem mais simples e universal, o que facilita a modelagem econômica em quaisquer dos níveis.

Assim, pode-se dizer que para o problema da modelagem do comportamento econômico dos agentes, o modelo de maximização da utilidade seria uma boa aproximação (um método heurístico) que procuraria facilitar tal resposta e que, embora possa apresentar diferenças do modelo de *satisficing* em situações específicas, tenderia a obter previsões muito próximas, em situações mais consolidadas da sociedade, especialmente quando não há mudanças significativas no ambiente e a informação tem maior fidelidade na cópia.

REFERÊNCIAS

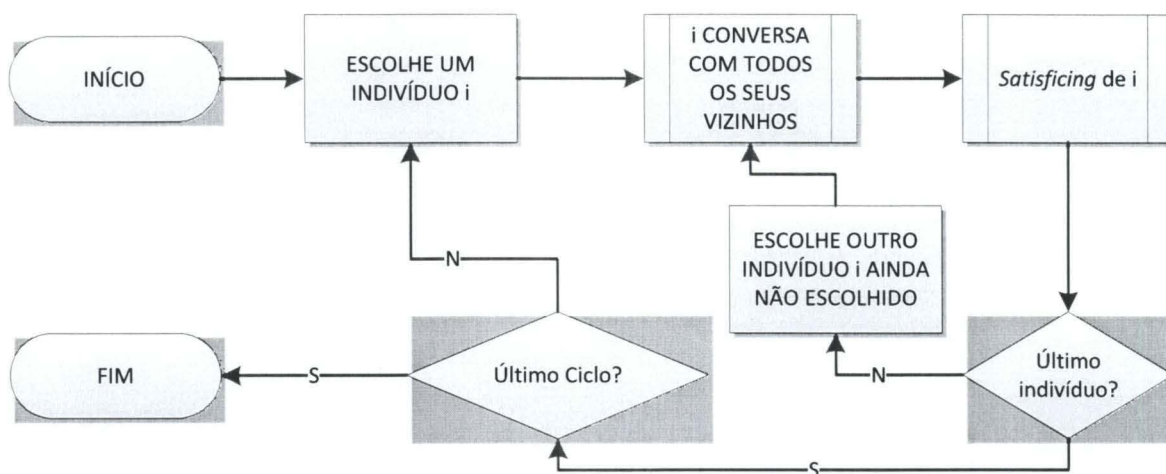
- CALLEBAUT, W. (2007). Herbert Simon's Silent Revolution. *Biological Theory* 2(1), 76-86.
- CAMPELLO, R. E., & MACULAN, N. (1994). *Algoritmos e Heurísticas: Desenvolvimento e avaliação de performance*. Niterói: EDUFF.
- CARMEL, Y., & BEN-HAIM, Y. (2005). Info-gap robust-satisficing model of foraging behavior: Do forager optimize or satisfice? *American Naturalist*, 166, 633-641.
- CONLISK, J. (1996, jun.). Why Bounded Rationality? *Journal of Economic Literature*, pp. 669–700.
- DANTZIG, G. B. (1957). Discrete Variable Extremum Problems. *Operations Research*, 5, 266-277.
- DAWKINS, R. (2007). *O Gene Egoísta*. São Paulo: Companhia das Letras.
- GIGERENZER, G. (1997). Ecological intelligence: An adaptation for frequencies. *Psychologische Beitrage*, 39, 107-125.
- GIGERENZER, G. (2000). *Adaptive Thinking: Rationality in the real world*. Nova Iorque: Oxford University Press.
- GIGERENZER, G. (2004). Striking a blow for sanity in theories of rationality. In M. AUGIER, & J. G. MARCH, *Models of a Man: Essays in Memory of Herbert A. Simon* (pp. 389-409). Cambridge: MA: MIT Press.
- GOLDSTEIN, W. M., & HOGARTH, R. M. (1997). Judgment and decision research: Some historical context. In W. M. GOLDSTEIN, & R. M. HOGARTH, *Research on judgment and decision making*. Nova Iorque: Cambridge University Press.
- HOLLAND, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press.

- KARP, R. M. (1972). "Reducibility Among Combinatorial Problems. In R. J. MILLER, & J. W. THATCHER, *Complexity of Computer Computations* (pp. 88-103). Nova Iorque: Plenum.
- KENNEDY, J., & EBERHART, R. C. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks* (pp. 1492-1498). IEEE Press.
- KOBLITZ, A. (2008). Simon e a Racionalidade Limitada. *Economia e Desenvolvimento*, 7(2).
- KREPS, D. (1998). *Notes on the Theory of Choice*. Boulder, Colo: Westview Press.
- LUCAS, R. E. (1981). Understanding business cycles. In _____, *Studies in Business-Cycle Theory*. Cambridge: MIT Press.
- MUNIER, B. e. (1999). Bounded Rationality Modeling. *Marketing Letters*, 10(3), 233-248.
- PISINGER, D. (1995). *Algorithms for Knapsack Problems. PhD Thesis*. Copenhagen: Department Of Computer Science, Universidade de Copenhagen.
- REAL, L. (1991). Animal choice behavior and the evolution of cognitive architecture. *Science*, 253, 980-986.
- SHAFIR, E., & LEBOEUF, R. A. (2002). Rationality. *Annual Review of Psychology*, 53, 491-517.
- SHETTLWORTH, S. J. (1998). *Cognition, evolution, and behavior*. Nova Iorque: Oxford University Press.
- SIMON, H. (1955, fev.). A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), pp. 99-118.
- SIMON, H. A. (1980). *A racionalidade do processo decisório em empresas* (Vol. 1). Rio de Janeiro: Multiplic.

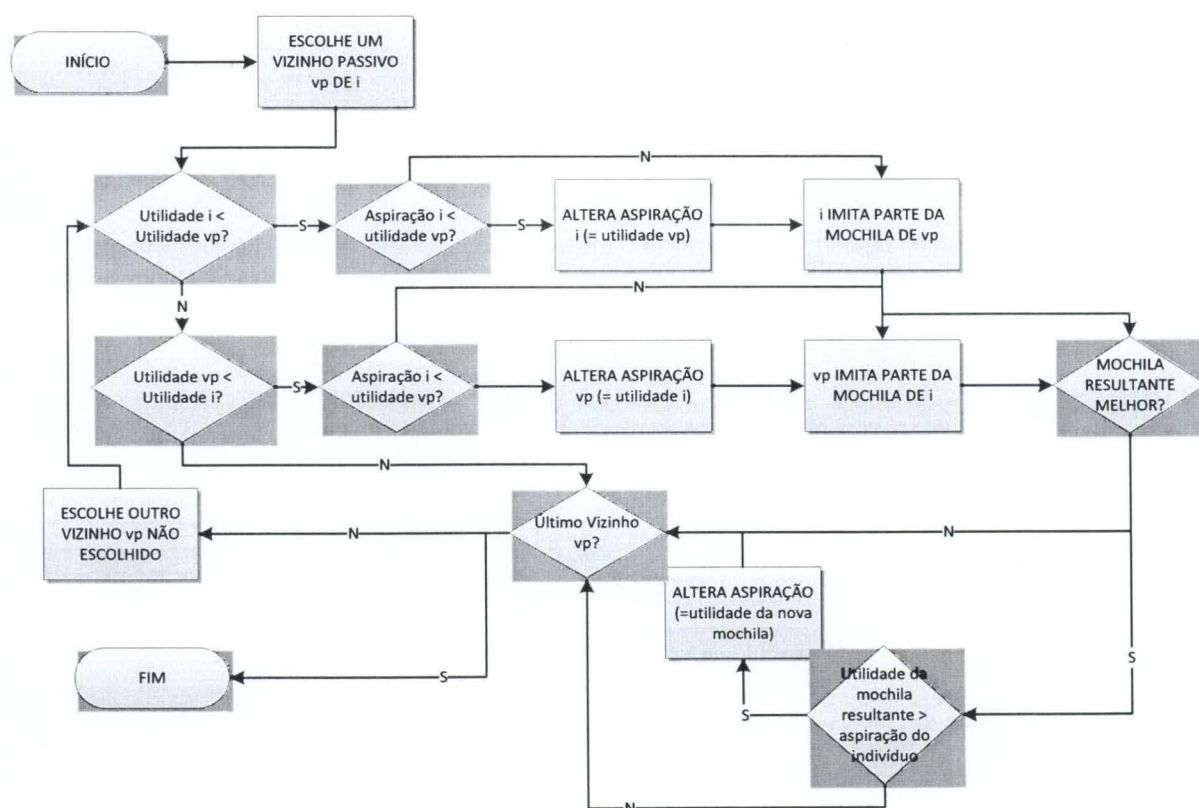
- SIMON, H. A. (1987). Satisficing. In J. e. EATWELL, *The New Palgrave*. Londres: Macmillan.
- SIMON, H. A. (1997). *Models of Bounded Rationality: Empirically Grounded Economic Reason* (Vol. 3). MIT Press.
- SIMON, H. A. (2012). Satisficing. In *The New Palgrave Dictionary of Economics, 2012 Version*. Palgrave Macmillan.
- TVERSKY, A., & THALER, R. (1990). Anomalies: Preference reversals. *Journal of Economic Perspectives*, 4(2), pp. 201-211.
- WEITEN, W. (2010). Cognição e inteligência. In _____, *Introdução à Psicologia. Tradução da 7ª edição norteamericana*. São Paulo: Cengage Learning.
- WINTER, S. J. (1964). Economic "natural selection" and the theory of the firm. *Yale Economic Essays*, 4, 225-272.

APÊNDICE

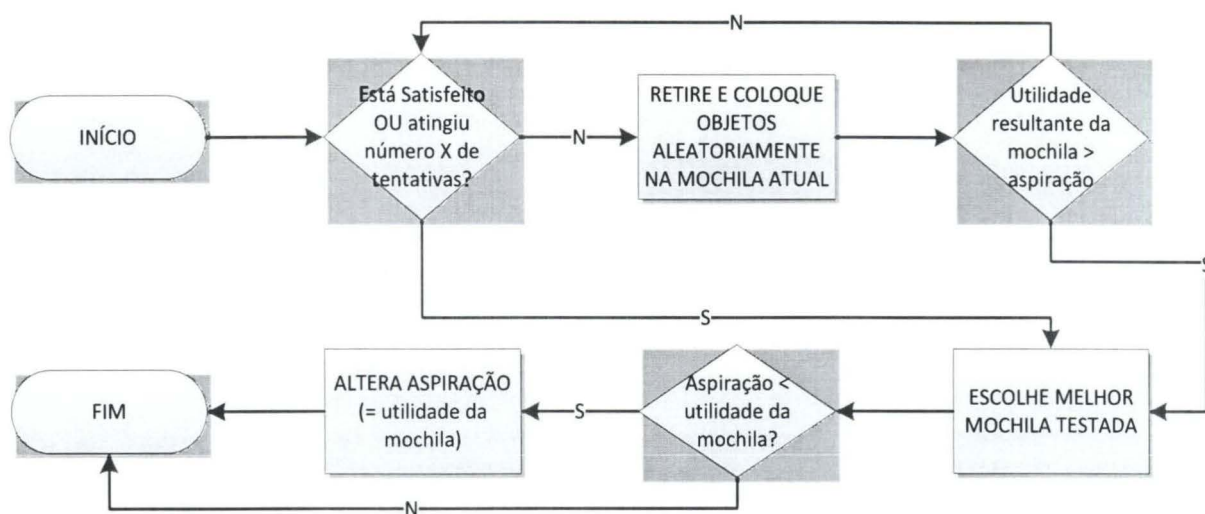
Este apêndice apresenta os fluxogramas relativos aos algoritmos da simulação, apresentados no texto.



FLUXOGRAMA 1 — ALGORITMO DE SIMULAÇÃO



FLUXOGRAMA 2 — ALGORITMO DE UMA CONVERSA DE UM INDIVÍDUO i COM SEUS VIZINHOS PASSIVOS



FLUXOGRAMA 3 — ALGORITMO DE SATISFICING DO AGENTE.