

# APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* EM PROCESSOS DE DECISÃO ECONÔMICA

ALEXANDRE SOUZA<sup>1</sup>

GABRIEL PORCILE<sup>2</sup>

## RESUMO

Na literatura econômica não convencional os aspectos cognitivos dos agentes (como a aceitação da hipótese de racionalidade limitada) e os aspectos institucionais (como as regras-de-polegar, heurísticas e convenções) recebem uma atenção destacada na análise dos processos de decisão econômica. Por sua vez, a lógica *fuzzy*, oferece tratamento formal de informações imprecisas e subjetivas encontradas em processos de tomada de decisão em ambientes de complexidade e incerteza. Neste trabalho procura-se destacar os elementos comuns e convergentes entre a lógica *fuzzy* e a literatura econômica não convencional, a partir da revisão teórica dos principais conceitos da lógica *fuzzy* e da racionalidade do comportamento econômico guiado por regras.

**Palavras-Chaves:** Complexidade; Incerteza; Decisão; *Fuzzy*.

## ABSTRACT

In the nonconventional economic literature decision processes are mainly analyzed on the basis of cognitive aspects (such as the existence of limited rationality) and institutional aspects (such as rules of thumb, institutions and conventions). The fuzzy logic, in turn, offers a form of treating the decision process when agents only have imprecise and subjective information in a context of complexity and uncertainty. This paper discusses the points of convergence and complementarities between the fuzzy logic and the theory of behavior based on limited rationality and rule-guided economic behavior.

**Key-words:** Complexity; Uncertainty; Decision; Fuzzy

**JEL Classification:** B41, C45, D81

Área 1: Metodologia, História e Economia Política

## 1 INTRODUÇÃO

Nas situações práticas comumente deparadas por formuladores e executores de políticas econômicas, o controle de variáveis-chaves da economia, como inflação, desemprego e renda, esbarra em sérias limitações de natureza epistemológica e ontológica, a exemplo da ignorância dos agentes com racionalidade limitada em relação ao futuro, incapazes de relacionar os diversos estados de mundo a valer no futuro assim como avaliar suas respectivas probabilidades, e a complexidade dos sistemas econômicos, contendo uma multiplicidade de variáveis que se relacionam, na maioria das vezes, de maneira intrincada e não-linear. Ante tal quadro de dificuldades, torna-se premente o desenvolvimento de métodos de análise e instrumentos operacionais que auxiliem na efetiva tomada de decisão econômica realizada em condições de complexidade e de incerteza.

---

<sup>1</sup> Departamento de Economia, Banco Central do Brasil, Doutor em Desenvolvimento Econômico pela UFPR. Email: alexandrecgs@gmail.com. As visões expressas neste trabalho são dos autores e não necessariamente do Banco Central do Brasil e seus membros.

<sup>2</sup> Departamento de Economia, UFPR, e pesquisador do CNPq, Brasil. Email: porcile@ufpr.br

Sistemas de controle baseados em lógica *fuzzy* têm tido grande sucesso em aplicações nas áreas de engenharia e de computação. Para sua modelagem não é necessário conhecer as equações dinâmicas do sistema sob controle, mas apenas explicitar apropriadamente os **conhecimentos tácitos característicos do processo de tomada de decisão** realizados pelos controlador humano, que deverão ser formalizados por meio de regras, variáveis e conjuntos *fuzzy*. Aplicações de lógica *fuzzy* em economia, em especial nas áreas de economia computacional e econometria, são adequadas quando é necessário modelar a ação do agente econômico em ambiente de complexidade e de incertezas não probabilísticas, como nas situações de tomada de decisão de investimentos e de formação de expectativas. Apesar do grande potencial de aplicação em economia, ainda é relativamente incipiente seu uso na área (KLIR e FOLGER, 1988; MCNEILL e FREIBERGER, 1993; SHAW e SIMÕES, 1999; ZADEH, 1965; KLIR e YUAN, 1995; KENDRICK, 2006).

O objetivo deste trabalho é discutir a **viabilidade de uso da lógica fuzzy em processos de tomada de decisão econômica realizados em ambientes de complexidade e incerteza**. Nessa primeira aproximação, procurou-se destacar **elementos comuns e convergentes** entre a lógica *fuzzy* e a literatura econômica não convencional, a partir da revisão teórica dos principais conceitos que norteiam a lógica *fuzzy* e a racionalidade do comportamento econômico guiado por regras. Está organizado da seguinte forma. No item 2, após essa introdução, apresentam-se os principais conceitos e elementos constituintes da lógica *fuzzy*. No item 3 discorre-se sobre os argumentos considerados pela literatura econômica não convencional que apontam para o papel do comportamento econômico guiado por regras. São discutidos os possíveis vínculos de complementaridade entre lógica *fuzzy* e racionalidade limitada. No item 4, o potencial de aplicação da lógica *fuzzy* em economia é examinado mais em detalhes. Por fim, apresentam-se os comentários finais.

## 2 O ARCABOUÇO FUZZY

O arcabouço *fuzzy*<sup>3</sup> é uma das técnicas da denominada *soft computing*, também conhecida como Inteligência Computacional, um novo paradigma da computação e tratamento de informações que inclui, além da lógica *fuzzy*, redes neurais, algoritmos genéticos e sistemas híbridos (p.ex., neuro-*fuzzy*, *fuzzy*-genéticos). Estas ferramentas aplicam em computação alguns aspectos de cognição humana e de sistemas biológicos, como raciocínio aproximado, capacidade de aprendizagem e processos evolucionários. Diferentemente da computação tradicional (*hard computing*), o *soft computing* permite o tratamento de informação imprecisa, incerteza e verdades parciais encontrados no mundo real, permitindo soluções robustas e de baixo custo computacional (KLIR e YUAN, 1995; PEDRYCS e GOMIDE, 1998; DELGADO, 2002; MATLAB, 2007).

O marco inicial do arcabouço *fuzzy* se deu com a publicação do artigo de Lofti Zadeh sobre conjuntos *fuzzy* em 1965 – *Fuzzy Sets* – e decorreu da insatisfação em relação aos métodos convencionais de controle em engenharia (p.ex., Teoria de Sistemas e Teoria de Controle Moderno) no tratamento formal da complexidade e da incerteza. O termo *fuzzy*<sup>4</sup>, cuja tradução literal é nebuloso, indica o raciocínio aproximado do ser humano ante a necessidade de tomar decisões em sistemas complexos e de modelar informações dispostas de maneira vaga, imprecisa e ambígua. Tais características cognitivas são explicitadas na **linguagem humana** como, por exemplo, nas expressões “o inverno será rigoroso” e “o nível de emprego está alto”<sup>5</sup> (ZADEH, 1965; KLIR e YUAN, 1995).

Apesar do grande avanço tecnológico observado nos últimos tempos, muitos processos industriais e organizacionais são ainda controlados manualmente por um profissional experiente, como operadores de processos industriais ou executivos de bancos de investimento. Nesses casos, simples

---

<sup>3</sup> Constitui-se de ramos articulados entre si (como, por exemplo, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, a Lógica *Fuzzy*, a Medida *Fuzzy*, o Controle *Fuzzy*) cada qual se dedicando a propósitos distintos. Sem perda de generalidade, costuma-se ser denominado de Lógica *Fuzzy*.

<sup>4</sup> A nebulosidade aqui colocada, vale frisar, não se trata da imprecisão dos métodos matemáticos utilizados, mas apenas realça a forma como os seres humanos percebem sistemas complexos.

<sup>5</sup> Observar que os termos rigoroso e alto que qualificam, respectivamente, inverno e nível de empregos são suficientes para algumas tomadas de decisão. Por exemplo, para adquirir um novo cobertor e para solicitar aumento de salário.

“regras-de-polegar”<sup>6</sup> são consideradas em suas atividades rotineiras. Diversas limitações de natureza cognitiva, ambiental e temporal o impedem de obter a solução ótima mediante uso de técnicas e ferramentas convencionais. Na concepção de sistemas *fuzzy* é necessário, primeiramente, **conhecer as melhores estratégias consideradas pelo efetivo tomador de decisão**. O passo seguinte é **transformar este conhecimento apropriadamente em um sistema *fuzzy***, cujos elementos básicos são variáveis lingüísticas, regras *fuzzy* e métodos de inferência, apresentados sumariamente na seção seguinte.

## 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

### 2.1.1 Conjuntos *fuzzy*

De maneira formal, conjuntos *fuzzy* são subconjuntos de um conjunto clássico (doravante, *crisp*)  $X$ , o universo do discurso ou conjunto universo. Diferentemente dos conjuntos *crisp*, conjuntos *fuzzy* têm fronteiras intencionalmente mal definidas, possibilitando que um objeto  $x$  possa ser alocado com grau de pertencimento variando no intervalo de 0 (completamente não pertencendo ao sub-conjunto) a 1 (total pertencimento), sendo portanto possível alocá-lo com grau de pertencimento intermediário, como 0,8 (grau alto de pertencimento) e 0,2 (baixo grau de pertencimento). Por sua vez, conjuntos *crisp* têm fronteiras bem definidas e o grau de pertencimento podem assumir apenas dois valores, 0 ou 1, sem nenhuma exceção (ZADEH, 1965; KLIR e FOLGER, 1988). As diferenças entre conjuntos *crisp* e *fuzzy* são facilmente detectadas fazendo uso do diagrama Venn (Figura 1):

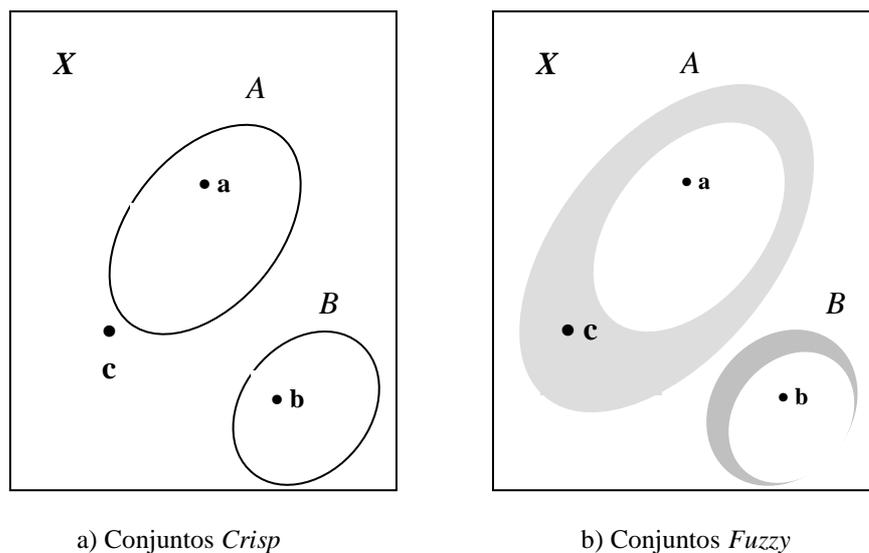


FIGURA 1 - DIAGRAMA DE VENN – CONJUNTOS CRISP VERSUS CONJUNTOS FUZZY Fonte: Nagamine (2001)

Os (sub) conjuntos *crisp* e *fuzzy*  $A$  e  $B$  estão inseridos no mesmo conjunto universo  $X$ . Os elementos  $a$  e  $b$  são membros dos conjuntos clássicos e *fuzzy*  $A$  e  $B$ , respectivamente. O elemento  $c$ , por outro lado, é membro apenas do subconjunto *fuzzy*  $A$ , em grau menor que 1, representado no diagrama pela área acinzentada. No entanto, para representação gráfica dos conjuntos *fuzzy* funções de pertencimento são mais comuns do que diagrama de Venn. A idéia é definir em um plano cartesiano a função de pertencimento de cada conjunto *fuzzy*. Nesse plano, o eixo das abscissas é associado ao conjunto universo e no eixo das ordenadas é associado à função de pertencimento, geralmente normalizada no intervalo entre 0 e 1, conforme ao Gráfico 1:

<sup>6</sup> Tradução de *rules-of-thumb*. Também traduzido por “regras-de-dedo” ou “regras-de-bolso”.

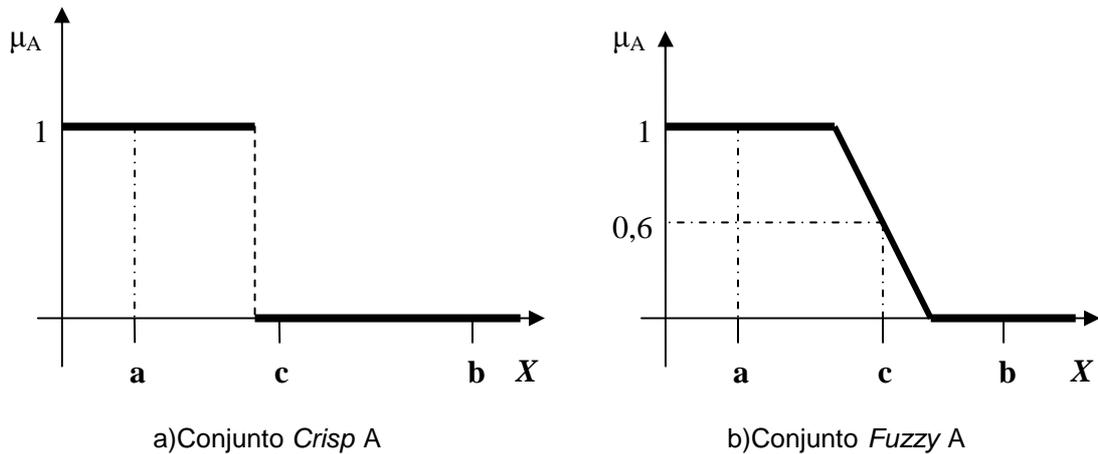


GRÁFICO 1 - FUNÇÃO DE PERTENCIMENTO CONJUNTOS *CRISP VERSUS FUZZY*

Fonte: elaboração do autor

No caso do conjunto *crisp* (Gráfico 1.a) a função de pertinência assume apenas 0 e 1: só o objeto **a** de **X** pertence ao subconjunto **A** pois  $\mu_A(a) = 1$  e  $\mu_A(b) = \mu_A(c) = 0$ . O conjunto *fuzzy* generaliza a idéia dos conjuntos *crisp* definindo um intervalo  $[0,1]$  e não apenas o par  $(0, 1)$  que pode assumir a função de pertinência. No caso específico, conforme o Gráfico 1.b, só os objetos **a** e **c** são membros do conjunto *fuzzy* **A** já que  $\mu_A(a) = 1$ ,  $\mu_A(c) = 0,6$  e  $\mu_A(b) = 0$ .

Uma outra maneira de compreender as diferenças entre os conjuntos *crisp* e *fuzzy* é explicitando suas formas funcionais. Um conjunto *crisp* pertencente a **X** é definido na teoria clássica de conjuntos por meio de uma relação dicotômica: no caso da pertinência do elemento **x**,  $x \in A$ , temos que  $\mu_A = 1$ ; caso o elemento **x** não pertença ao conjunto **A**,  $x \notin A$ , temos  $\mu_A = 0$ , conforme segue:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Por sua vez, um conjunto *fuzzy* **A** em um universo de discurso **X** é definido pela função de pertinência  $\mu_A$ , que mapeia todos os objetos de **A**. Portanto,

$$\mu_A : X \longrightarrow [0,1]$$

A função  $\mu_A$  mapeia valores entre 0 e 1 em que graus próximos a 0 é entendido como baixa compatibilidade entre o objeto e o subconjunto **A** e graus próximos a 1, um alto nível de compatibilidade:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \text{ é totalmente compatível com } A \\ 0 & \text{se } x \text{ é totalmente incompatível com } A \\ 0 < p < 1 & \text{se } x \text{ é parcialmente compatível com } A, \text{ com grau } p. \end{cases}$$

A representação formal do subconjunto **A** do universo de discurso **X** é:

$$A = \{(x, \mu_A) \mid x \in X\}$$

As funções de pertinência  $\mu_A$  mais comumente aplicadas em sistemas *fuzzy* são a triangular, a trapezoidal, a gaussiana e conjunto unitário (*singleton*). A função triangular, por exemplo, é definida por três parâmetros  $(a, m, b)$ ,  $a \leq m \leq b$ :

$$\mu_A = \begin{cases} 0 & \dots \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \dots \text{se } x \in (a, m] \\ \frac{b-x}{b-m} & \dots \text{se } x \in (m, b) \\ 0 & \dots \text{se } x > b \end{cases}$$

A função *singleton* necessita apenas de um parâmetro (m) na versão normalizada:

$$\mu_A = \begin{cases} 1 & \dots \text{se } x = m \\ 0 & \dots \text{outros casos} \end{cases}$$

No Gráfico 2 são apresentados graficamente as funções de pertencimento:

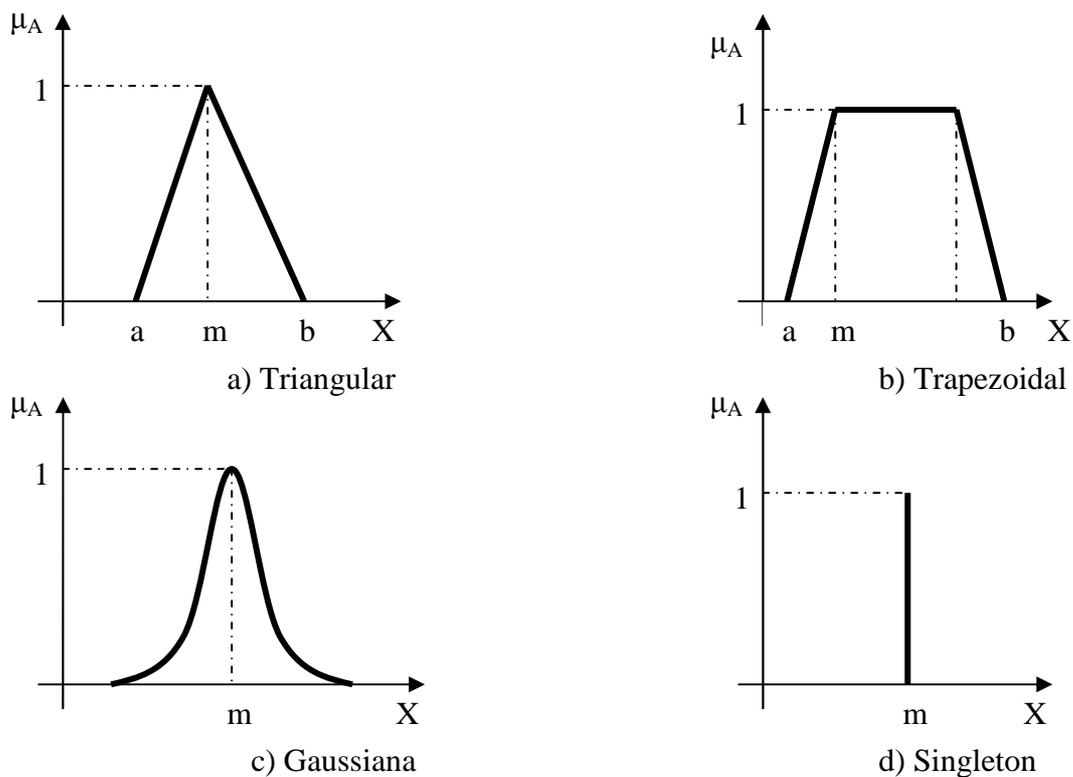


GRÁFICO 2 – FUNÇÕES DE PERTENCIMENTO MAIS USADAS

Fonte: elaboração do autor

A representação gráfica de um subconjunto *fuzzy* “o número real próximo a cinco”, usando funções triangular e gaussiana é apresentada no Gráfico 3.

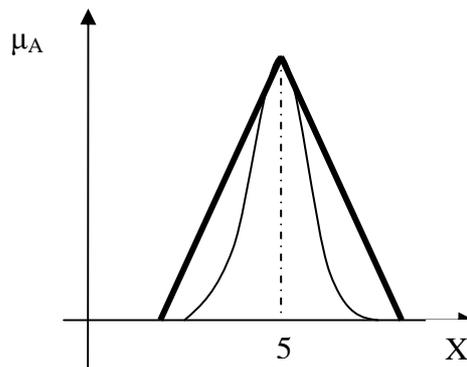


GRÁFICO 2 - SUBCONJUNTO *FUZZY* : “NÚMERO REAL PRÓXIMO A 5”

Fonte: Elaboração do autor

Variável lingüística é um conceito central nas aplicações mais elaboradas de sistemas *fuzzy*. Sendo uma variável cujos valores são palavras ou sentenças, permite o processamento simbólico de informações representadas por termos mal-definidos, imprecisos (PEDRYCS e GOMIDE, 1998). A esse respeito, o guia do usuário do *software* Matlab (2007) esclarece que “*In effect, much of FL [Fuzzy Logic] may be viewed as a methodology for computing with words rather than numbers. Although words are inherently less precise than numbers, their use is closer to human intuition. Furthermore, computing with words exploits the tolerance for imprecision and thereby lowers the cost of solution*”

Formalmente, variável lingüística é um conceito definido por Zadeh (1975) sendo caracterizada pelo quintuplo de parâmetros  $(x, T(x), U, G, m)$ , em que:

- $x$  é o nome da variável;
- $T(x)$  é o conjunto de nomes dos valores lingüísticos, i.e., termos lingüísticos;
- $U$  é o universo do discurso;
- $G$  é a gramática para gerar os nomes de  $X$ ;
- $m$  é a regra semântica que associa cada termo lingüístico com seu significado em  $X$ .

Por exemplo, definindo-se desemprego como uma variável lingüística, o conjunto dos termos lingüísticos poderia ser  $T(x) = \{\text{baixo, moderadamente baixo, normal, moderadamente alto, alto}\}$ . Cada termo de  $T(x)$  deve estar convenientemente representado no universo do discurso  $X$  por um conjunto *fuzzy*. Consideramos no exemplo o universo do discurso  $X = [0, 25\%]$  e conjuntos *fuzzy* representados por funções triangulares, conforme a Figura 2 :

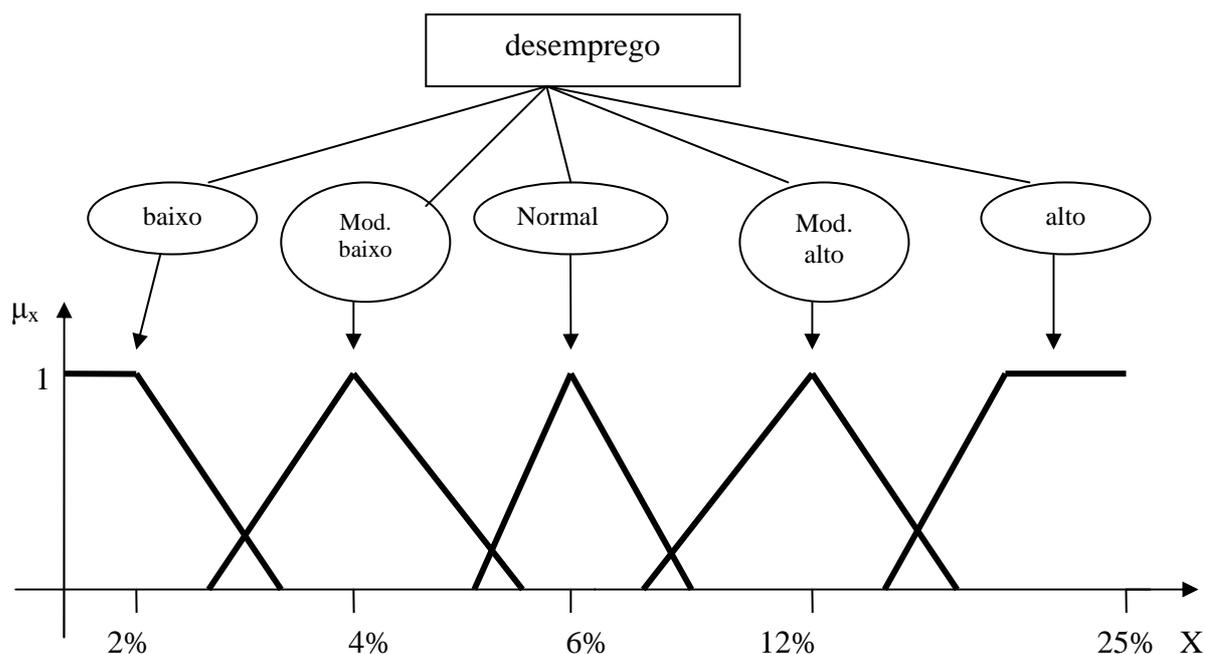


FIGURA 2 – VARIÁVEL LINGUÍSTICA DESEMPREGO

Fonte: Elaboração dos autores

### 2.1.2 Lógica, regras e inferência *fuzzy*

O conceito de conjuntos *fuzzy* está intrinsecamente relacionado com o de lógica *fuzzy*. A concepção da lógica *fuzzy* parte de uma percepção do mundo multivalorada, em graus. Distingue-se frontalmente aos pressupostos lógicos aristotélicos (ditos clássicos), de base dual, bivalorada (verdadeiro/falso; branco/preto; 0/1). A lógica tradicional considera duas regras básicas de inferência, *Modus Ponens* e *Modus Tollens*. A inferência *Modus Ponens* é a mais comum nas aplicações práticas e é associado à implicação “A implica B” ( $A \Rightarrow B$ ), A e B são conjuntos *crisp* (KLIR e FOLGER, 1988; MENDEL, 1995). Mais detalhadamente:

Premissa 1:  $x \in A$   
 Premissa 2 : Se  $x \in A$  Então  $y \in B$   
 Conseqüente:  $y \in B$

A lógica *fuzzy* usa a mesma estrutura da lógica tradicional, com proposições Se-Então, apenas considerando A e B como conjuntos *fuzzy*. A inferência *Modus Ponens* é estendida para o *Modus Ponens* Generalizado, na forma abaixo:

Premissa 1:  $x \in A^*$   
 Premissa 2 : Se  $x \in A$  Então  $y \in B$   
 Conseqüente:  $y \in B^*$

Como observado por Mendel (1985, p.359), há uma sutil diferença entre o *Modus Ponens* e o *Modus Ponens* Generalizado. Neste último, os conjuntos *fuzzy*  $A^*$  e  $B^*$  não necessariamente são os mesmos dos conjuntos *fuzzy* A e B considerados na premissa 2. Tal característica possibilita realização

de inferências lógicas aproximadas, comuns em aplicações práticas em que as informações são imperfeitas ( $A^*$  e  $B^*$ ) e a relação causa-efeito é conhecida (Premissa 2).

Regras são uma forma de proposição lógica, consistindo em uma coleção de expressões Se-Então:

$$R^l : \text{Se } u_1 \text{ é } F_1^l \text{ e } u_2 \text{ é } F_2^l \text{ e } \dots u_p \text{ é } F_p^l \text{ ENTÃO } v \text{ é } G^l$$

Em que:  $l = 1, 2, \dots, M$ ; F e G são conjuntos *fuzzy*,  $u$  e  $v$  são variáveis linguísticas. Segue um exemplo apresentado por Shepherd e Shi (2006, p.419):

**Se** desemprego é relativamente baixo **Então** salário real é relativamente alto  
**Se** desemprego é relativamente alto **Então** salário real é relativamente baixo  
**Se** desemprego é moderado **Então** salário real é normal

Em que: relativamente baixo, relativamente alto, moderado e normal são termos linguísticos das variáveis linguísticas *fuzzy* desemprego e salário real. Nas aplicações práticas, as regras são obtidas com especialistas (mediante entrevista, por exemplo) ou extraídas diretamente dos dados numéricos em algoritmos apropriados.

### 2.1.3 Sistemas *fuzzy*

Sistemas *fuzzy* são um potente mecanismo de mapeamento não-linear de dados de entrada *crisp* em dados de saída, também *crisp*. Formalmente, este mapeamento é expresso como  $y = f(x)$ , em que  $f(.)$  é a função de transferência, geralmente não-linear e objeto de estimativa usando o aparato *fuzzy*. Segue sua representação gráfica:

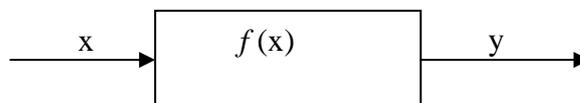


FIGURA 3 – SISTEMAS FUZZY - MAPEAMENTO

Fonte: Elaboração do autor

O sistema *fuzzy* é composto por quatro elementos fundamentais, conforme disposição na Figura 4: um conjunto de regras, um *fuzzificador*, um processador de inferência e um *defuzzificador*. As regras são definidas na lógica “Se ..então” e aplicadas em variáveis linguísticas a partir do conhecimento tácito do controlador (obtido de um especialista do sistema sob controle). O *fuzzificador* transforma dados observados e ativa as regras definidas em variáveis *fuzzy*. O módulo inferência combina e articula o conjunto de regras estabelecida. O *defuzzificador*, por fim, transforma e mapeia conjuntos *fuzzy* em conjuntos *crisp*, resultando na ação efetiva de controle (MENDEL, 1995).

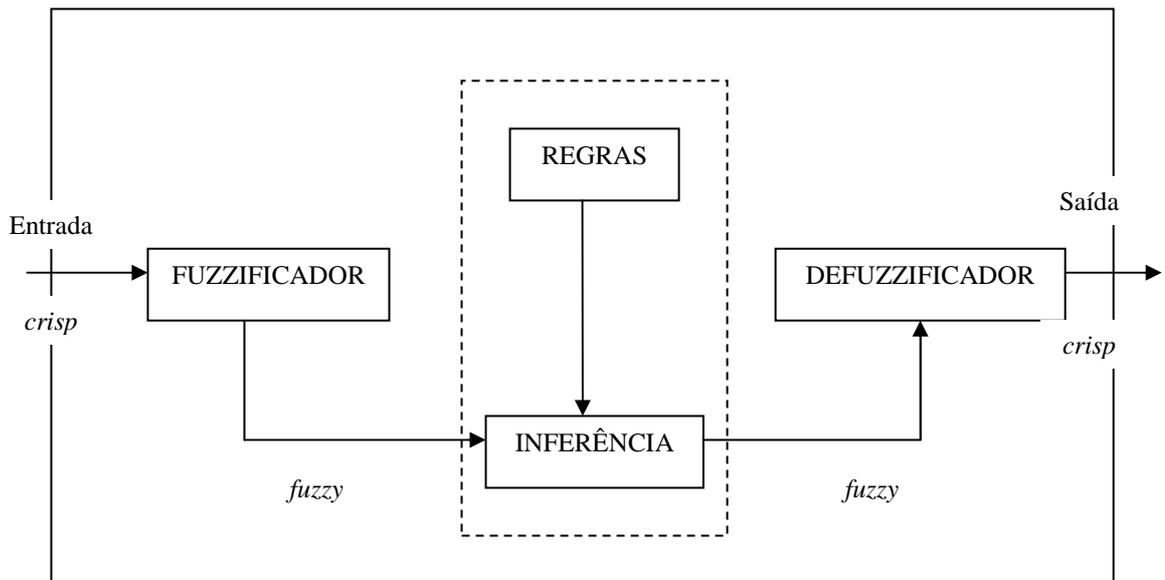


FIGURA 4 – SISTEMA FUZZY - ELEMENTOS

Fonte: Mendel (1995)

Os métodos convencionais de controle são utilizados em aplicações de engenharia, tanto para sistemas lineares (mais comuns), quanto não-lineares. É necessário um detalhado conjunto de equações dinâmicas matemáticas que modelam o sistema a ser controlado (OGATA, 2006). Diferentemente, no controle *fuzzy* é explorada a capacidade cognitiva do ser humano em controlar sistemas complexos (MACNEILL e FREIGBERGEGER, 1994). SHAW e SIMÕES (1999,9) ilustram a diferença de enfoque entre os métodos de controle convencional e o controle *fuzzy* usando o esquema da Figura 5:

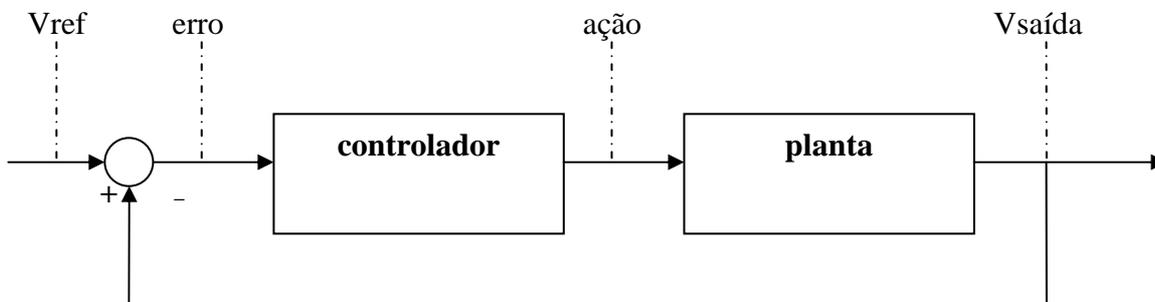


FIGURA 5 – SISTEMA DE CONTROLE FUZZY

Fonte: Shaw e Simões (1999)

Na dinâmica de um servomecanismo, imposto um valor de referência ao sistema, o controlador humano agiria sobre a planta desconhecida em função do erro entre o sinal de saída e o sinal de referência. No sistema de controle convencional o que é modelado é a planta (o objeto ou o processo a ser controlado) por meio de um conjunto de equações dinâmicas; o controlador agiria automaticamente alterando os parâmetros para garantir eficácia no controle. No controle *fuzzy*, por sua vez **o foco de modelagem passa a ser o controlador, o operador humano**, a partir da observação de seu comportamento e de suas tomadas de decisão diante às diversas circunstâncias factuais deparadas, criando regras heurísticas representativas.

## 2.2 COMPLEXIDADE E INCERTEZA NO ARCABOUÇO FUZZY

O grande potencial de uso da abordagem *fuzzy* resulta de sua capacidade em formalizar incertezas e complexidades inerentes do mundo real. Esta capacidade é obtida a partir de um estruturado arcabouço matemático e de um critério de escolha da melhor combinação de incerteza e complexidade desejada para o modelo. Segundo Klir e Folger (1988, p.2) a estratégia é simplificar a complexidade “...by making a satisfactory trade-off or compromise between the information available to us and the amount of uncertainty we allow”. Esta idéia é conhecida como **Princípio da Incompatibilidade de Zadeh** (1973, *apud* Mendel, 1995), que estabelece que “As the complexity of a system increases, our ability to make precise and yet significance (or relevance) become almost mutually exclusive characteristics”. Zadeh (1975, p.201) melhor esclareceu este importante princípio: *This principle [incompatibility] asserts that high precision is incompatible with high complexity. Stated somewhat more concretely, the complexity of a system and the precision with which it can be analyzed bear a roughly inverse relation to one another.* “

A Gráfico 4 procura representar graficamente este princípio: no ponto **A**, a complexidade do sistema é baixa e a precisão é alta. No ponto **B**, devido a alta complexidade, o sistema só pode ser analisado com baixa precisão.

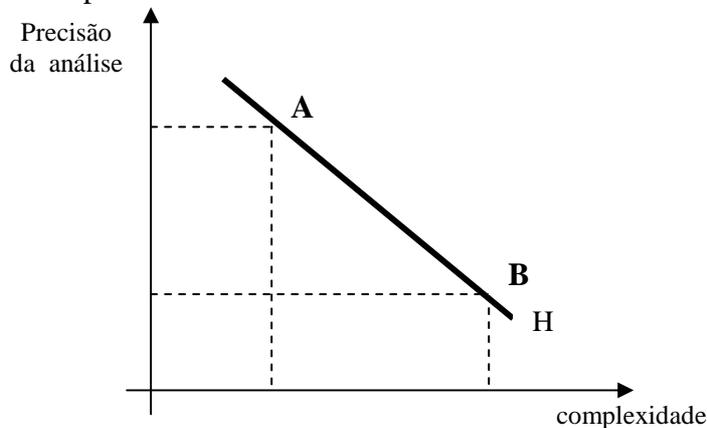


GRÁFICO 3 – PRINCÍPIO DA INCOMPATIBILIDADE DE ZADEH

Fonte: elaboração dos autores, a partir das idéias de Zadeh (1973)

Regra geral, pelo Princípio da Incompatibilidade de Zadeh (1973), à medida que a complexidade do sistema aumenta, a precisão de análise diminui, para mesmo instrumento de análise. Variando-se os instrumentos é possível alcançar níveis de complexidade maiores, para mesma precisão. No caso dos modelos *fuzzy*, é possível alcançar maiores níveis de complexidade do que outras técnicas convencionais pois imprecisões são apropriadamente consideradas, replicando com a máxima fidedignidade possível a situação real conduzida por operadores humanos, capazes de tomar decisões cruciais e rápidas em ambientes de complexidade fazendo uso de processamento e de raciocínio de linguagem vaga e imprecisa. Segundo Lin e Lee (1996, *apud* Delgado, 2002) sistemas *fuzzy* são indicados quando, entre outras situações:

- Impossibilidade de codificação matemática em modelos;
- Codificação matemática é tão complexa que é extremamente difícil fazer avaliação em tempo real ou demandar recursos computacionais em grande escala;
- O processo é desenvolvido por um operador humano especialista que está preparado para especificar apropriadamente os parâmetros do sistema *fuzzy*, como base de dados de regras e parâmetros de função pertencimento.

Portanto, é plausível estender a Gráfico 5 distinguindo ferramentas, técnicas e métodos em função da complexidade do ambiente.

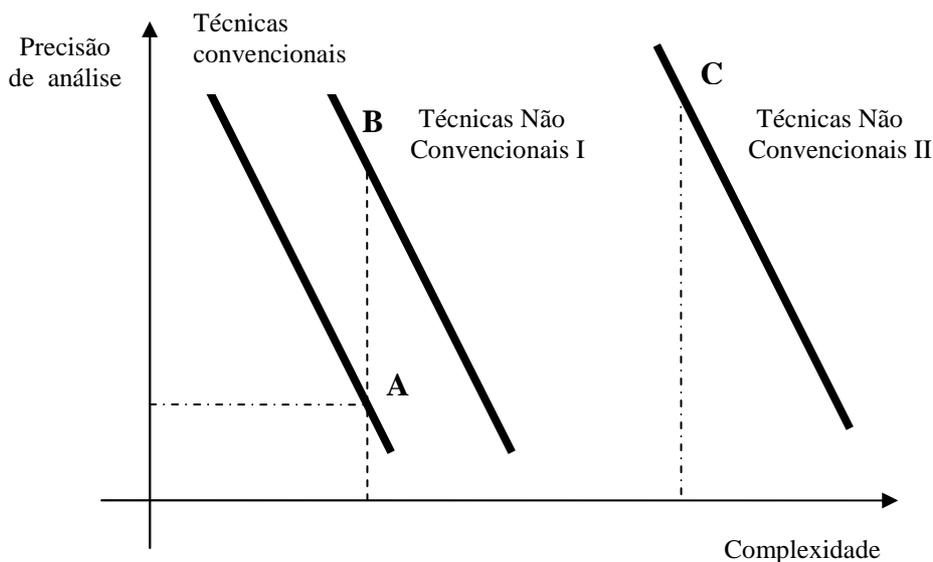


GRÁFICO 5 – PRECISÃO *VERSUS* COMPLEXIDADE

Fonte: elaboração dos autores, a partir das idéias de Zadeh (1973)

Técnicas convencionais, como otimização, análise de sistemas lineares e teoria de controle moderno, só são eficientes em termos de precisão em ambientes e sistemas de baixa complexidade. Ao contrário, técnicas não-convencionais, como lógica *fuzzy* e redes neurais, são mais adequadas. Por exemplo, a níveis elevados de complexidade (ponto A), técnicas convencionais resultam em baixa precisão ao contrário das técnicas não-convencionais (**ponto B**). Estas permitem elevada precisão mesmo e ambiente altamente complexo (ponto C).

### 3 COMPORTAMENTO BASEADO EM REGRAS

Como visto, no desenvolvimento de sistemas *fuzzy* é necessário a descrição detalhada das heurísticas e regras-de-polegar efetivamente consideradas pelo tomador de decisão. Diversas abordagens econômicas têm oferecido explicações acerca do processo de escolha do homem econômico. A abordagem tradicional da economia (neoclássica) assume um comportamento de alta racionalidade, com capacidade cognitiva e computacional para processar todas as informações importantes, incluindo os estados futuros do mundo e suas respectivas distribuições de probabilidade. Por outro lado, as teorias heterodoxas se inspiram na realidade para explicar o comportamento do homem econômico, incluindo na análise os limites à racionalidade dos agentes, e a complexidade e incerteza do ambiente econômico. Nessa seção apresentam-se alguns aspectos chaves do pensamento heterodoxo, ressaltando a similaridade entre a idéia de um comportamento econômico baseado em regras e as utilizadas nos modelos de sistemas *fuzzy*. Primeiramente se revisitam as idéias de Simon, continuando com as idéias institucionalistas e evolucionistas e concluindo com os pós-keynesianos, explorando em todos os casos os seus vínculos com a lógica *fuzzy*.

#### 3.1 A VISÃO DE SIMON

Herbert Simon desenvolveu uma abordagem original sobre racionalidade e comportamento humano. Para entender seu trabalho, deve-se ter em mente sua crítica à teoria econômica convencional, principalmente no que se refere à hipótese de maximização. Na visão de Simon o comportamento maximizador do agente econômico é implausível, principalmente pela existência de limites cognitivos humanos, o que impede a análise precisa de todos os possíveis cursos de ação na tomada de decisão.

Existem duas visões principais acerca da racionalidade do “homem econômico”: racionalidade substantiva, aplicada pela teoria econômica tradicional; racionalidade limitada ou procedimental, desenvolvida por Herbert Simon (SIMON, 1955). O conceito de comportamento racional parte de algumas suposições acerca de disponibilidade de informações, capacidade de cálculo, preferências e incerteza. O homem com racionalidade substantiva age como se a disponibilidade de informação fosse completa, incluindo todas as alternativas e suas respectivas probabilidades. Também se assume que a sua capacidade cognitiva lhe permite valorar essas alternativas segundo uma ordem bem definida de preferências.

De acordo com Sen (1994, p. 68), um dos motivos implícitos por detrás da hipótese de racionalidade substantiva é de ordem prescritiva, já que o interesse é “investigar como alguém agiria racionalmente em determinada situação”. Racionalidade limitada, por outro lado, tem uma evidente motivação descritiva e positiva. Na visão de Simon o comportamento real do “homem econômico”, diferentemente do que pressupõe a abordagem neoclássica, não maximiza nada. O melhor que ele pode fazer é postular um critério de “satisfazimento”<sup>7</sup>, de acordo com suas limitações cognitivas e computacionais.

Nas aplicações ao mundo real, técnicas de otimização geralmente requerem esforços computacionais de elevado custo. Diferentemente de casos de livros texto, a complexidade de um mundo com milhares de variáveis e relações não-lineares torna as coisas sumamente difíceis para a mente humana e mesmo para as capacidades de um computador. O conceito de “satisfazimento” é aplicado em situações em que otimizar é impossível ou muito oneroso, o que obriga a procurar uma solução satisfatória, sem que seja necessariamente ótima<sup>8</sup> (SIMON, 1991; EARL, 1994; SEN, 1991).

Ao lado dessas importantes contribuições acerca do comportamento real frente a escolhas, Herbert Simon fez ainda importantes contribuições na ciência da computação, principalmente na área da inteligência artificial, sendo um dos pioneiros dessa disciplina, incluindo sua aplicação em economia. Muitas técnicas computacionais comumente aplicadas atualmente em economia e em outras disciplinas estão em linha com os *insights* iniciais de Simon, a exemplo do processamento simbólico e inteligência computacional. Com o objetivo de simular em um computador o pensamento e o raciocínio humano Simon desenvolveu os conceitos de “satisfazimento” e racionalidade limitada, já apresentados (SIMON, 1978; CHEN, 2005). Primeiramente, ele procurou realçar a importância de uma questão eminentemente procedimental, “como decidir”, em detrimento da questão do tipo “quais decisões são tomadas”. Em seguida, Simon apresentou ferramentas de outras áreas que poderiam ser úteis em economia, como pesquisa operacional, inteligência artificial, complexidade computacional e simulação cognitiva. Simon (1978, p.494) argumentou que “a economia não é a única área da ciência preocupada com a racionalidade de os procedimentos; pelo contrário, esse tema tem estado no centro das atenções de outras disciplinas”. Ou seja, quando a questão é “como decidir”, pontes com outras áreas de conhecimento são plausíveis e promissoras, a exemplo de pesquisa operacional, a inteligência artificial<sup>9</sup>, a sociologia e a psicologia.

Uma importante diferença entre a maneira humana de resolução de problemas e o computador é que a mente humana tem, por um lado, uma enorme dificuldade em processar uma grande quantidade de aritmética simples, e por outro lado segue “um processo de busca altamente seletivo, usando critérios complexos de seleção”. Esta importante característica dos seres humanos – buscadores altamente seletivos – será explorada exaustivamente em sistemas *fuzzy*, onde o foco é entender as heurísticas e os procedimentos efetivamente usados pelo tomador de decisão. A propósito, Simon (1991, p. 267) listou diversas situações de tomada de decisão em que a limitação cognitiva tem um

---

<sup>7</sup> *Satisficing*

<sup>8</sup> Para ilustrar seu algoritmo de “satisfazimento” Simon (1987, p.244) criou a metáfora da “busca de uma agulha em um palheiro”. Nessa metáfora existem agulhas de variados graus de agudeza no interior de um palheiro, de acordo com uma dada distribuição de probabilidade. Não é necessário procurar por todo o palheiro para descobrir uma agulha suficientemente pontiaguda. A real dificuldade é encontrar **a agulha mais pontiaguda dentre todas as agulhas**, quando seria necessário um o algoritmo de otimização extremamente complexo, que de fato dificilmente estaria ao alcance do agente (HODGSON, 1997).

<sup>9</sup> Inteligência Artificial é uma disciplina da ciência da computação que objetiva resolver problemas complexos imitando “tão aproximadamente quanto possível a forma em que os humanos lidam com as mesmas tarefas” (SIMON, 1978, p.497).

papel central na valoração de alternativas como aquelas que “são adotadas principalmente em nível nacional...como a política do *Federal Reserve* sobre taxas de juros“.A pesar de que as regras do Banco Central (como a clássica regra de Taylor) muitas vezes se descrevem como seguindo algum processo de otimização, elas são claramente nocionais e baseadas muito mais na experiência e no *feeling* dos formuladores de política do que em equações precisas. Esse é claramente o espaço em que a lógica *fuzzy* é mais relevante.

### 3.2 AS VISÕES INSTITUCIONAL E EVOLUCIONÁRIA

Tanto os economistas institucionalistas como os evolucionários concordam que a ação do indivíduo é consequência de hábitos, costumes, regras-de-polegar e rotinas. Eles também concordam em que os agentes não otimizam, mas seguem procedimentos heurísticos que proporciona uma resposta racional a problemas complexos. Assim como Simon, ambas correntes são críticas em relação à suposição de maximização da teoria neoclássica. Hodgson (1997, p.668), inclusive, relacionou o trabalho de Simon com o dos institucionalistas.

Ambas as escolas tem como paradigma a biologia, a evolução Darwiniana, em contraste com a teoria neoclássica, cujo caso paradigmático é a física Newtoniana. Na dinâmica evolucionária biológica, a seleção natural joga um papel crucial: não garante uma solução ótima, mas oferece soluções alternativas capazes de garantir a sobrevivência e adaptação em um ambiente de mudança. Regras, hábitos, costumes e rotinas são elementos fundamentais de análise, o DNA na metáfora evolucionária. É comum na atividade empresarial, por exemplo, condução e operacionalização por rotinas, como normas dispostas em manuais e regras gerais internas à organização. Elas geralmente são revistas quando ocorrem desvios de metas de “satisfazimento” (NELSON, 1991; HODGSON, 1998).

O velho institucionalismo tem como precursores os economistas Thorstein Veblen, John Commons e Wealey Mitchell. Esta abordagem econômica era muito influente até a década de 1940. Depois desse período, ficou num segundo plano com o predomínio de técnicas formais que os formuladores de política começaram a aplicar. Por volta de 1970, o institucionalismo ganhou forças novamente com o Novo Institucionalismo, cujos principais autores são Douglas North e Oliver Williamson. Hábitos e regras são conceitos fundamentais do velho institucionalismo. Regras são definidas por Hodgson (1998) como “... *are conditional or unconditional patterns of thought or behavior which can be adopted either consciously or unconsciously by agents*”. Hábitos são um pouco diferentes das regras: são construídas em áreas subliminares de nosso sistema nervoso central pelo que explica sua qualidade de autonomia e auto-atuação. Uma regra sendo aplicada repetitivamente pode se tornar um hábito. Ambas se aplicam a situações repetitivas e não únicas.

Regras podem ser divididas em dois grandes tipos: explícito e implícito. Regras explícitas são códigos formais, como a Constituição, leis, normas regulatórias, direitos de propriedade, contratos privados, procedimentos organizacionais internos, entre outros. Este tipo de regras exige uma escolha consciente da sociedade através de um processo político no qual grupos de interesse explicitam, na maioria das vezes, interesses divergentes. Uma estrutura de “enforcement” é necessária para tornar efetiva a regra explícita. Regras implícitas, por outro lado, são bem caracterizadas pela sua informalidade, como tabus, costumes, tradições, conhecimento tácito. Elas são criadas naturalmente em respeito à interação social ao longo dos anos e, por isso, elas são eivadas de cultura, valores sociais, religião. Elas governam as relações sociais e econômicas por um argumento especial de “*enforcement*”: se o indivíduo não cumpre, ele perderá prestígio social e reputação (REYNOLDS, 1981; NORTH, 1993).

Uma importante característica de hábitos e regras, com aplicação direta em inteligência artificial e sistemas *fuzzy*, é a forma de ação: em circunstâncias X, faça Y. Se for possível listar todas as regras e hábitos na lógica “Se X faça Y” de um processo específico de tomada de decisão, a aplicação computacional se torna mais fácil. Como explicado por Hodgson (1998, p.187):“*Artificially intelligent systems even in moderately complex environments require ‘inherited’ framing procedures to structure the income information*”.

Hábitos, regras e instituições têm importantes implicações tanto para análise microeconômica como macroeconômica. Estes conceitos ajudam os economistas a entenderem as relações causais entre variáveis e a preverem suas trajetórias futuras. Na abordagem institucionalista, a noção de inércia, explicada por hábitos e regras estáveis, explica porque modelos baseados na simples extrapolação na maioria das vezes apresentam melhor desempenho do que modelos mais sofisticados (HODGSON,1998).

No caso do evolucionismo, a incerteza do ambiente torna-se ainda mais marcada pelo papel chave que essa escola de pensamento outorga à inovação no processo de concorrência. Segundo Schumpeter o sistema está permanentemente sujeito a mudanças nos parâmetros e aos impactos das novas tecnologias (novos paradigmas e trajetórias tecnológicas), criando setores, mudando sua participação na indústria, levando certas atividades à sua extinção (a chamada “destruição criadora”). Ao mesmo tempo, as tecnologias somente são usadas de forma eficiente na firma quando elas se tornam rotineiras. As rotinas, a reprodução automática de certos procedimentos, é a memória das capacidades das firmas. Ambos os aspectos inerentes à dinâmica econômica implicam um papel central para as regras e rotinas de comportamento nas decisões de produção e investimento, e inclusive nas direções que adota o esforço de inovação. Os paradigmas tecnológicos – um conjunto de heurísticas e acerca de que instrumentos, objetos e procedimentos na inovação – organiza e focaliza a mudança tecnológica. O evolucionismo estende as preocupações sobre regras e incerteza ao campo da tecnologia, cada vez mais central para o processo competitivo.

Uma importante questão relacionada com esse tema é saber quando é conveniente para um agente conduzir seu negócio usando regras e hábitos ao invés de técnicas de otimização. Objetivando responder esta questão os trabalhos de Hodgson (1997) e Heiner (1983) são bastante esclarecedores. O primeiro propôs uma taxonomia detalhando possíveis circunstâncias ao quais hábitos e regras seriam vantajosos para a ação e tomada de decisão humana. O segundo, mostrou em um modelo formal simples que a incerteza determina a principal fonte do comportamento “previsível”.

A taxonomia proposta por Hodgson (1997, p. 665) descreve sete tipos de situação de decisão que pode justificar o comportamento racional em hábitos e regras, conforme o Quadro 1:

<b>Tipos</b>	<b>Situação de decisão que pode justificar comportamento racional em hábitos e regras</b>
Otimização	Quando o conjunto de escolha é conhecido e é possível empregar procedimentos e regras de decisão para descobrir o ótimo
Amplidão	Quando a informação pode ser rapidamente acessível e compreensível, mas a busca requer a aplicação de tempo substancial e outros recursos
Complexidade	Quando há um hiato entre a complexidade do ambiente de decisão e a capacidade analítica e computacional dos agentes econômicos
Incerteza	Quando informação crucial e probabilidades relacionadas a eventos futuros são essencialmente não obteníveis
Cognição	Quando o agente tem problemas de tratar e interpretar dados sensitivos
Aprendizado	Quando o agente tem problemas de adquirir conhecimentos cruciais acerca do mundo
Comunicação	Quando o agente necessita comunicar regularmente com outros

**QUADRO 1 – TAXONOMIA DE HODGSON (1997)**

Fonte: Hodgson (1997, p. 665)

O primeiro tipo, otimização, é explicado pelo emprego de métodos matemáticos de otimização e cálculo diferencial. Estas técnicas envolvem regras próprias de otimização e computação. O segundo tipo, amplidão, refere-se ao emprego de hábitos e regras quando problemas de limitação computacional do agente em tratar com um conjunto muito grande de informações. O tipo complexidade refere à imbricada estrutura e interações entre as partes de um sistema independente, assim como à limitação do agente para computar a solução ótima. Em aplicações do mundo real, existe

uma intrincada rede de variáveis que torna as ferramentas de otimização inaplicáveis. O tipo incerteza refere ao conhecimento ou não da probabilidade de eventos futuros. Quando o agente sabe precisamente a distribuição de probabilidade, a incerteza é denominada de risco e os métodos de otimização podem ser aplicados. Por outro lado, no caso de incerteza radical de Knight e de Keynes, as probabilidades são sumariamente ignoradas resultando em inconsistência dos métodos de otimização. Nesta última situação, os agentes confiam em convenções, como extensivamente analisado pelos pós-keynesianos. Os tipos cognição e aprendizado referem-se às habilidades individuais do agente para adquirir, manipular, entender, categorizar e acumular informações apropriadamente. Hábitos são bem conhecidos no sucesso desses respectivos processos. O último tipo, Comunicação, refere-se não somente a comunicação verbal mas também a comunicação não-verbal, como expressões faciais e “linguagem do corpo”. Para representar simbolicamente o mundo numa linguagem são necessários hábitos e regras que moldem a linguagem num processo de interação social dinâmica.

Heiner (1983), por sua vez, procurou demonstrar que indivíduos agem racionalmente confiando em procedimentos relativamente simples e regras. A principal causa argumentada é o “C-D gap”, ou seja, a diferença entre a competência do agente e a dificuldade do problema decisório. Heiner (1983, p.564) explicitamente define a incerteza (U) como  $U(e,p)$ , em que **e** é a complexidade do ambiente e **p**, variável de percepção que caracteriza alguns aspectos cognitivos, como sua capacidade de entender relações em um mundo complexo. Interessante observar algumas similaridades entre o Princípio da Incompatibilidade de Zadeh (1973) e o Comportamento Previsível de Heiner (1983): ambas abordagens criticam ferramentas tradicionais aos quais sistemas complexos são modelados, como técnicas de otimização e matemática clássica; ambas inspiram-se na realidade; os processos de tomada de decisão são bem definidos por regras Se/então comumente aplicadas por especialistas; os conceitos de incerteza, complexidade e cognição humana são articuladas e relacionadas entre si. Por fim, vale observar que no Gráfico 5 devem-se incluir heurísticas, regras-de-polegar e comportamento convencional no conjunto denominado de técnicas não-convencionais, já que estes permitem tomadas de decisão em ambiente complexo e incerto.

### 3.3 A VISÃO PÓS-KEYNESIANA

Na visão pós-keynesiana, convenções exercem importante papel no comportamento econômico em condições de incerteza radical. Tal proposição, inicialmente formulada no Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda, Keynes (1982, cap.12) argumenta que a incerteza fundamental disposta em situações de decisões de investimento implica no desconhecimento de informações importantes para formulação das expectativas de longo-prazo dos rendimentos dos projetos de investimentos ao longo de sua vida, até sua maturação. Ante tal ignorância, a esperança matemática não pode ser calculada. Nas palavras de Keynes (1982, p. 126/127): “Na prática concordamos, geralmente, em recorrer a um método que é na verdade, uma **convenção**. A essência desta convenção – embora ela nem sempre funcione de uma forma tão simples – reside em se supor que a situação existente dos negócios continuará por tempo indefinido, a não ser que tenhamos razões concretas para esperar uma mudança”. Já em Keynes (1937, p.214-215), o autor detalha **técnicas e práticas** pelas quais os **agentes econômicos racionais** podem fazer uso em suas decisões realizadas em condições de incerteza: “1) *we assume that the present is a much more serviceable guide to the future than a candid examination of past experience would show it to have been hitherto;* 2) *we assume that the existing state of opinion as expressed in prices and the character of existing output is based on a correct summing up of future prospects,* 3) *we endeavour to conform with the behaviour of the majority on average. The psychology of a society of individuals each of whom is endeavouring to copy the others leads to what we may strictly term a conventional judgment.*”

Encontra-se implícita na análise de Keynes acerca de convenções que este recurso se aplica a **processos de decisão humana** envolvendo o futuro “sejam elas pessoais, políticas ou econômicas”. Outro ponto fundamental ressaltado por Keynes é nossa ignorância quanto ao futuro, resultado de nossas limitações cognitivas (inteligência) e epistemológicas (base de conhecimento). Nessas situações, nosso “impulso inato” é de tomar uma decisão para escolher o “melhor possível” dentre as

diversas alternativas plausíveis (KEYNES, 1982, p.134). Vale observar que o conceito de “melhor possível” afasta o comportamento otimizador do tomador de decisão econômica, encontrando-se amparo, por exemplo, na abordagem de Herbert Simon.

No âmbito da abordagem pós-keynesiana, as convenções têm importante papel estabilizador da economia, grande parte explicado pelas estruturas institucionais que possibilitam a redução de incertezas. A esse respeito, Macedo e Silva (2003, p.348) afirmou que “ há uma ligação estreita entre incerteza e adoção de rotinas. Para compreender o comportamento dos agentes que interagem em um mundo complexo e não-ergódico é interessante recorrer a conceitos como os de racionalidade “limitada “ e processual”. Por sua vez, Crotty (1997, 133-134) listou as seguintes instituições utilizadas na economia: 1) contratos futuros e dinheiro; 2) práticas que regulam a competição; 3) a institucionalização da tomada de decisão; 4) regulação do governo da macroeconomia; 5) a Ordem econômica internacional. Em relação ao item 3) da lista anterior, o autor detalhou as instituições utilizadas para tomada de decisão, incluindo heurísticas e rotinas, a saber: “*use of heuristics fixed by law, formal policy, or deeply rooted bureaucratic routine. Even decisions not completely legislated or routinized are often filtered through bureaucratic organizational structures possessing considerable inertia*”.

A teoria de decisão de Shackle(1955) se baseia nas situações de decisões cruciais, tomadas em condições de incerteza, em que a teoria clássica de probabilidade não se aplica posto serem eventos únicos sem a possibilidade de levantamento de dados históricos de frequência, e não divisíveis. Nesses casos, o tomador de decisão forma sua expectativa da trajetória futura da variável a partir do uso de sua imaginação, concebendo resultados futuros plausíveis, o que ele denomina de “*mental state of uncertainty*”. Para tanto, algumas noções originais são propostas, como surpresa potencial e pontos focais, tendo recebido na época críticas em face a dificuldade de serem assimiladas, entendidas e aceitas, conforme esclarecido pelo próprio autor no prefácio do seu livro. Esta incompreensão dos acadêmicos do enfoque shackleano é típico do comportamento de pesquisadores frente a um novo paradigma khuniano, posto que Shackle vai de encontro não só abordagem convencional da economia, como da matemática clássica (teoria da probabilidade).

Por sua vez, Paul Davidson enfatiza o caráter não-ergódico do sistema econômico e da baixa confiabilidade das informações passadas, constantes em séries temporais. Davidson (1991) argumenta que, em ambiente de incerteza radical e a conseqüente impossibilidade de uso da abordagem da teoria da probabilidade ortodoxa, a perspectiva pós-keynesiana se apóia no fato de que contratos nominais celebrados em uma economia monetária ancoram expectativas dos agentes. A moeda é considerada uma instituição social central, tendo o governo importante papel garantir o cumprimento de contratos celebrados, referenciados nessa moeda. Assim, um importante papel do governo é o de elaborar estruturas de arcabouços institucionais que produzam restrições legais sobre o infinito universo de eventos possíveis. De maneira mais enfática, o autor afirmou: “*Government needs to set the rules of the game in such a way as to eliminate the anti-social results of decision making under uncertainty...*”

Em Davidson (2003, p.22), ainda explorando o caráter não-ergódico do sistema econômico, restrição ontológica que implica em repensar o uso do ferramental matemático utilizado, principalmente a teoria da probabilidade, faz uma interessante reflexão acerca da corrente convencional da economia. Na visão de Davidson, os economistas daquela corrente sofrem a denominada “doença dos economistas” ao pressuporem um mundo ergódico, tratando a economia como se fosse uma ciência exata<sup>10</sup>. Nesses casos, estes estarão precisamente errados, apesar de imperfeitamente certos. Preferem assim agir ao invés de se ocuparem “com as imprecisas ciências ‘sociais’ ou ‘políticas’”. Este raciocínio pode ser compreendido à luz Princípio da Incompatibilidade de Zadeh, qual seja, a de que os economistas da corrente *mainstream* preferem ser precisos ante a complexidade da economia, o que resulta em uma contradição metodológica: é necessário escolher precisão e complexidade, dimensões mutuamente exclusivas. Por sua vez, os pós-keynesianos, por

---

<sup>10</sup> Novamente, vale destacar que as ciências ditas exatas, tais como engenharia e computação, têm se utilizado cada vez mais de técnicas do *soft computing* em suas aplicações para tratar adequadamente a complexidade de seus sistemas haja vista limitações do ferramental matemático e computacional convencional.

considerarem a não-ergodicidade e a complexidade dos sistemas econômicos, lhes permite maior imprecisão, muito embora não suficientemente grande que torne suas análises irrelevantes, inúteis ou não aderentes com a realidade.

#### 4 POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY EM ECONOMIA

Depois do artigo seminal de Zadeh em 1965, abundam relatos na literatura acerca de aplicações da Lógica *Fuzzy*, tais como: controle de tráfego, controle de motor elétrico de indução, operação de metrô, diagnóstico médico, sistema autofoco de câmeras de vídeo, controle de máquina de lavar, controle de micro-ondas, reconhecimento de padrões (MCNEILL e FREIBERGER, 1993; KLIR e FOLGER, 1988; KLIR e YUAN, 1995, PEDRYCZ e GOMIDE, 1998).

Apesar de a economia tratar de sistemas sócio-econômicos, com uma complexidade intrínseca e o uso comum de linguagem natural, aplicações em economia da Lógica *Fuzzy* não são comuns (KLIR e YUAN, 1995). Segundo Zadeh (1982 *apud* KLIR e YUAN, 1995, p. 451) sistemas sócio-econômicos são caracterizados como “...*a large-scale system in which human judgment, perception, and emotions play an important role*” e cujos aspectos centrais são o “... *pervasive fuzziness of almost phenomena...*”. Ainda de acordo com Zadeh (1987, p. 24), comentando as falhas dos métodos tradicionais dos cientistas, a economia tem todas as características necessárias para aplicação da lógica *fuzzy*:

*Take economics. Time and again, it has been demonstrated that what actually happens in the realm of economics is very different from what the experts predicted. These experts might be using large-scale econometric models, sophisticated mathematics, large scale computers, and the like. Despite all that, the forecasts turn out to be wrong – very wrong.*

*Why? Two reasons. One is that economic systems are very complex. Second, and more important, human psychology plays an essential role in the behavior of such systems. And this complexity, together with human reasoning, makes the classical mathematical approaches, based on two-valued logic, ineffective.*

*So, again, to approximate the way humans can sort through large masses of data and arrive at some sort of qualitative conclusion, it might be necessary to use fuzzy logic (ZADEH, 1987, p. 24) [grifos meus]*

Uma pequena revisão sobre aplicações em economia da lógica *fuzzy* é apresentada por Klir e Yuan (1995, p. 450-52). Esses autores, de maneira semelhante a Zadeh (1987) criticam o uso da matemática convencional em aplicações econômicas pois cria um “... *persistent gap between economic reality and predictions derived from these more sophisticated models [economic axiomatic theories]*”. Ou seja, uma vez a teoria econômica sendo formulada em termos de matemática clássica (i.e., teoria dos conjuntos clássicos, lógica bivalorada, e teoria clássica da medida) resulta na crescente necessidade de aparatos matemáticos cada vez mais complexos haja vista a maneira pela qual os agentes econômicos tomam decisão, fazendo uso de recursos comuns em linguagem natural, como expressões vagas e imprecisas. A esse respeito, vale verificar comentário de Thomas Sargent (1993, p.2), ressaltando que nesse livro o autor aplica algumas ferramentas do *soft-computing*, como redes neurais e algoritmo genético: “*Ironically, when we economists make the people in our models more ‘bounded’, in the rationality and more diverse in their understanding of the environment, we must be smarter, because our models become larger and more demanding mathematically and econometrically.*”

Ainda segundo Klir e Yuan (1995, p. 450-52), com a lógica *fuzzy* é possível modelar fenômenos econômicos de uma maneira muito mais simples e intuitiva que os métodos convencionais. Citam diversas ferramentas utilizadas rotineiramente por economistas adaptadas à Lógica *Fuzzy*, com grande potencial tal qual: a teoria da preferência *fuzzy*, jogos *fuzzy*, aplicações em pesquisa operacional (regressões *fuzzy*, otimização *fuzzy*, etc) e tomada de decisão *fuzzy*. Mcneill e Freiberger (1993, p.96) sugeriram que economia, como outras ciências sociais, poderia usar conjuntos *fuzzy* como um “...*a more acceptable and illuminating use of math*”, mudando a natural crítica de aplicação de métodos quantitativos nessas áreas. Eles também destacaram o grande número de noções *fuzzy* em

economia como recessão, desemprego, inflação e companhias líderes de mercado, principalmente por serem intrinsecamente imprecisos ou passível de certa discricionariedade.

Como visto ao longo do artigo, os conceitos de racionalidade limitada e satisfazimento desenvolvidos por Simon ajustam-se perfeitamente ao tipo de regras e de percepção dos determinantes do comportamento que são o cerne da lógica *fuzzy*. Existe claramente uma convergência teórica que permite considerar essa lógica como um dos possíveis instrumentos para avançar na análise do comportamento de uma economia que funciona em condições de incerteza keynesiana. Também, tanto o velho institucionalismo quanto o evolucionismo oferecem direções de análises convergentes não apenas com Simon, mas com os princípios da lógica *fuzzy*. Os institucionalistas, ao garantirem grande peso nas decisões à cultura, hábitos e rotinas, reforçam a percepção de que os agentes estão longe de adotar procedimentos de otimização. Já os evolucionistas, com sua ênfase na inovação, na mudança estrutural e na destruição criadora, salientam o caráter incerto, intrinsecamente mutável do capitalismo. E na medida em que o uso eficiente das técnicas requer que elas sejam rotineiras na firma, também dão destaque ao papel das regras e heurísticas na dinâmica econômica.

Em relação à visão pós-keynesiana, a aproximação da lógica *fuzzy* encontra-se em estágio mais avançado, muito embora sejam trabalhos ainda exploratórios. Klir(2002), por exemplo, formaliza o processo de decisão proposto por Shackle mediante ferramental *fuzzy*, quais sejam, por meio de medidas de possibilidade e necessidade, conceitos duais oriundos da teoria da possibilidade. No seu entendimento, a teoria de decisão de Shackle poderia ser enriquecida usando o arcabouço *fuzzy*. Mais recentemente, Dow e Ghosh (2009) explora o potencial de aplicação da lógica *fuzzy* nas decisões econômicas tomadas em condição de incerteza fundamental, keynesiana. A demanda especulativa por moeda é utilizada como caso de modelagem *fuzzy*.

## 5 COMENTÁRIOS FINAIS

A lógica *fuzzy* é uma potente ferramenta computacional comumente utilizada em processos e sistemas de engenharia e computação. No âmbito das ciências econômicas, em especial na economia computacional, são incipientes as aplicações de ferramentas do *soft computing*, o que de certa parte causa estranheza em face às características próprias dos sistemas econômicos eivados de incertezas e complexidades.

Nesta aproximação inicial, procuramos respaldar e justificar o uso de lógica *fuzzy* a partir de uma revisão das teorias econômicas que consideram o uso de regras, heurísticas, rotinas e convenções num ambiente de incerteza. Estes recursos decisórios encontram-se amparo na lógica *fuzzy*. Como visto, para implementar sistemas *fuzzy* importa saber **como o tomador de decisão efetivamente toma suas decisões**, suas regras de bolso, sua intuição, suas rotinas. Assim, tal ferramenta computacional pode ser aplicada em modelos econômicos baseados em teorias econômicas não convencionais.

Neste artigo mostramos a convergência entre esse instrumento operacional e a base teórica de algumas das escolas heterodoxas mais importantes (Simon e a racionalidade limitada, institucionalismo, evolucionismo e pós-keynesianismo). Há um espaço de complementaridade que pode ser explorado e que fornece novos instrumentos de análise, quantitativo e qualitativo, para as teorias heterodoxas, possibilitando a construção de modelos consistentes com suas premissas teóricas.

## REFERÊNCIAS

CHEN, S. Computational intelligence in economics and finance: carrying on the legacy of Herbert Simon. **Information Sciences**, p.121-131, 2005.

CROTTY, J. Are Keynesian uncertainty and macrotheory compatible? Conventional decision making, institutional structures, and conditional stability in keynesian macromodels. In:Dymski, G;Pollin, R. **New perspectives in monetary macroeconomics: explorations in the tradition of Hyman P. Minsky**.Ann Arbor, Michigan Press, 1997, p. 105-139.

DAVIDSON, P.. Is probability theory relevant for uncertainty? A post Keynesian perspective. **Journal of Economic Perspectives**, v.5, n.1, p.129-143, winter 1991.

\_\_\_\_\_.Resgatando a revolução keynesiana. In: G. T; Sicsú, J.(org).**Macroeconomia do Emprego e da Renda Lima**. São Paulo, 2003, p. 3-28.

DELGADO, M.R.B.S. **Projeto automático de sistemas nebulosos**: uma abordagem evolutiva. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

DOW, S..GHOSH,D. Fuzzy logic and Keynes's speculative demanda for Money. **Journal of Economic Methodology**, v. 16, n.1, p.57-69, 2009.

EARL, P.E. Simon, Herbert Alexander In: HODGSON, G.M.; SAMUELS, W.J.; TOOL, M.R. **The elgar companion to institutional and evolutionary economics (L-Z)**. Edward Elgar, 1994, p. 284-287.

FURROW, D. **Ética**: conceitos chaves em filosofia. Porto Alegre: Artmed, 2007.

HEINER, R.A. The origin of predictable behavior. **The American Economic Review**, v.73, n.4, p.560-595, 1983.

HODGSON, G.M. The ubiquity of habits and rules. **Cambridge Journal of Economics**, v.21, p.663-684, 1997.

KENDRICK, D.A.; MERCADO, P.R.; AMMAN,H.M. **Computational economics**. Princeton: Princeton University Press, 2006.

KEYNES, J.M. **A teoria geral do emprego, do juro e da moeda**. São Paulo, ed. Atlas, 1982.

\_\_\_\_\_.The general theory of employment. **The Quarterly Journal of Economics**, v.51, n.2., p.209-223, 1937.

KLIR,G.J.;FOLGER,T.A..**Fuzzy Sets, Uncertainty and Information**. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1988.

KLIR,G.J.;YUAN,B..**Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. New Jersey, Prentice Hall, 1995 .

KLIR, G.J. Uncertainty in economics: the heritage of G.L.S.Shackle. **Fuzzy Economic Review**, v.7, n.2, p.3-21, nov 2002.

LIN, C.T.; LEE, C.S.G. **Neural fuzzy Systems**. Prentice Hall, 1996.

MACEDO E SILVA, A.C. A economia de Keynes e a “Armadilha do Equilíbrio”. In: G. T; Sicsú, J.(org).**Macroeconomia do Emprego e da Renda Lima**. São Paulo, 2003, p. 339-338.

MACNEILL,D.;FREIGBERGER,P. **Fuzzy logic**. New York: Simon&Schuster, 1994.

MATLAB. **Fuzzy logic toolbox: user's guide**. Version 2.2.6, 2007.

MENDEL, J.M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Proceedings of The IEEE**, v.83, n.3, p.345-377, 1995

NAGAMINE, R.K. Lógica difusa para controle não convencional de uma viga inteligente. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

NELSON, R.R. Routines In: HODGSON, G.M.; SAMUELS, W.J.; TOOL, M.R. **The elgar companion to institutional and evolutionary economics (L-Z)**. Edward Elgar, 1994, p. 249-253.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Cambridge, Mass: The MIT Press, 1998.

REYNOLDS, L. Foundations of an institutional theory of regulation. **Journal of Economics Issues**, v.15, n.3, Sep. 1981.

SARGENT, T. **Bounded rationality in macroeconomics**. Oxford University Press, 1993.

SHAW, I.S.; SIMÕES, M.G. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Edgard Blucher, FAPESP, 1999.

SHEPHERD, D.; SHI, F.K.C. Fuzzy modeling and estimation of economic relationships. **Computational Statistics & Data Analysis**, v.51, p.417-433, 2006.

SIMON, H. A behavioral model of rational choice. **The Quarterly Journal of Economics**, v.69, n.1, p.99-118, 1955.

\_\_\_\_\_. On how to decide what to do. **The Bell Journal of Economics**, v. 9, n.2, p.494-507, 1978

\_\_\_\_\_. Bounded rationality In: EATWELL, J.; MILGATE, M.; NEUMANN, P. **The new palgrave: a dictionary of economics**. Londres: The Macmillan Press, 1991, v. 1, p. 266-268.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. **Information and control**, v.8, n.3, p. 338-353, 1965.

\_\_\_\_\_. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process. **IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics**, v.2, p.28-44, 1973.

\_\_\_\_\_. Coping with the imprecision of the real world: an interview with Lofti A. Zadeh. In YAGER, R.R.; OVCHINNIKOV, S.; TONG, R.M (eds). **Fuzzy Sets and Applications: selected papers by L.A. Zadeh**. New York: John Wiley & Sons, p.9-27, 1987.

\_\_\_\_\_. The concepts of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. **Information Sciences**, p.199-249, 1975.