

Seleção de fornecedores: um modelo de recuperação da informação baseado em lógica *fuzzy*

Supplier selection: a model of information retrieval based on fuzzy logic

Amarildo Martins de Magalhães

Analista em Sistemas de Informação graduado pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e mestre em Ciência da Informação pela Universidade Federal de Minas Gerais. Analista de tecnologia da informação do Instituto Federal de Minas Gerais.

Resumo: Neste trabalho é apresentado um modelo para seleção de fornecedores baseado em lógica fuzzy que considera as dificuldades de selecionar um fornecedor perante os distintos critérios de cada empresa. Constituído com base na necessidade do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) de selecionar fornecedores com critérios diferentes dos disponíveis no sistema oficial, o Sicafe, o sistema recupera informações dos fornecedores estabelecendo um ranking de acordo com a avaliação obtida por meio da aplicação do método difuso. O resultado mostra-se extremamente eficiente.

Palavras-chave: fornecedores, processo de compras, gestão da informação.

Abstract: In this work, a model for supplier selection based on fuzzy logic is presented. The model considers the difficulties of selecting a supplier with distinct criteria in each company. The model is made based on the need of the Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) to select suppliers with different criteria available in the official system, Sicafe. The system retrieves information from suppliers establishing a ranking according to the evaluation obtained by applying the fuzzy method. The result proves to be extremely efficient.

Keywords: suppliers, the purchasing process, information management.

Introdução

Em um cenário globalizado com a constante ascensão da internet, o gerenciamento de dados e informações no processo de compras é uma tarefa complexa. O ambiente dinâmico necessita de ferramentas de apoio à gestão de dados e informações. A implantação de processos de gestão da cadeia de materiais e produtos (SCM) em ambientes corporativos é essencial para a gestão eficiente do fluxo de informações decorrentes de tais processos. Para assegurar o nível de competitividade

no mercado, as corporações precisam operar com inovação frequente e alta qualidade, sendo essencial que o setor de compras possua agilidade e eficiência. Fornecedores apropriados reduzem custos de compra, diminuem tempo de produção, aumentam satisfação dos consumidores e fortalecem a competitividade (ARIKAN, 2012).

Em um ambiente de tanta incerteza, com tantos critérios de seleção e variáveis, é natural que exista uma dificuldade por parte dos compradores com relação à tomada de decisão. O presente trabalho realiza uma pesquisa exploratória através de um estudo de caso de tomada de decisão relativa à seleção de fornecedores. A proposta baseia-se na seleção de alguns critérios para seleção de fornecedores, e esses critérios são aplicados utilizando lógica nebulosa ou lógica difusa na criação de um modelo difuso. O modelo proposto é aplicado em um Sistema Apoio à Decisão (SAD) chamado ForFuzzy, e validado no órgão governamental Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Como órgão público do Brasil, o IFMG realiza suas compras através do sistema de compras online do governo, o Comprasnet, contudo, antes de qualquer processo de compra é necessário buscar os fornecedores que atendam aos critérios de cada órgão para que seja realizada uma cotação. Tal medida é dada como obrigatória pela Corregedoria Geral da União (CGU). A cotação é necessária para obter um preço estimado do produto ou serviço, e deve preferencialmente ser realizada com fornecedores registrados no sistema de cadastro de fornecedores do Brasil (Sicaf), pois somente estes podem participar do processo final de compras. Esse trabalho utiliza dois critérios para seleção de fornecedores: distância geográfica do fornecedor até a sede do IFMG e relevância do ramo de atividade do fornecedor com relação à pesquisa do usuário. A equipe de compras do IFMG utilizou a ferramenta por alguns dias e obteve resultados melhores do que a metodologia anterior.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Lógica Difusa

Lógica *fuzzy*, lógica nebulosa ou lógica difusa é uma extensão da lógica booleana que admite valores diferentes de zero (0) ou um (1). É muito utilizada em conceitos estatísticos para geração de inferência. Intuitivamente fácil de ser usada para expressar avaliação de critérios qualitativos para os tomadores de decisão (PANG; BAI, 2011), a lógica *fuzzy* comporta-se conforme o raciocínio que o especialista utiliza para

inferir as regras, baseadas nas informações que ele já conhece (TANSCHKEIT, 2008). Braña (2008) conceitua a lógica fuzzy:

Atualmente utiliza-se o termo de lógica *fuzzy* para expressar diferentes conceitos relacionados. Por um lado, a representação da imprecisão ou ambiguidade de certos conjuntos e variáveis (conjuntos e variáveis *fuzzy*) e sua combinação e manipulação matemática (aritmética *fuzzy*), e por outro lado, uma forma de inferência lógica (inferência *fuzzy*) a partir de regras do tipo (SE-ENTÃO) utilizando os anteriores conjuntos e variáveis e, a partir dos quais se atingem conclusões que não são necessariamente nem verdadeiras nem falsas, mas que podem representar certo conhecimento sobre uma área (BRAÑA, 2008, p. 31).

A lógica *fuzzy* permite a aplicação de variáveis linguísticas que são na realidade conjuntos difusos, elas representam o objeto do estudo de uma maneira sistêmica através de termos mais compreensíveis pelo ser humano, por exemplo: importante, muito importante, pouca importância. A lógica *fuzzy* expressa o conceito de verdade parcial, de maneira que possa determinar valores entre o limite totalmente verdadeiro (1) e totalmente falso (0) (BRAÑA, 2008). A figura abaixo exibe a variável linguística idade com os termos (jovem, média, velho):

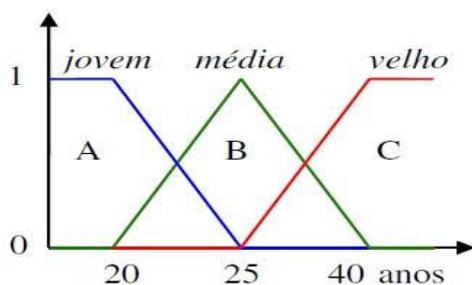


Figura 1: Variáveis linguísticas Lógica Difusa

1.2. Seleção de fornecedores com lógica difusa

Shin, Hung e Lin (2006), realizam um estudo propondo um modelo e um procedimento para seleção de fornecedores, com base em critérios como: preço, qualidade, entrega, serviço e flexibilidade. Os autores desenvolvem um modelo

composto em *Artificial Neural Networks* (ANN¹) e lógica *fuzzy* para inferência de conhecimento para tomada de decisão em processos de compras. Com base no estudo proposto é possível que as decisões tomadas pela equipe de compras possam ser auditadas por administradores e auditores. Pang e Bai (2011) desenvolvem um procedimento baseado em ANP e lógica *fuzzy* para avaliação de fornecedores. É formado um comitê de tomadores de decisão para estabelecer os critérios de avaliação, os critérios então são aplicados com pesos diferentes a uma matriz de lógica *fuzzy* gerando uma pontuação para cada fornecedor e um ranking baseado em prioridades. Ganga e Carpinetti (2011) propõem um modelo para seleção de fornecedores baseado em lógica difusa. Os autores utilizam as métricas (critérios) do *Supply Chain Operations Reference Model* (SCOR) – modelo de referência de operações do gerenciamento da cadeia de fornecedores para avaliar o desempenho de cada fornecedor no processo de compras. Os autores utilizam o método de inferência da lógica difusa Mamdani em sua integridade. Dados randômicos são usados para simular o modelo. Por fim, os autores concluem que o modelo foi considerado bem consistente para o propósito e ajuda gestores na tomada de decisão do processo de gerenciamento de fornecedores.

1.3. Vaguidade – Imprecisão na tomada de decisão

Existem domínios de aplicação nos quais a imprecisão é parte inerente ao problema analisado. A imprecisão pode surgir por uma série de razões: falta de informação, informação incompleta, informação impossível de obter e ignorância parcial (WU e CHANG, 2008). A classificação dos diferentes tipos de imprecisão e seus possíveis tratamentos é um tema atualmente desenvolvido por diversas disciplinas como a **ciência da informação** e a lógica. (NICOLETTI et al;1997 *apud* BRAÑA, 2008). A gestão da informação e do conhecimento nas empresas são premissas para a tomada de decisão. Choo (2006) explana a utilização de informações nas empresas:

Primeiro, a organização usa a informação para dar sentido às mudanças do ambiente externo. (...) A segunda arena é aquela em que a organização cria, organiza e processa a informação de modo a gerar novos conhecimentos por meio do aprendizado.

¹ ANN – Artificial Neural Networks – Modelo matemático ou computacional inspirado nos aspectos da biologia neural.

(...) A terceira arena do uso estratégico da informação é aquela em que as *organizações buscam e avaliam informações de modo a tomar decisões importantes* (CHOO, 2006, p. 28). (grifo meu)

A tomada de decisões é uma tarefa que exige do indivíduo análise de todas as alternativas disponíveis, sendo que o mesmo dispõe de racionalidade limitada principalmente em sua capacidade mental, seus hábitos e reflexos, pela extensão do conhecimento, das informações que possui e por valores e conceitos que podem divergir dos objetivos da organização. As organizações podem mudar o ambiente do indivíduo para a tomada de decisão, portanto é tarefa da organização criar mecanismos que possibilitem ao indivíduo se aproximar mais de sua racionalidade nas decisões (CHOO, 2006, p. 41-2). Os sistemas especializados desenvolvem um modelo das limitações que governam a tomada de decisões complexas (DAVENPORT; PRUSAK, 1998, p. 166). Para o executivo de uma empresa geralmente é impossível se envolver diretamente com decisões de compra, sendo então necessário disponibilizar modelos sistemáticos que apoiem a tomada de decisão por parte da empresa, aumentando assim as possibilidades das decisões serem boas (SHIN; HUNG; LIN, 2006).

2. PROCESSO DE COMPRAS PÚBLICAS

2.1. Mudança de paradigma

Na década de 1990, com o desenvolvimento e popularização da tecnologia, um movimento foi decisivo para o aprimoramento dos serviços executados pelo governo. A partir da criação do governo eletrônico, e-governo, o Brasil começou a oferecer serviços e o acesso a informações aos diferentes atores da sociedade civil, principalmente por meio de ferramentas baseadas na internet, com o intuito de tornar o serviço público mais transparente e aumentar o engajamento dos cidadãos nas ações governamentais (ALVES; SOUZA, 2010). O processo de compras públicas é regulamentado pela lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, a qual estabelece normas gerais sobre licitações e contratos administrativos pertinentes a obras, serviços (inclusive de publicidade), compras, alienações e locações no âmbito dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Com a expansão do uso de serviços na internet, o

governo lançou o portal Comprasnet com o objetivo de simplificar e tornar transparente o processo de compras públicas.

2.2. Modalidade de compras

As compras do governo são precedidas de licitações, que destinam garantir a observância do princípio constitucional da isonomia, a seleção da proposta mais vantajosa para a administração e a promoção do desenvolvimento nacional sustentável.

Existem cinco modalidades de licitações, conforme a tabela abaixo:

Concorrência	Quaisquer interessados que, na fase inicial de habilitação preliminar, comprovem possuir os requisitos mínimos de qualificação para execução do objeto.
Tomada de preços	Interessados devidamente cadastrados ou que atenderem a todas as condições exigidas para cadastramento até o terceiro dia anterior à data do recebimento das propostas.
Convite	Modalidade de licitação entre interessados do ramo pertinente ao seu objeto, cadastrados ou não, escolhidos e convidados em número mínimo de 3 (três) pela unidade administrativa.
Concurso	Quaisquer interessados para escolha de trabalho técnico, científico ou artístico, mediante a instituição de prêmios ou remuneração aos vencedores.
Leilão	Quaisquer interessados para a venda de bens móveis inservíveis para a administração. O ganhador é quem oferecer o maior lance, igual ou superior ao valor da avaliação.

Tabela 1: Modalidades de licitação

Independente da modalidade de licitação, o trabalho de busca do fornecedor é sempre importante no processo de compras. Geralmente o fornecedor que participa de uma cotação participa do processo no sistema Comprasnet. Outro detalhe importante da busca de fornecedor é que existem casos de dispensa de licitação, quando o órgão público realiza a compra diretamente.

2.3. Sicaf – Sistema de cadastro de fornecedores

O Sistema de Cadastro de Fornecedores (Sicaf) é o sistema do governo mantido pelo Serviço Federal de Processamento de Dados (Serpro) que mantém os dados atualizados de todos os fornecedores que participam de licitações no sistema Comprasnet. O sistema está disponível para que qualquer fornecedor pessoa física ou jurídica do Brasil possa se cadastrar e participar dos processos de compra do governo. Cada órgão público possui acesso ao Sicaf; o fator complicador é que o Sicaf não dispõe de interface para buscar fornecedores por palavras-chave com os termos do produto ou serviço desejado. A pesquisa no Sicaf deve obrigatoriamente informar o tipo de pessoa (física ou jurídica), o estado onde deseja filtrar os fornecedores e as linhas de fornecimento. Dessa forma, se o usuário deseja encontrar todos os fornecedores do Brasil que trabalham com “Segurança da Informação”, por exemplo, ele deveria fazer 27 pesquisas para os 26 estados, mais o Distrito Federal, e incluir manualmente todas as linhas de fornecimento que contenham serviços relacionados à pesquisa. A ordem de exibição dos resultados é alfabética e o critério distância não é considerado. A figura abaixo exibe a tela de pesquisa de fornecedores no Sicaf:

Sistema Integrado de Administração de Serviços Gerais | **SICA F Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores** | Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão | **SLTI** Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação

Consulta Parametrizada de Fornecedores

Tipo de Pessoa
 Pessoa Física Pessoa Jurídica

CPF

* UF Município

Porte da Empresa

Linha de Fornecimento do Fornecedor

(*) Campo de preenchimento obrigatório.

Resultado

Fornecedores		
CPF / CNPJ	Nome / Razão social	Ação
02.828.845/0001-03	ADA COMERCIO E SERVICOS LTDA ME	Detalhar
04.625.326/0001-65	ALUMPORTE INDUSTRIA E COMERCIO DE ESQUADRIAS EM ALUMINIO LTDA	Detalhar
07.965.910/0001-58	BAMBUI EMPREITEIRA LTDA - ME	Detalhar
65.213.795/0001-61	CBR CONSTRUTORA LTDA	Detalhar
42.844.613/0001-55	CONCORRE COMERCIO LTDA EPP	Detalhar
65.124.224/0001-50	CONSTRUTORA CASTILHO LTDA	Detalhar

Brasília, 02 de Agosto de 2012 | Solução **SERPRO** | Login: 8869443680 - RAINER DE PAULA - Produção

Figura 2: Consulta de fornecedores no SicaF

Apesar do SicaF não possuir eficientes meios de pesquisa, ele dispõe de uma *Application Program Interface* (API) – Interface de programação de aplicativos, que possibilita acesso aos dados do cadastro dos fornecedores. A iniciativa de abertura do acesso aos dados faz parte do movimento de Dados Abertos, que surgiu como uma demanda social para aumentar a transparência, a colaboração e a participação dos cidadãos nas políticas e ações do governo (ALVES; SOUZA, 2010). Através do recurso de Dados Abertos é possível criar aplicações que se integrem e usem os dados do governo.

2.4. Processo de compras IFMG

No IFMG, o processo inicia-se pela requisição oriunda do setor que deseja adquirir um serviço ou produto. Anualmente é realizado um planejamento, cada setor

informa em um sistema chamado Sisplan suas necessidades de aquisição para o próximo ano. Quando o setor de compras recebe a solicitação de compra, dá-se início à fase de cotação de preços. Antes que o produto ou serviço possa ser inserido no Comprasnet, é necessário realizar três cotações preferencialmente junto a fornecedores cadastrados no Sicaf. O objetivo é apurar o preço médio do produto ou serviço para inserção no processo de licitação no Comprasnet.

A Corregedoria Geral da União indica três fornecedores como número mínimo a ser cotado, porém esse número pode ser maior a critério do comprador. A escolha desses fornecedores fica a cargo de cada órgão público. O modelo SCOR estabelece critérios para uma análise de fornecedores sobre três perspectivas: Processo, Métricas e Melhores Práticas, conforme afirmam Ganga e Carpinetti (2011). Para o IFMG, o critério distância é considerado importante na seleção dos fornecedores, pois segundo os especialistas de compras, tal critério é um provável facilitador da compra, quanto mais próximo o fornecedor, maior a possibilidade de uma entrega rápida. Quando o processo é efetivado na modalidade dispensa de licitação, a busca dos fornecedores é ainda mais importante, pois o primeiro colocado será o vencedor da licitação e a compra é realizada de maneira direta.

A figura abaixo exhibe o passo a passo do processo de compras no IFMG:

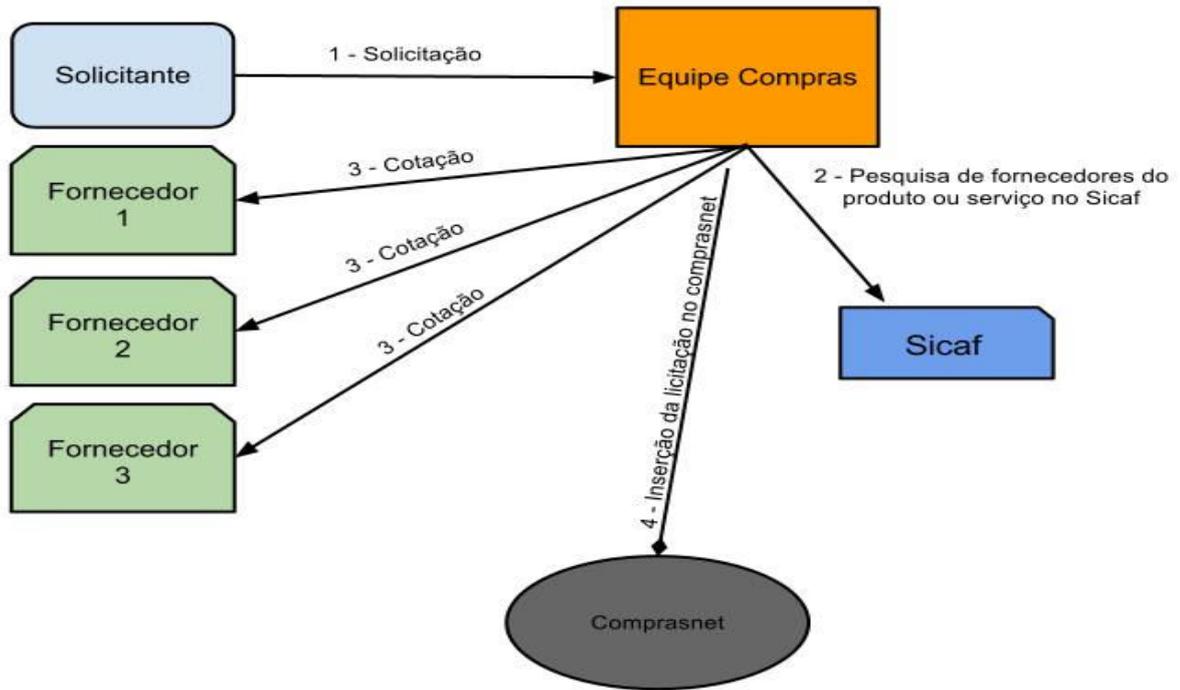


Figura 3: Diagrama Processo de Compras IFMG

3. METODOLOGIA

Detectada a dificuldade em localizar os fornecedores de determinada solução mediante os critérios de seleção do IFMG e a impossibilidade de inserir critérios específicos para a busca de fornecedores no Sicaf, concluiu-se que seria necessário realizar uma pesquisa exploratória para o desenvolvimento de um modelo baseado em lógica difusa para tomada de decisão, aplicado a um Sistema de Apoio à Decisão (ForFuzzy) seguido do estudo de caso através de uma validação no IFMG (GIL, 1994).

3.1. Apuração de critérios

Os dois critérios escolhidos para validação do modelo no IFMG foi distância e relevância da busca. Esses critérios são utilizados como valores de entrada da lógica difusa. O resultado final é com base nessa entrada.

3.1.1. Cálculo de distância baseada na posição geográfica

No cadastro do fornecedor no Sicaf constam as coordenadas geográficas referentes ao endereço do fornecedor. Para o cálculo da distância, utiliza-se como origem o endereço informado pelo usuário no ForFuzzy e, como destino, o endereço do fornecedor. Notou-se muita inconsistência com relação a esses dados no Sicaf, e observou-se também, inicialmente, que as coordenadas salvas no cadastro de cada fornecedor referem-se ao município, e não ao endereço correto de cada fornecedor. Posteriormente descobriu-se que muitos fornecedores não possuíam tais dados inseridos ou não estavam disponíveis para consulta. Dessa maneira, foi criada uma função no ForFuzzy utilizando a API do Google Maps para buscar automaticamente as coordenadas de cada fornecedor de acordo com o seu endereço. O ForFuzzy possui um parâmetro para selecionar se o usuário deseja realizar o cálculo da distância pelo Google Maps ou não. O Google calcula a distância da maneira correta, ou seja, considerando o mapa rodoviário brasileiro, porém foi identificado que o Google Maps possui uma limitação de 2.500 consultas por dia. Assim, para que o cálculo pudesse ser realizado, mesmo em caso de indisponibilidade do Google, foi utilizada a função de Haversine,² que é uma fórmula da trigonometria aplicada em navegação para calcular a altitude celestial de um corpo e apurar a posição de um navio ou avião (ROBUSTO, 1957). Abaixo, a fórmula para cálculo de coordenadas em linha reta:

$$a = \sin^2(\Delta\phi/2) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

R = Raio da terra em quilômetros = 6371
 Φ = Latitude – λ = Longitude
 D = Distância entre os dois pontos

3.1.2. Cálculo relevância da busca

Cada fornecedor possui em seu cadastro as linhas de atuação, ou seja, em quais ramos de atividades está inserido e quais são as categorias de produtos e serviços fornecidos. Essa informação é armazenada no banco de dados do ForFuzzy. Quando o usuário realiza uma pesquisa por um produto ou serviço, o sistema consulta essa informação no

² Haversine – Função para cálculo da distância entre dois pontos de uma esfera a partir de suas latitudes e longitudes.

banco de dados para verificar a pertinência do fornecedor com relação à consulta do usuário. O usuário possui um campo para realizar a pesquisa, onde podem ser inseridos até 50 caracteres.

3.1.2.1. Técnicas de recuperação de informação

O ForFuzzy utiliza duas técnicas para realizar a busca no banco de dados: a primeira é a técnica de *stop-words*, em que artigos, preposições e conjunções são retirados dos termos digitados pelo usuário. Muitos sistemas de recuperação de informação usam palavras simples como termos. Palavras consideradas não informativas (como o, a, de, da, em), também conhecidas como *stop-words*, são frequentemente ignoradas (SINGHAL, 2001). A segunda técnica utilizada é o conceito de *case-insensitive*, que realiza a busca tanto em palavras maiúsculas quanto minúsculas, em que também são desconsiderados acentos. Outra técnica conhecida é o TF-IDF – frequência do termo inversa, porém não foi utilizada nesse modelo. No TF-IDF é levado em consideração a frequência do termo em um documento e em uma coleção (SINGHAL, 2001). Após aplicar as duas técnicas acima, o sistema cria um vetor com as palavras informadas pelo usuário e realiza a busca de acordo com o ramo de atividade do fornecedor. A busca padrão utiliza o operador *OR* – OU, dessa forma, qualquer fornecedor que contenha alguma das palavras digitadas pelo usuário em seu ramo de atividade é considerado. O usuário pode realizar uma pesquisa exata, para isso é necessário inserir os termos entre aspas. Por exemplo: “serviços de engenharia elétrica”.

3.1.3. Pontuação dos fornecedores

O fornecedor acumula uma pontuação de 21.23 pontos para cada palavra buscada que existir em seu ramo de atividade. Quando o sistema verifica todas as palavras digitadas pelo usuário e pontua o fornecedor, ele ainda verifica a expressão completa informada pelo usuário. Caso encontre a expressão da maneira idêntica, ele atribui um valor extra: 31.23. Esses valores levam em consideração os intervalos de pertinência da lógica difusa. O ForFuzzy somente considera para o resultado os fornecedores que possuem uma pontuação no critério relevância maior que zero.

3.2. Modelo de execução Lógica Fuzzy

Os dois critérios assumidos para esse trabalho (distância e relevância) são variáveis de entrada para o modelo difuso. Para cada variável são atribuídas funções de pertinência em um processo denominado *Fuzzification* – Fuzzificação, em seguida, as regras difusas são aplicadas, é a etapa de inferência. Por último é realizada a etapa de *Defuzzification* – Defuzzificação. O modelo recebe valores reais (crisp), processa as etapas da lógica difusa e, como resultado, gera novamente outros valores reais (crisp). O modelo utiliza o conceito de *Multiple Input Simple Output* (MISO) – Múltipla Entrada e Única Saída, ou seja, entram as variáveis relevância e distância e resulta a variável avaliação (AMENDOLA, SOUZA e BARROS, 2005).

O diagrama a seguir exhibe o processo da lógica difusa utilizado nesse trabalho:

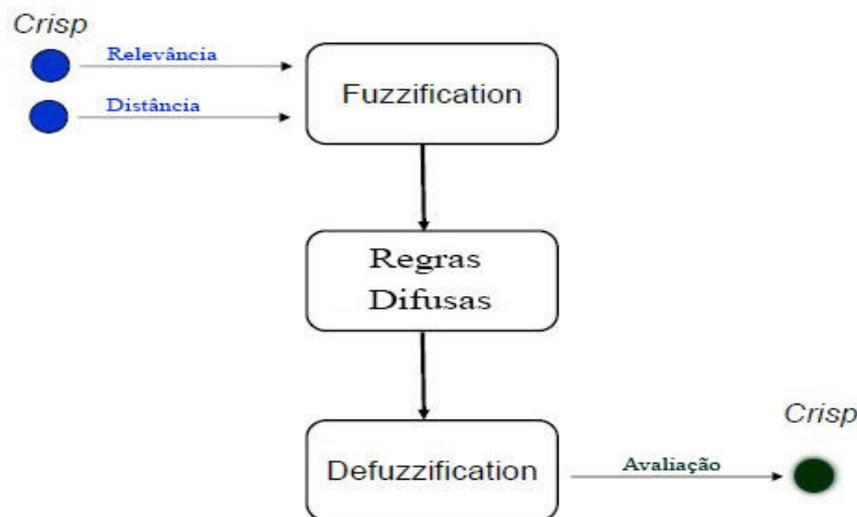


Figura 4: Processo Fuzzy Busca de Fornecedores.

3.2.1. Fuzzificação

Modelagem matemática dos valores das variáveis de entrada (critérios) através dos conjuntos difusos, ou seja, transformar os valores reais (crisp) em valores linguísticos. A equipe de compras do IFMG participou ativamente dessa fase para construir o modelo de pertinência das variáveis. Para cada variável é necessário definir termos linguísticos e atribuir uma função de pertinência. Cada valor de entrada terá um grau de pertinência em cada um dos grupos (AJAYI, ADEROUNMU, SORIYAN, 2009).

3.2.1.1. Variável de entrada distância

A variável de entrada distância obteve os termos linguísticos perto e longe como atribuição dos especialistas. Segundo a equipe de compras pode haver diferença na maneira como funções de pertinência podem ser aplicados aos valores crisp. Dessa forma, foi criado no ForFuzzy um mecanismo de escolha da distância – de acordo com a distância escolhida pelo usuário, o sistema altera a escala de função de pertinência. Os valores máximos reais dessa variável linguística podem ser 50, 100, 300, 500 e 1.000 quilômetros de distância. O gráfico de fuzzificação abaixo considera a distância máxima de 100 quilômetros para o cálculo:

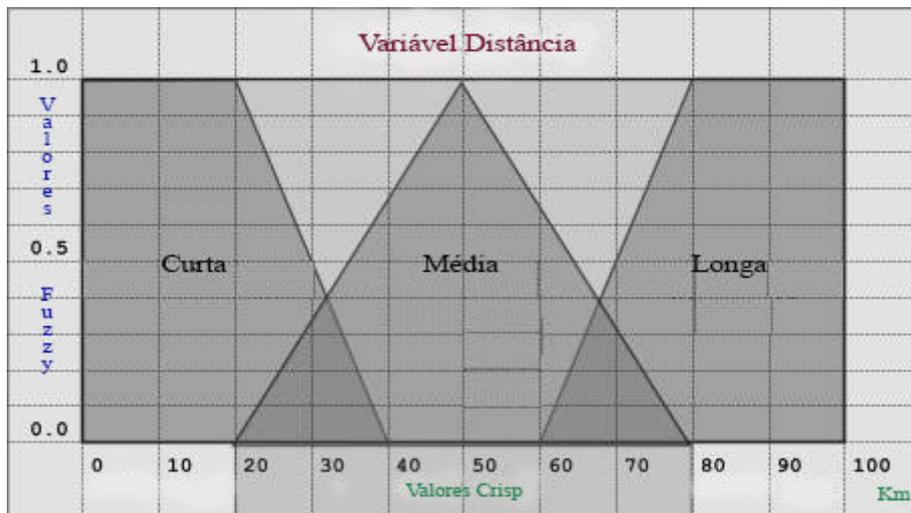


Figura 5: Funções de pertinência variável distância

Os termos linguísticos Curta, Média e Longa são considerados conjuntos fuzzy. No gráfico acima, distâncias de até 20 km representam grau de pertinência 1 no conjunto fuzzy curta. O grau de pertinência nesse conjunto decresce à medida que a distância aumenta. No intervalo entre 20 a 40 km, existe uma interseção entre os conjuntos Curta e Média, ou seja, cada valor nesse intervalo pertence aos dois conjuntos. Os formatos mais comumente utilizados para funções de pertinência são os triangulares (trimf), os trapezoidais (trapmf) e os gaussianos (gaussmf) (AMENDOLA, SOUZA e BARROS, 2005). Nesse trabalho, devido ao objeto de estudo, as funções de pertinências utilizadas para a variável distância foram Rampa invertida, Triangular e Rampa respectivamente.

3.2.1.2. Variável de entrada relevância

A variável de entrada relevância obteve os termos linguísticos (baixa e alta) com uso das funções de pertinência Rampa invertida e Rampa. A pontuação de cada fornecedor no critério relevância da busca poderá ir até 100 pontos. O usuário poderá entrar com a sua pesquisa através de um campo com 50 caracteres. O gráfico abaixo exibe as funções de pertinência da variável relevância:

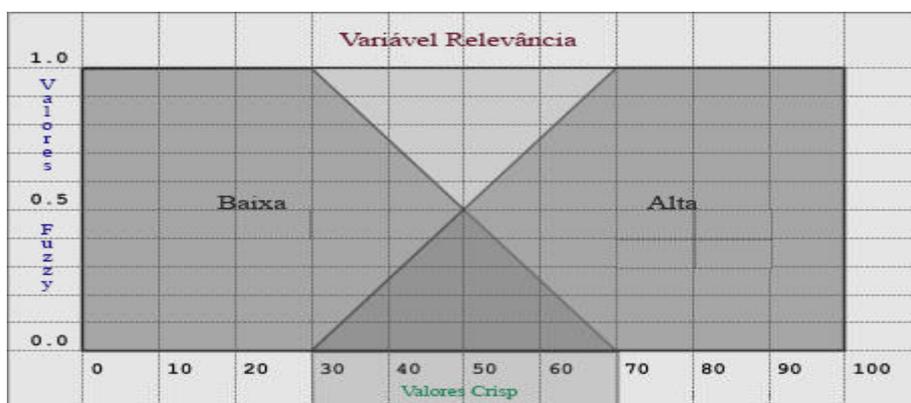


Figura 6: Funções de pertinência variável relevância da busca

3.2.1.3. Variável de saída avaliação

A variável de saída avaliação é calculada pelo modelo fuzzy, seu resultado pode ser classificado em cinco opções (Ruim, Regular, Boa, Ótima e Excelente). A variável é medida em pontos, na tabela abaixo é exibida a escala de apuração dos resultados:

Início	Meio	Fim	Avaliação	Função de Pertinência
0	10	20	Ruim	Rampa Inversa
20	30	40	Regular	Triangular
40	50	60	Boa	Triangular
60	70	80	Ótima	Triangular
80	90	100	Excelente	Rampa

Tabela 2: Funções de pertinência da variável de saída avaliação

3.2.2. Regras Difusas – Inferência

A equipe de compras do IFMG definiu as regras de inferência para o modelo. Nessa etapa percebeu-se que seria necessário modificar o peso das variáveis de entrada, isso reflete em alterar as regras de inferência, ou seja, em certos momentos o maior peso

poderia alternar entre as variáveis relevância e distância. Nesse contexto, seria necessário alterar o modelo de inferência. Foi inserido um campo no ForFuzzy chamado Maior Peso, com as opções distância e relevância, e o usuário pode mudar a maneira do sistema processar os valores de acordo com o *status* dessa variável. A literatura apresenta dois métodos de inferência, o Mamdani e o Kang-Takgi-Sugeno, a diferença básica entre os dois é o tipo de resposta e o procedimento de fuzzificação (GANGA; CARPINETTI, 2011). Esse trabalho utiliza o método Mamdani, que inclui características que transformam as variáveis de entrada em conjuntos fuzzy equivalentes e, posteriormente, as variáveis fuzzy geradas em variáveis numéricas proporcionais, adequadas para utilização no sistema ForFuzzy (MAMDANI, 1974).

A tabela abaixo exhibe as duas classes de regras de acordo com o parâmetro de **maior peso relevância**:

Regra	Inferência
Se distância é curta e relevância é alta	Então avaliação é excelente
Se distância é curta e relevância é baixa	Então avaliação é regular
Se distância é média e relevância é alta	Então avaliação é ótima
Se distância é média e relevância é baixa	Então avaliação é regular
Se distância é longa e relevância é alta	Então avaliação boa
Se distância é longa e relevância é baixa	Então avaliação é ruim

Tabela 3: Regras de inferência utilizando variável relevância como maior peso

3.2.3. Defuzzificação

O processo de defuzzificação é a conversão dos valores difusos obtidos com a etapa de inferência em valores crisp (reais), para que possa ser usado no ForFuzzy, ou seja, transformar o resultado qualitativo da variável de saída avaliação em valores quantitativos. Existem diversos métodos de defuzzificação, como: *Mean of maximum* (MOM) – Média dos máximos, *Centroid* – Centro da área, *Smallest value of maximum* – Menor valor do máximo e *Largest value of maximum* – Maior valor do máximo (NEGNEVITSKY, 2011). Nesse trabalho, utilizou-se o método Média dos máximos, que consiste em tomar os valores de pertinência máximos no eixo difuso (eixo y) e os valores de pertinência máximo no eixo crisp da avaliação. Para cada valor crisp, verifica-se o valor correspondente no eixo difuso, o resultado final é a média dos

máximos dos dois eixos. A expressão abaixo representa o somatório final da variável avaliação:

$$Z^* = \sum_{j=1}^n \frac{Z_j}{L}$$

Dada a equação acima, Z é o valor crisp de cada eixo x, multiplicado pelo valor correspondente fuzzy, representado por j no intervalo de 1 a n, dividindo-se por L que representa o total dos valores crisp do eixo y no intervalo de 1 a n.

A figura abaixo exhibe o processo de defuzzificação pelo método MOM:



Figura 7: Defuzzificação pelo método MOM

3.3. Sistema ForFuzzy

O Sistema de Apoio a Decisão ForFuzzy foi desenvolvido com o propósito de aplicar o modelo criado com a lógica difusa para validação do problema de busca de fornecedores do IFMG. O ForFuzzy foi desenvolvido em linguagem PHP e banco de dados MySQL. O sistema está hospedado no endereço www.ecot.com.br/forfuzzy/ e utiliza o servidor web Apache para atender as requisições. O sistema permite filtro por estado, por fornecedor e por distância. A arquitetura do sistema foi projetada semelhante aos modelos de buscadores web existentes. A imagem abaixo exhibe a tela principal do ForFuzzy com a explicação de cada elemento:

www.ecot.com.br/forfuzzy/index.php

ForFuzzy - Busca de Fornecedores com lógica difusa

Informe a sua localização: Estado e endereço de origem para cálculo de distância

Cidade: Belo Horizonte Endereço: Rua Alessandra Salum Cadar, 201 Latitude: -19.9800463 Longitude: -43.9684532

Estado: Minas Gerais Filtrar somente no estado? Sim Utilizar google para cálculo distância? Sim Se o usuário desejar calcular distância pelo Google

Parâmetros Fuzzy: Se o usuário deseja filtrar somente os fornecedores localizados no estado escolhido

Maiores Resultados: Distância Distância: Até 50km Distância máxima para exibir os fornecedores

Informe a pesquisa: Fornecedor: for Produto ou Serviço: tecnologia da informação

Procurar Pesquisa por nome do fornecedor Pesquisa por produto ou serviço oferecido pelo fornecedor

Qte. Registros : 88 - Tempo Consulta Banco : 0.038130044937134 - Tempo Busca Relevância : 0.014485359191895 - Tempo Cálculo Fuzzy : 0.012118339538574 Dados da Pesquisa

Cnpj	Nome	Ramo/Atividade	Localização	Distância(km)	Relevância	Avaliação
00.325.244/0001-44	LIGA SISTEMAS DE INFORMATICA LTDA	SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO, DE APOIO ADMINISTRATIVO E OUTROS SERVIÇOS PRESTADOS ÀS EMPRESAS Informática - Administração e Operação em Processamento de Dados ANTENAS, GUIAS DE ONDA E ITENS CORRELATOS VESTUÁRIO PARA FINS ESPECIAIS Consultoria e Assessoria - Telemática Consultoria e Assessoria - Tecnologia Informação Informática - Armazenamento Eletrônico de Relatórios / Dados MATERIAIS DIVERSOS PARA CONSTRUÇÃO SINCRONIZADORES E ANALISADORES Consultoria e Assessoria - Informática Informática - Automação de Escritório Informática - Acompanhamento / Análise Processo INSTRUMENTOS, EQUIPAMENTOS E SUPRIMENTOS MÉDICOS E CIRÚRGICOS PRODUTOS QUÍMICOS Informática - Atualização (Up Grade) de Configuração de Equipamento / Programa	Rua Paul Bouthillier, nº 207 - Belo Horizonte - MG	99999	42.46	10
00.859.752/0001-02	LGE SISTEMAS & SOLUCOES EM INFORMATICA LTDA	ORGANISMOS INTERNACIONAIS E OUTRAS INSTITUIÇÕES EXTRATERRITORIAIS Locação de Computador - Médio / Grande Porte Informática - Locação Equipamentos Treinamento Informática - Operação / Digitação Informática - Estudo e Projeto de Instalações Físicas Informática - Atualização (Up Grade) de Configuração de Equipamento / Programa Treinamento Informática - Sistema / Software Locação de computadores / Periféricos Informática - Projeto Rede Dados Consultoria e Assessoria - Informática Consultoria e Assessoria - Processamento Eletrônico de Documentos Consultoria e Assessoria - Negócios Serviço Educacional - Básico / Fundamental / Médio Consultoria e Assessoria - Telecomunicação Consultoria e Assessoria - Certificação GRUPO DE DISPOSITIVOS FUNCIONANDO COMO UM SISTEMA Cirurgia Aparelho Digestivo e Órgãos Anexos - Fígado e Vias Biliares Informática - Programas Fechados (Software) Instalação de Rede Local de Microcomputador Estudos e Projetos de Instalação de Rede Comunicação / Local Registro de Programa de Computador Informática - Instalação / Manutenção de Periférico Inativo Treinamento Informática - Equipamento / Hardware Informática - Manutenção de computadores Transplante de Dados do Pé para a Mão Informática - Desenvolvimento / Implantação / Manutenção Re-de de Computador Consultoria e Assessoria - Organização e Métodos Consultoria e Assessoria - Internet Prestação de Serviços de Informática Operação de Computador Consultoria Técnica - Documentação Consultoria e Assessoria - Telemática Informática - Instalação / Manutenção de Rede Prestação de Serviços de Informática Informática - Locação (Software) Consultoria e Assessoria - Tecnologia Informação Informática - Disquete Formataado (Software) Estudos e Projetos de Instalação de Rede Local de Microcomputador Serviços de Tecnologia da Informação e Apoio Técnico de Atividades de Informática Informática - Suporte Técnico (Software) Consultoria e Assessoria - Administração de Material	Av. Nossa Senhora do Carmo 1191 - conjunto 305 e 304 - Belo Horizonte - MG	99999	73.69	10
01.064.789/0001-07	W3 INFORMATICA LTDA	ORGANISMOS INTERNACIONAIS E OUTRAS INSTITUIÇÕES EXTRATERRITORIAIS Informática - Acompanhamento / Análise Processo Serviços de Tecnologia da Informação e Apoio Técnico de Atividades de Informática Informática - Suporte Técnico (Software) Informática - Internet Informática - Locação (Software) Prestação de Serviços de Informática Informática - Programas Fechados (Software) Informática - Manutenção/Instalação Sistemas/Periféricos Treinamento Informática - Sistema / Software Consultoria e Assessoria - Informática	Avenida do Contorno - Belo Horizonte - MG	99999	73.69	10
01.342.793/0001-90	LINKCOM INFORMATICA LTDA	SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO, DE APOIO ADMINISTRATIVO E OUTROS SERVIÇOS PRESTADOS ÀS EMPRESAS Serviços de Tecnologia da Informação e Apoio Técnico de Atividades de Informática Informática - Acompanhamento / Análise Processo Consultoria e Assessoria - Informática Treinamento Informática - Sistema / Software Informática - Manutenção/Instalação Sistemas/Periféricos Informática - Programas Fechados (Software) Consultoria e Assessoria - Tecnologia Informação Informática - Locação (Software) Prestação de Serviços de	Avenida do contorno, 2905 SALA 304 - Belo Horizonte - MG	99999	73.69	10

Figura 8: Tela de Pesquisa do ForFuzzy

3.3.1. Integração com Sicaf

O primeiro desafio do trabalho foi criar um modelo de integração com o Sicaf. Apesar de o sistema possibilitar a interoperabilidade através de API, sua base de dados contém atualmente 239.014 fornecedores cadastrados. Com uma base extensa assim, diversos fatores devem ser pensados, principalmente em relação a desempenho e atualização. A base de dados está disponível na internet através de *arquivo Extensible Markup Language (XML) – Linguagem Extensível de Marcação* e *JavaScript Object Notation (JSON) – Subconjunto da Notação de Objeto de JavaScript*. Esses dois formatos são utilizados para integração de sistemas de informação, conforme aponta Ramalho (2010).

Para evitar que algum sistema conecte-se no Sicaf e faça uma consulta muito grande, o que poderia provocar a interrupção dos serviços, o Serpro limitou a consulta de registros de fornecedores em no máximo 200 registros. Para que a consulta seja realizada, é necessário acessar o endereço <http://api.comprasnet.gov.br/sicaf/v1/consulta/fornecedores.xml?offset=0>. O parâmetro *offset* é utilizado para paginação, cada página contém 200 registros. Considerando a

quantidade de fornecedores existente no Sicaf, temos 1.195 páginas com o resultado do banco de dados de fornecedores do Sicaf. Dessa forma, seria inviável a consulta diretamente ao site ou mesmo baixando cada arquivo de dados, pois o desempenho seria extremamente baixo. Um fator importante é que os dados dos fornecedores não são alterados com frequência, o que facilita a criação de um modelo de integração capaz de manter os dados sincronizados. Devido ao tamanho da base de dados, optou-se por criar uma integração que pudesse gerar um banco de dados relacional para o ForFuzzy com os dados do Sicaf, assim seria possível executar consultas no ForFuzzy com desempenho satisfatório ao usuário. Foi criado um sistema de integração entre o Sicaf e o ForFuzzy, o sistema executa a cada três dias e sua lógica consiste em inicialmente baixar todos os arquivos de dados em formato XML e, em seguida, atualizar o ForFuzzy. Para manter os dados atualizados e otimizar a aplicação, quando o mecanismo detecta que o registro já existe no ForFuzzy, ele simplesmente atualiza os dados alterados.

4. Resultados

Os resultados obtidos com a aplicação da lógica difusa no problema de seleção de fornecedores do IFMG foram muito interessantes para a instituição. Através do modelo difuso, é possível aproveitar os resultados da pesquisa de acordo com as necessidades do IFMG em momentos distintos.

4.1. Validação

Foram realizados testes no sistema ForFuzzy com o objetivo de apurar e certificar a eficácia da lógica difusa em relação ao método de consulta normal disponível ao IFMG. As consultas foram aplicadas sem o modelo difuso e com o modelo difuso, e ao final é exibido um comparativo dos dois modelos. Os dados da imagem abaixo foram utilizados **como entrada** no sistema ForFuzzy para busca dos fornecedores:

Figura 9: Busca de fornecedores no ForFuzzy

A tabela abaixo exibe um comparativo da mesma consulta executada no modelo difuso e no modelo normal. Nota-se que no modelo difuso o primeiro colocado possui alta relevância com os critérios escolhidos na busca referente ao termo **suprimentos de raios-x**.

SEM MODELO DIFUSO				COM MODELO DIFUSO			
Fornecedor	Distância	Relevância	Avaliação	Fornecedor	Distância	Relevância	Avaliação
Cores Informatica Ltda	6.936	21.23	Sem	Informatica Quality Comercio e Serviços Ltda	10.479	73.69	92.483
Jcs - Tecnologia em Informacao Ltda	7.388	21.23	Sem	Datafilme Sistemas de Imagem e Informação Ltda	11.119	73.69	92.483
Comw - Teknotrafo Transformadores Ltda	9.143	21.23	Sem	Capital Papelaria e Informatica Ltda – ME	18.319	73.69	73.755

Tabela 4: Comparativo modelo difuso e modelo normal

Como informado anteriormente, o ForFuzzy possui um parâmetro para o usuário escolher o Maior Peso, esse parâmetro pode ser configurado para Distância ou Relevância, a tabela abaixo exibe a distinção gerada na alternância deste parâmetro, pode-se notar que alterando o parâmetro de maior peso, com valores de distância e relevância iguais, a avaliação do fornecedor é alterada. Isso ocorre devido a diferenças nas regras de inferência. A consulta foi realizada inserindo no campo de fornecedor a expressão **for**, buscando fornecedores de até **500 km**, e no campo serviço ou produto, a expressão **locação de computadores**:

Fornecedor	Posição	Maior Peso	Distância (km)	Relevância	Avaliação
AO VIVO TELEINFORMATICA MULTIMIDIA E COMERCIO LTDA-EPP	30	Relevância	203.21	73.69	79.482968758042
AUGE INFORMATICA LTDA	39	Relevância	141.02	42.46	56.302600018966
AUGE INFORMATICA LTDA	121	Distância	141.02	42.46	69.043219854782
AO VIVO TELEINFORMATICA MULTIMIDIA E COMERCIO LTDA-EPP	122	Distância	203.21	73.69	68.44307993206

Tabela 5: Diferença no resultado avaliação de acordo com o maior peso

4.2. Conclusão

O presente trabalho utiliza lógica difusa para gerar um modelo para busca otimizada de fornecedores. O modelo foi aplicado dentro de um Sistema de Apoio à Decisão chamado ForFuzzy e validado no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). O resultado mostra-se extremamente eficiente com o uso de lógica difusa para ambientes de tomada de decisão com grau elevado de incerteza sobre os critérios e suas pertinências, contudo, nota-se também que a aplicação do método é mais indicada e adequada quando muitos critérios são utilizados para seleção. Os resultados apontam que a lógica difusa aproxima mais os resultados do modelo real, o que considera incertezas, imperfeições e variações constantes.

Referências bibliográficas

- AJAYI, Anthony Olufemi; ADEROUNMU, Ganiyu Adesola; e SORIYAN, Hettie Abimbola. *An adaptive fuzzy information retrieval model to improve response time perceived by e-commerce clients*. Ile-Ife: Obafemi Awolowo University, 2010.
- ARIKAN, Feyzan. *A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection*. Ankara: Elsevier; Gazi University, 2012.
- AMENDOLA, Mariangela; SOUZA, Anderson Luiz de; e BARROS, Laécio Carvalho. *Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no Matlab 6.5*. Campinas: CPG/Feagri/Unicamp, 2005.
- ALVES, Tomaz Rodrigo; e SOUZA, Cesar Alexandre. *Compras eletrônicas governamentais: uma avaliação dos sites de e-procurement dos governos estaduais brasileiros*. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação*, Curitiba, v. 10, n. 1, jan-jun. 2011.
- BRAÑA, Juan Pablo. *Processo de tomada de decisão em projetos de exploração e produção de petróleo: uma abordagem sistêmica com aplicação da teoria de lógica fuzzy*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- DAVENPORT, Thomas H. *Ecologia da informação*. São Paulo: Futura, 2001. Cap. 1.
- _____; PRUSAK, Laurence. *Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual*. São Paulo: Elsevier, 1998. Cap. 7.

CHOO, Chun Wei; e ROCHA, Eliane. *A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar conhecimento, construir conhecimento e tomar decisões*. São Paulo: Senac, 2006. Cap. 1.

GANGA, Gilberto Miller Devós; e CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Gestão do desempenho em cadeias de suprimentos usando lógica fuzzy. *Gestão & Produção*, UFSC, v. 18, n. 4, 2011.

GIL, Antônio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas, 1994. Caps. 3 e 8.

MAMDANI, Ebrahim. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of The Institution of Electrical Engineers*, v. 121, n. 12, 1974, p. 1585-1588.

NEGNEVITSKY, Michael. *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. Addison-Wesley, 2005.

PANG, Bohui; BAI, Shizhen. An integrated fuzzy synthetic evaluation approach for supplier selection based on analytic network process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 24, Issue 1, fev. 2013, p. 163-174.

RAMALHO, Luciano. *O modelo de dados semiestruturado em bases bibliográficas: do CDS/ISIS ao Apache CouchDB*. Monografia (Graduação em Biblioteconomia) – Universidade de São Paulo, 2010.

ROBUSTO, C.C. The Cosine-Haversine Formula. *The American Mathematical Monthly*, v. 64, n. 1, jan. 1957, p. 38-40.

SINGHAL, Amit. Modern information retrieval: a brief overview. *Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering*, v. 24, n. 4, 2001, p. 35-42.

SHIN, Kuang Hsun; HUNG, Hsu-Feng; e LIN, Binshan. *Supplier evaluation model for computer auditing and decision-making analysis*. Bingley: Emerald, 2009.

TANSCHKEIT, Ricardo. *Sistemas fuzzy*. Rio de Janeiro: DEE- PUC-Rio, 2008.

WU, Cheng-Ru; CHANG, Che-Wei; e LIN, Hung-Lung. A fuzzy ANP-based approach to evaluate medical organizational performance. *International Journal of Information and Management Sciences*, Tamkang University, v. 19, n. 1, 2008, p. 53-74.