

Um Sistema de Seleção de Sítios Nucleares baseado no Modelo *EPRI Siting Guide*

usando Lógica Fuzzy: Mitigando Riscos na Localização do Sítio

Eng. Carlos Frederico Barros - LABRISK - Laboratório de Engenharia de Alta Complexidade

- Riscos Tecnológicos e Ambientais UFF/Universidade Federal Fluminense e Garta - Grupo

de Análise de Risco Tecnológico e Ambiental COPPE/UFRJ

Eng. Drausio Lima Atalla -Eletronuclear

Prof. Carlos Alberto N. Cosenza (Labfuzzy - COPPE/ UFRJ)

Resumo

Este artigo objetiva exercitar uma aplicação de Lógica Fuzzy suportando o Processo de Seleção de Sítios Nucleares estabelecido pelos Conceitos e Critérios do *Electric Power Research Institute- EPRI Siting Guide*. Na área nuclear o principal processo de mitigação de risco se inicia na fase de localização da usina nuclear. Este modelo preconiza o uso de uma árvore de decisão com 4 grandes fases, envolvendo critérios de exclusão, evitação que a partir de uma região de interesse nas fases 1 e 2 gera áreas candidatas e sites potenciais, e nas fases 3 e 4 com critérios de adequação, ponderação e funções utilitárias, determina o site excelente para o empreendimento de uma usina nuclear. A Lógica Fuzzy se apresenta como uma poderosa ferramenta de resolução de problemas com uma variedade de aplicações neste tipo de condição decisória. Este artigo estabelece uma abordagem sistêmica, usando lógica difusa, para integrar as várias dimensões da intervenção, descrevendo os conceitos de um sistema integrado de avaliação representados por *Fuzzy Maps*, buscando a maximização dos resultados para os stakeholders, e a minimização dos impactos adversos para a comunidade hospedeira e a sociedade como um todo. Em última análise, o processo de escolha da localização do sítio nuclear deve ter como filosofia, fornecer resultados razoáveis e imparciais para um observador neutro.

Palavras chave: Lógica Fuzzy, Indústria Nuclear, Sites Nucleares, Sistemas de Avaliação e Seleção, Sistemas Multicritério de Apoio a Decisão, Gestão de Risco.

1-Introdução

1.1-Considerações sobre a Indústria Nuclear no Brasil e no Exterior

A volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis e a crescente preocupação com efeito estufa estão conduzindo para um "renascimento nuclear" em torno do mundo. Atividades de construção de plantas estão em processo em 12 países, e planos de desenvolvimento de novas usinas nos Estados Unidos estão mais próximos de comercialização que eles foram, em quase

30 anos. Um recente relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* cita a energia nuclear como uma das principais tecnologias de mitigação para o tratamento do efeito estufa. *EPRI-Electric Power Research Institute*, também examinou atentamente pelas opções de mitigação nas mudanças climáticas. Conforme pedido do seu conselho de administração, o *EPRI* examinou as possibilidades técnicas de redução de dióxido de carbono (CO₂) nos Estados Unidos no segmento de produção de Energia Elétrica. O *EPRI-Electric Power Research Institute* constatou que não existe uma tecnologia que resolve por si só o problema, mas dentro do portfólio de tecnologias necessárias para reduzir significativamente os impactos no clima, a energia nuclear se apresenta como uma oportunidade. Segundo a análise da *EPRI*, a significativa expansão nuclear necessária americana, 64 gigawatts de nova capacidade até 2030, poderia evitar a emissão cerca de 260 milhões de toneladas de CO₂ anuais pelo setor de eletricidade nos EUA. A expansão da energia nuclear mundial é estimada em cerca de ser de cinco a dez vezes mais em gigawatts, e deve produzir proporcionalmente maiores reduções (CLAMP, *EPRI Journal - Summer*, 2007). Na figura 1 demonstramos uma potencial solução tecnológica a ser adotada.

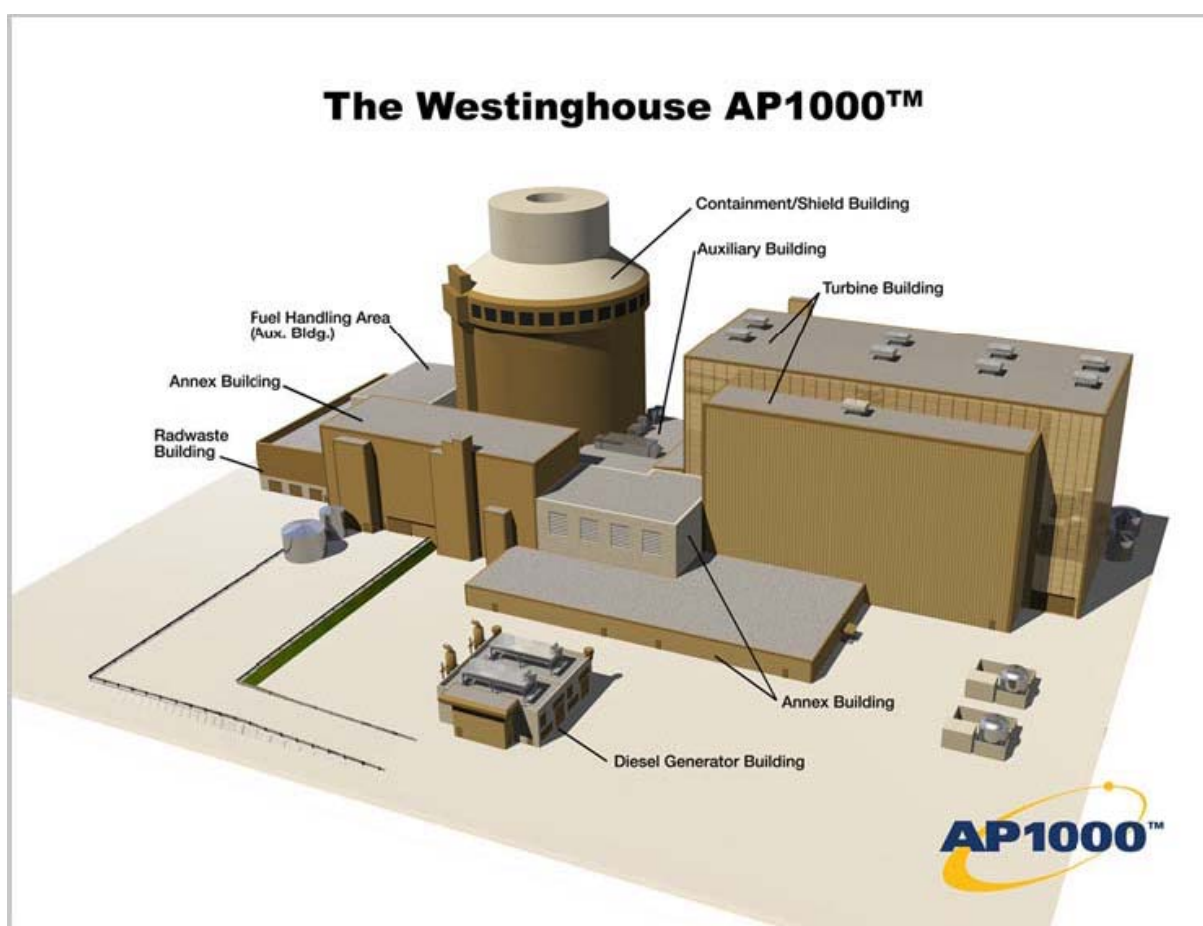


Figura 1 - Exemplo de Tecnologia disponível para Seleção- AP1000 Standard Plant Layout

The Future of Nuclear Power – An Interdisciplinary MIT Study é um estudo do Massachusetts Institute of Technology em 2003, que estima que até 2050 existam entre 1000 e 1500 novas usinas nucleares de 1000 Mwe no mundo.

A competitividade nuclear aumenta conforme as preocupações sobre alterações climáticas continuam a se expandir (ATALLA, 2009). No Brasil, estamos na expectativa de crescimento de sua capacidade de geração núcleo-elétrica através da construção de novas usinas nucleares. Estimam-se entre 17 e 34 usinas de 1000 Mwe até 2050(PNE 30-Eletronuclear).

Dentro desta realidade, entendemos que o processo de localização destes sítios deve buscar a máxima transparência para a sociedade civil, assim como os parâmetros técnicos adequados o balizem para que a otimização do mesmo produza a escolha ótima e atenda a todos os stakeholders.

1.2 Caracterizando as Questões de Localização de Usinas Nucleares

O sucesso do empreendimento nuclear de potência, que compreende a seleção do sítio, seleção de tecnologia, estruturação econômica, obtenção de financiamento, construção e operação depende de um adequado controle de riscos em cada uma destas etapas (*EPRI Siting Guide*, 2002). Portanto ter um processo de seleção acurado e adequado para localização do sítio contribui para a mitigação de riscos do empreendimento.

Conforme ATALLA, 2009 em exposição sobre as questões no processo de localização para sítios nucleares, tornam-se fundamentais os aspectos abaixo:

1.2.1. Seleção de Sítios

- Condições Prévias para Avaliação de Sítios Potenciais
 - Decisão empresarial básica pela viabilidade econômica de uma nova instalação nuclear de potência.
 - Existência de mercado para a nova energia.
 - Identificação da macro-região.
 - Concordância prévia de organizações públicas e regulatórias.

1.2.2. Princípios Fundamentais do Processo de Seleção de Sítio

1. A seleção deve considerar diversos sítios dentro de uma região de interesse.
2. Deve propiciar oportunidade para envolvimento do público.
3. Deve fornecer resultados razoáveis e imparciais para um observador neutro.

Conforme o estudo da *McCallum-Turner Consulting, Nuclear Power Plant Site Selection: Strategic and Regulatory Considerations* do especialista Kyle Turner, são considerações estratégicas no processo de seleção os aspectos, como:

- 1- A definição da região de interesse deve ter razoáveis alternativas
- 2- Haver um casamento do processo decisório com os aspectos regulatórios
- 3- Nível de detalhe acurado deve ocorrer em cada etapa do processo
- 4- Confidencialidade das investigações on-site é fundamental
- 5- Facilidade de acesso ao Sítio é condição sine qua non
- 6- Dados de qualidade devem ser obtidos (publicamente disponível versus on-site)

As condições de subjetividade e complexidade nos sugerem o uso de Lógica Fuzzy como provedora de um sistema de solução (Cosenza, 2006). Neste artigo temos em mente modelar através da Lógica Fuzzy um sistema de apoio decisório para localização de sítios nucleares. Um fato relevante na utilização de Lógica nebulosa é que ela permite utilizar variáveis que, ao

contrário da lógica booleana, descartaria a localidade, tornando-a apta ou não apta, mas fornecendo valores graduais num intervalo de $[0,1]$ em vez de valores abruptos. Estes valores obtidos podem compensar uns aos outros, fazendo com que se tenha um conjunto de resultados que permitam chegar a um resultado final em que possam ser utilizados pesos e se tomar uma decisão. Este conceito tem grande aderência as fases 3 e 4 do Modelo *EPRI* preconizado para seleção que a frente desenvolveremos.

2-Conceitos de Lógica Fuzzy

2.1 Introdução

Seres humanos tomam decisões considerando não valores exatos, mas sim utilizando uma lógica que leva em conta um certo "grau de pertinência" das variáveis envolvidas no processo decisório. Não se liga, por exemplo, o ar condicionado em 27°C , às 9,57 h, e umidade relativa do ar em 77%, mas sim, quando está quente, no começo da manhã e quando o ar está abafado. Estas variáveis lingüísticas podem ser melhor descritas e manipuladas num conjunto Fuzzy. A Lógica Fuzzy é assim, uma generalização da lógica clássica que permite incluir a imprecisão (*fuzziness*) nos processos decisórios (Bauchspiess, 2004).

A lógica fuzzy foi desenvolvida por Lofti A. Zadeh nos anos 60 como um meio para modelar a incerteza da linguagem natural. Áreas como engenharia, química e física, por exemplo, constroem modelos matemáticos de fenômenos empíricos e utilizam esses modelos para fazer previsões. Entretanto, alguns aspectos do mundo real não podem ser tratados pela precisão matemática e geralmente é uma alusão imprecisa da realidade.

Segundo Terano et al (1991) a linguagem natural contém ambigüidade e uma multiplicidade de significados expressos em termos, adjetivos e palavras, as quais são geralmente qualitativas. Expressões como alto, baixo, quente, novo e velho dentre outras carregam certo grau de abstração e ambigüidade. Desse modo o significado de cada uma será relativo em função do contexto no qual o problema está sendo tratado.

Neste sentido segundo Zadeh (1988) o principal sobre a lógica fuzzy é que de modo diferente dos sistemas lógicos clássicos, ela procura modelar a imprecisão do raciocínio possibilitando a dedução de uma resposta aproximada a uma questão baseada um conhecimento incompleto ou impreciso.

Segundo Kandel (1986) um dos objetivos da teoria dos conjuntos fuzzy é o desenvolvimento de uma metodologia para a formulação e solução de problemas que são complexos e indefinidos para serem suscetíveis de resolução pelas técnicas convencionais. A seguir são apresentados os conceitos que fundamentam a lógica fuzzy, assim como aspectos relacionados ao seu emprego para apoio a tomada de decisão na construção de um sistema de avaliação integrado de impactos para megaeventos.

2.2. Conjuntos fuzzy

Nos conjuntos clássicos a pertinência de um elemento é indicada pelo valor 1 para os pertencentes ao conjunto e pelo valor 0 para os não pertencentes. No caso dos conjuntos fuzzy o grau de pertinência é definido no intervalo entre 0 e 1, possibilitando verificar a transição gradual entre um elemento pertencente ou não pertencente ao conjunto. Neste sentido Zadeh (1965) considera os conjuntos nebulosos como uma generalização dos conjuntos ordinários tendo em vista que não possuem uma fronteira claramente delimitada, trabalhando num intervalo e não pontualmente.

Nos conjuntos fuzzy a função de pertinência é um elemento fundamental que permite determinar o grau em que um elemento pertence ou não a um determinado grupo, sendo

representado por um conjunto de pares ordenados em que estão definidos o elemento e o seu grau de pertinência. Pode ser denotado por $\tilde{A} = \{x, \mu(x) / x \in U\}$, onde U é o universo de discurso e o conjunto domínio de todos os fatores considerados, x é o elemento do conjunto fuzzy e $\mu(x)$ é a função de pertinência associada a \tilde{A} . Matematicamente podemos representar a função de pertinência pela seguinte expressão: $\mu(x): U \rightarrow [0,1]$.

2.3. Números fuzzy

De acordo com Randel (1986) um número fuzzy é aquele caracterizado por uma distribuição de possibilidades ou ainda como um subconjunto fuzzy de números reais. Neste sentido Tanaka (1996) considera que para dado conjunto A de números reais no universo R ser considerado um número fuzzy as seguintes condições devem ser satisfeitas: i). Que A seja um conjunto fuzzy convexo; ii). Haja somente um único x_0 que satisfaça $\mu_A(x_0)=1$; e que μ_A seja contínua em um dado intervalo.

Os números fuzzy podem ser representados de várias maneiras sendo as formas trapezoidais e triangulares as mais utilizadas. A figura 2 mostra a representação de um número fuzzy trapezoidal e sua função de pertinência.

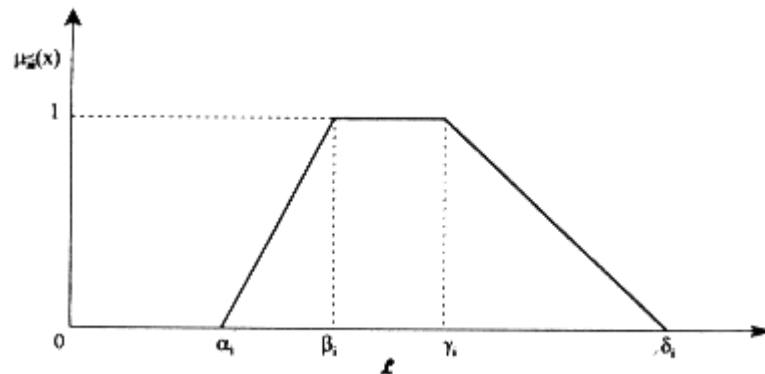


Figura 2

Para o número apresentado na figura 2 a função de pertinência pode ser denotada conforme a seguinte expressão:

$$\mu_{\tilde{a}_i}(x) = \begin{cases} 0, & x < \alpha_i, \\ (x - \alpha_i)/(\beta_i - \alpha_i), & \alpha_i < x < \beta_i, \\ 1, & \beta_i < x < \gamma_i, \\ (\delta_i - x)/(\delta_i - \gamma_i), & \gamma_i < x < \delta_i, \\ 0, & x > \delta_i. \end{cases}$$

2.4. Variáveis lingüísticas

No mundo real as noções de incerteza e imprecisão presentes nas formas lingüísticas de expressão da linguagem natural podem ser representadas matematicamente pelo tratamento destas variáveis. Segundo Zadeh (1975), uma variável lingüística é aquela na qual os valores são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial, sendo aplicadas em situações que não podem ser razoavelmente descritas pelas expressões quantitativas tradicionais. Essas variáveis são expressas por valores como, por exemplo, muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

Segundo Cox (1994) a idéia de variável lingüística é o conceito central da técnica de modelagem fuzzy. Nesse sentido ela nomeia um conjunto fuzzy e engloba as propriedades dos conceitos de impreciso e aproximado de modo sistemático e computacionalmente utilizável. Isto reduz a complexidade aparente da descrição do sistema pelo uso de um valor semântico para o conceito considerado e permite representar um espaço matemático fuzzy, conforme apresentado na figura 3.

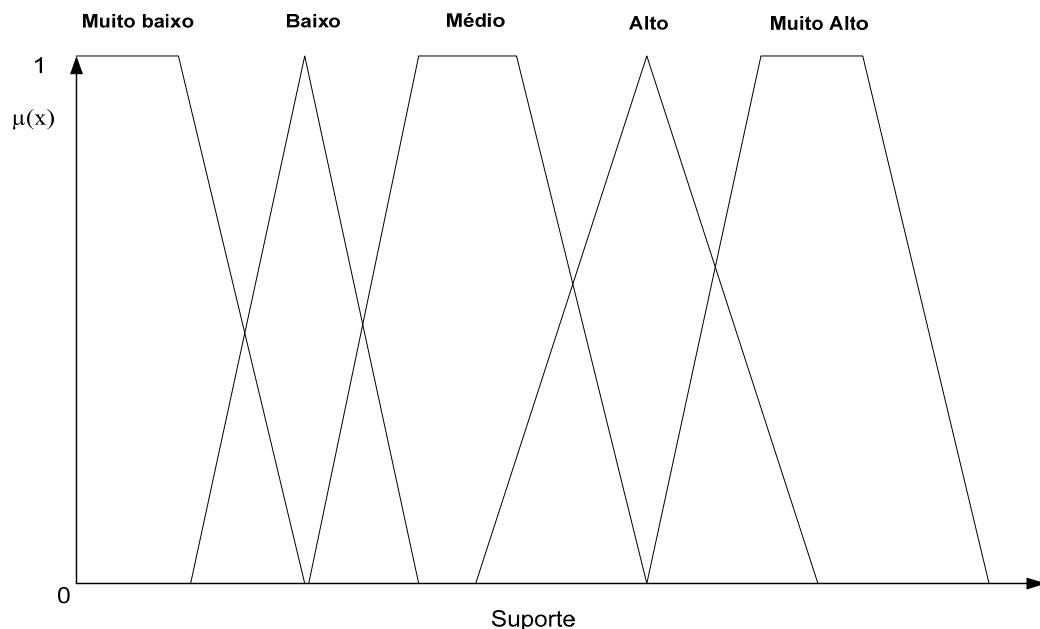


Figura 3. Representação das variáveis lingüística por números fuzzy padrão

3 - O Modelo *EPRI Siting Guide*- Conceituação da Localização de Sítios Nucleares

O Método *EPRI Siting Guide* é um processo de quatro etapas, envolvendo a aplicação sequencial de critérios de exclusão, evitação e adequação, bem como o desenvolvimento de fatores de ponderação a serem aplicados sobre os critérios de adequação. Além de considerar a legislação vigente no país, estados e municípios e as boas práticas e critérios internacionais, o processo de seleção deve considerar fatores socioeconômicos, de engenharia, e de negócios, resultando num processo decisório que atenda aos objetivos dos *stakeholders*. Três princípios são fatores de sucesso para o processo:

- o processo de seleção deverá considerar diversos sítios possíveis dentro de uma região de interesse
- o processo deverá assegurar adequadas oportunidades de envolvimento do público

-o processo de escolha da localização do sítio nuclear deve ter como filosofia, fornecer resultados razoáveis e imparciais para um observador neutro.

Conforme descrito por ATALLA, 2009, no documento PNE 30, o *EPRI Siting Guide* assim procede:

3.1-ETAPAS DO PROCESSO DE SELEÇÃO DE SÍTIO

3.1.1-Critério de Exclusão

A região de interesse é avaliada através de critérios de exclusão, visando eliminar áreas onde a instalação de usinas nucleares é inviável devido a impedimentos regulatórios, institucionais, de projeto, ambientais e outros.

3.1.2-Critério de Evitação

As áreas não eliminadas na etapa 1 são avaliadas com informações mais detalhadas, visando identificar e excluir áreas protegidas por razões por exemplo de:

- - Adensamento Populacional
- - Razões Ecológicas (APA's, Unidades de Conservação)
- - Estruturas geológicas e falhas
- - Suprimentos de água para refrigeração
- - Terrenos alagadiços.

3.1.3-Critério de Adequação

- As etapas 1 e 2 têm por objetivo eliminar, por inconsistência, grandes áreas dentro da região escolhida.
- As áreas remanescentes são presumivelmente aceitáveis.
- O foco do processo se altera para a avaliação relativa de sítios, e a identificação daquele que possui o conjunto mais favorável de condições para assentar uma usina nuclear.
- Tem por objetivo a identificação e classificação de um número pequeno de áreas candidatas para estudos mais detalhados.
- Características favoráveis de diversos critérios de cada sítio são comparadas e classificadas.

Nesta etapa, as informações sobre os sítios são mais detalhadas, requerendo investimentos maiores

3.1.4-Identificação do Sítio Preferido

- O objetivo é selecionar o sítio mais adequado entre os candidatos.
- Avaliações adicionais dos sítios candidatos são realizadas com dados mais detalhados e graus mais elevados de confiança.
- Sítios Voluntários: caso seja adotada uma abordagem de escolha determinística de sítio (sítio voluntário), este deverá demonstrar, através de um processo técnico de escolha, não ser inferior a outros sítios em potencial.

3.2. ASPECTOS CONSIDERADOS NA SELEÇÃO DE SÍTIOS

- Saúde

- Segurança
- Ambiental
- Socioeconômico
- Uso de Terras
- Engenharia
- Custos

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE SÍTIOS

- Saúde e Segurança

- Geologia/sismologia
- Movimento vibratório do solo
- Falhas geológicas
- Perigos geológicos
- Estabilidade do solo
- Suprimento de água (para sistemas de emergência)
- Requisitos de temperatura ambiente
- Inundações
- Instalações perigosas nas proximidades
- Ventos
- Precipitação de chuva
- Densidade populacional
- Planejamento de emergência
- Dispersão atmosférica
- Capacidade de diluição
- Proximidade de consumidores de água

- Critérios Ambientais

- Interrupção de espécies/habitats importantes
- Contaminações em potencial
- Pântanos

- Profundidade do lençol freático
- Efeitos sobre espécies migratórias
- Qualidade da água
- Contaminação de fontes a montante
- Taxas de sedimentação
- **Critérios Sócio-Econômicos**
 - Impactos durante a Construção
 - Impactos durante a Operação
 - Justiça Ambiental
 - Efeitos sobre o Uso da Terra
- **Critérios Relacionados a Engenharia e Custos**
 - Suprimento de Água
 - Distância de bombeamento
 - Inundação
 - Movimento vibratório do solo
 - Estabilidade do solo
 - Acesso ferroviário
 - Acesso rodoviário
 - Acesso hidroviário
 - Transmissão
 - Topografia
 - Direitos sobre a terra
 - Custo da mão-de-obra

Cada um destes critérios pode ser de exclusão, evitação e/ou de adequação.

As etapas 1 e 2 são geográficas por natureza, uma vez que a discriminação de grande área de interesse tem por objetivo identificar vários locais discretos com áreas suficientes para a instalação de novas unidades nucleares. O resultado são áreas candidatas. O emprego de um

(GIS) sistema de informação geográfico é fator de sucesso. A comparação de sítios individuais com base em suas adequações relativas é o foco das etapas 3 e 4. Nestas fases são fundamentais informações acuradas e on-site. Para avaliar a adequação de cada sítio potencial na etapa 3 e cada sítio na etapa 4, cada critério é avaliado de forma independente. Esta avaliação é realizada através de funções utilitárias que traduzam características quantificáveis dos sítios numa escala comum e são usados fatores de ponderação da importância dos vários critérios envolvidos.

Num processo sequencial são escolhidos na ordem, definida a Região de Interesse:

- Áreas candidatas
- Sítios potenciais
- Sítios candidatos
- Sítios preferidos

Num processo iterativo, chega-se ao sítio excelente.

A seguir na figura 4, colocamos imagem hipotética, como exemplo do método preconizado das fases 1 e 2 de uma Simulação do Processo de Seleção de Sítios Nucleares suportado pelos Conceitos e Critérios do *Electric Power Research Institute- EPRI Siting Guide* para critérios de Exclusão e Evitação. (Critério População).

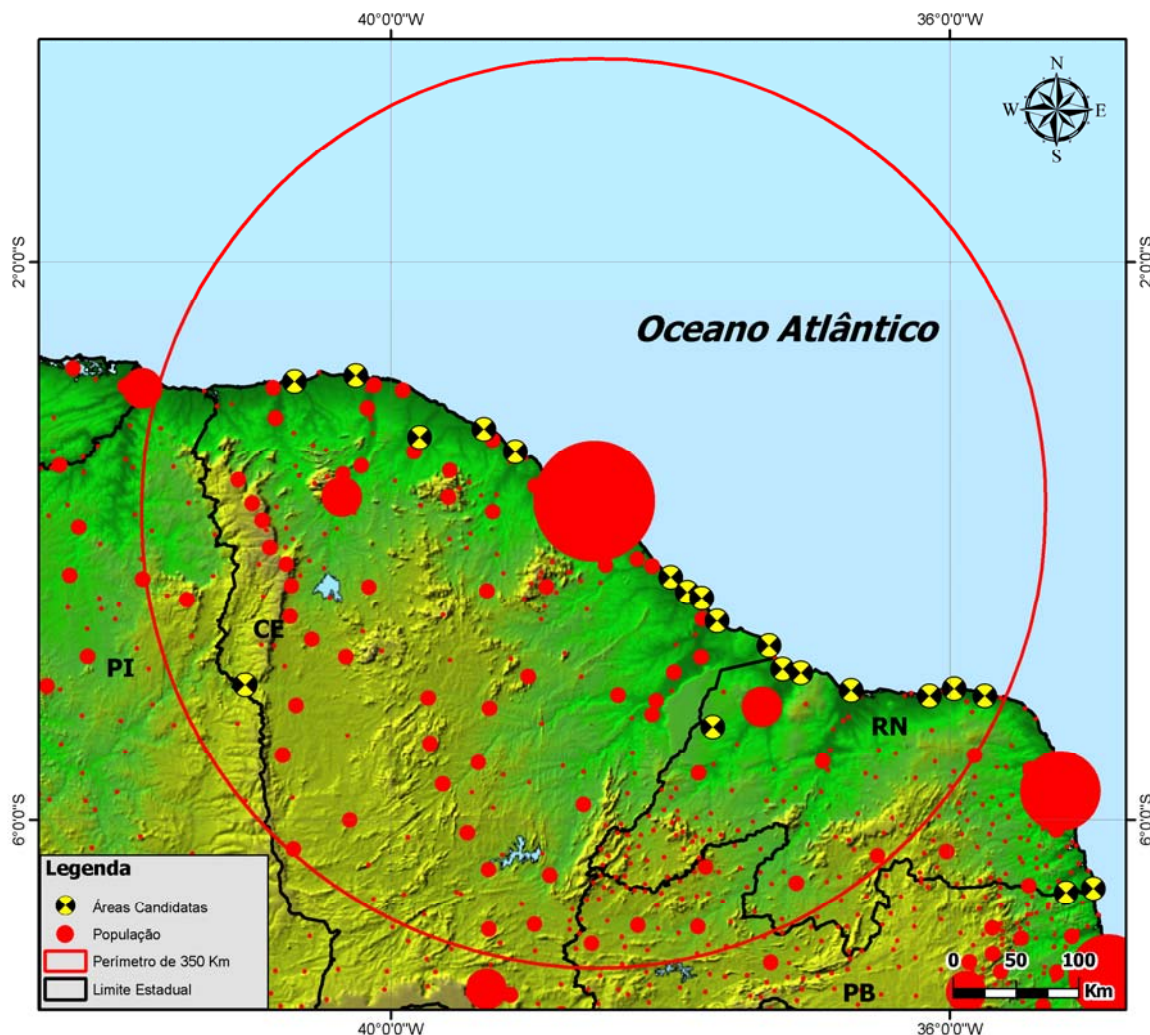


Figura 4 – Espacialização de um critério do EPRI Siting Guide

4-Um Exercício Exploratório de Entidades e Atributos da Modelagem Fuzzy para Seleção de Sítios Nucleares

4.1 - O Conceito do Método

Um sistema integrado de avaliação será um novo conceito de abordagem. Mais do que uma ferramenta técnica, uma metodologia de administração dos vários níveis de relacionamento. Construir este relacionamento entre entidades e os seus atributos é o maior desafio na constituição do modelo, e acima de tudo correlacioná-los em valores, faixas e regras. Para exercitar este novo conceito será necessário se pensar de forma estratégica, alinhando os aspectos social, econômico, cultural, de engenharia e ambiental com as linhas mestras dos projetos de intervenção do sítio nuclear, avaliar e monitorar ao longo do processo de planejamento e execução todas as atividades empreendidas, buscando mantê-las orientadas para a interação entre os aspectos e não perder de foco a capacidade de sinalização da intervenção, construindo esta interferência na fuzzyficação, no banco de regras e defuzzyficação na saída dos dados. Na figura 5 explicitamos um processo de fuzzyficação.

Processo da Lógica Fuzzy

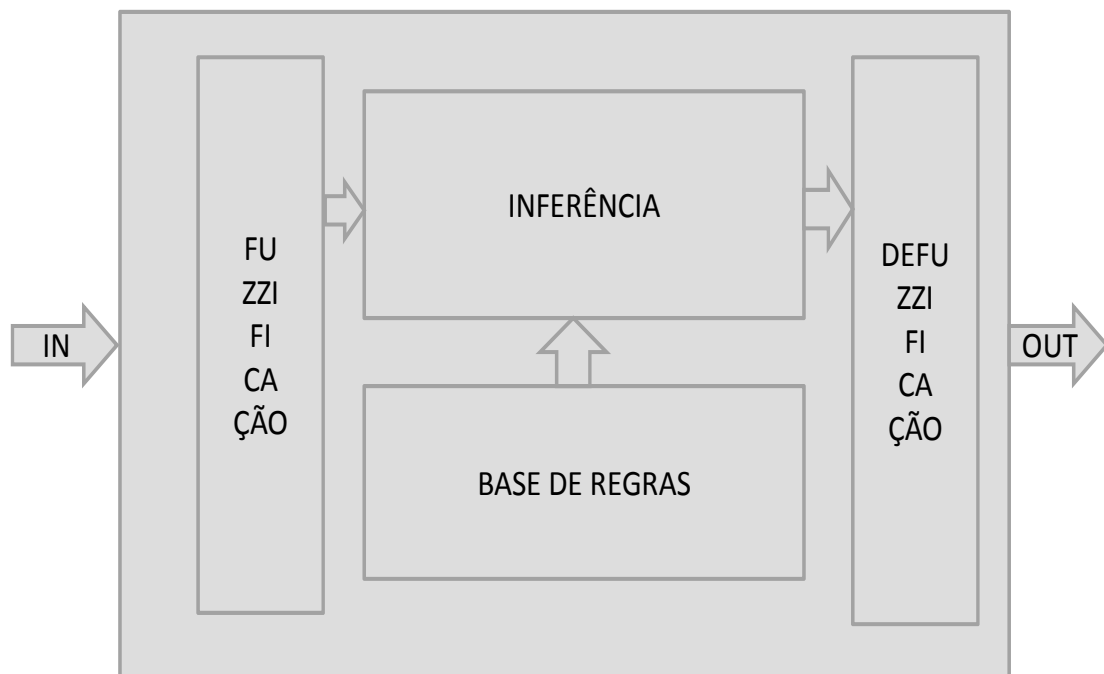


Figura 5 - Estrutura de um Sistema Nebuloso

Podemos resumir as funções de um sistema nebuloso como (EVSUKOFF, 2002):

Fuzzyficação: transformação da informação quantitativa em informação qualitativa é um processo de generalização

Inferência: transformação da informação qualitativa em informação quantitativa é um processo de conversão

Defuzzyficação: transformação da informação qualitativa em informação quantitativa é um processo de especificação

Os *Fuzzy Maps* são a fase de interpretação da informação, pois estabelece suas relações entre critérios

5.2 - *Fuzzy Maps* em Localização de Sítios Nucleares – Modelando um método de avaliação de critérios para fase 3 e 4

Um Exercício Exploratório de Entidades e Atributos da Modelagem Fuzzy

As figuras 6, 7 e 8 a seguir são os *Fuzzy Maps* em 3 níveis.

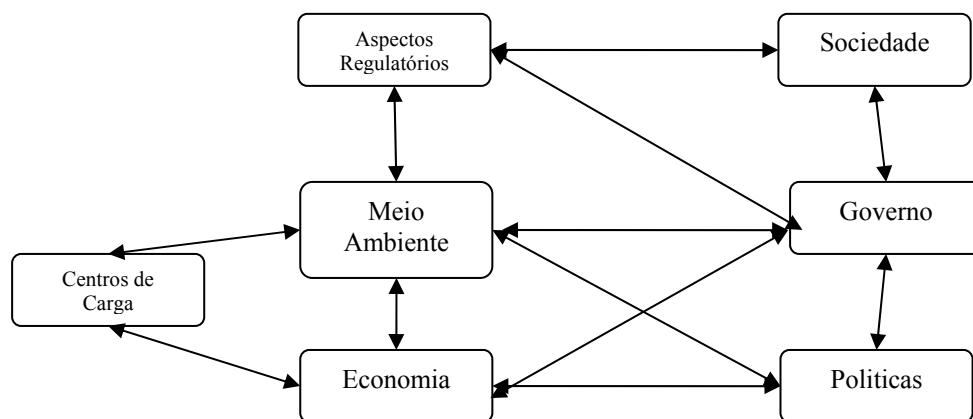


Figura 6 - Mapa de correlação nível 1

É o nível de efeitos de longo alcance na região hospedeira do sítio nuclear interagindo, para os quais devem ser estabelecidos os graus de interferência das entidades, através das variáveis linguísticas, dois a dois, "n" a "n", para avaliar a necessidade de estudo integrado nas ações destes aspectos.

Esta abordagem de correlação dos graus de interferência será efetuada nos níveis 2 e 3, a seguir, que envolvem um detalhamento mais fino das correlações entre entidades. Seguem exemplos.

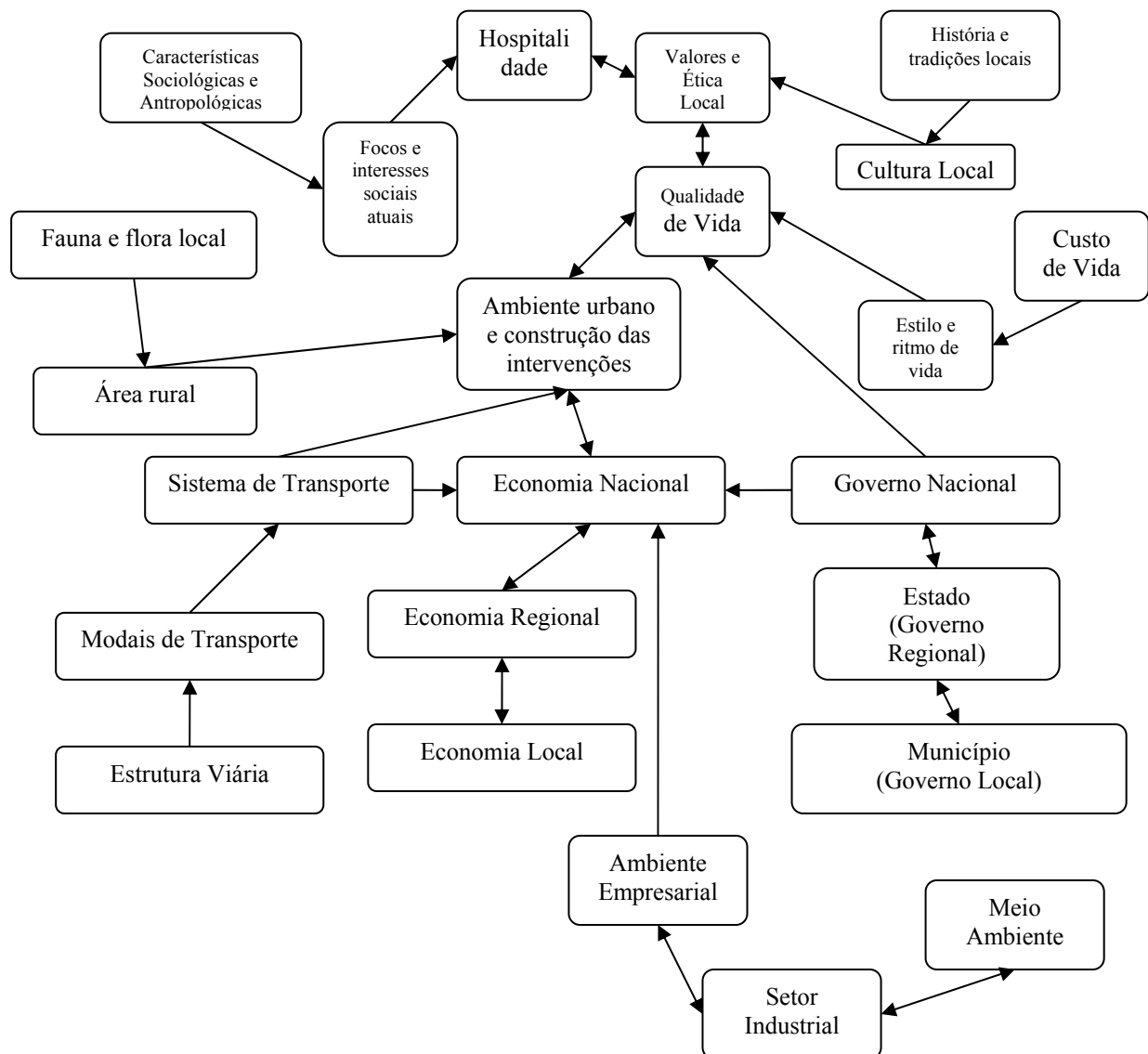


Figura 7 -Mapa de correlação nível 2

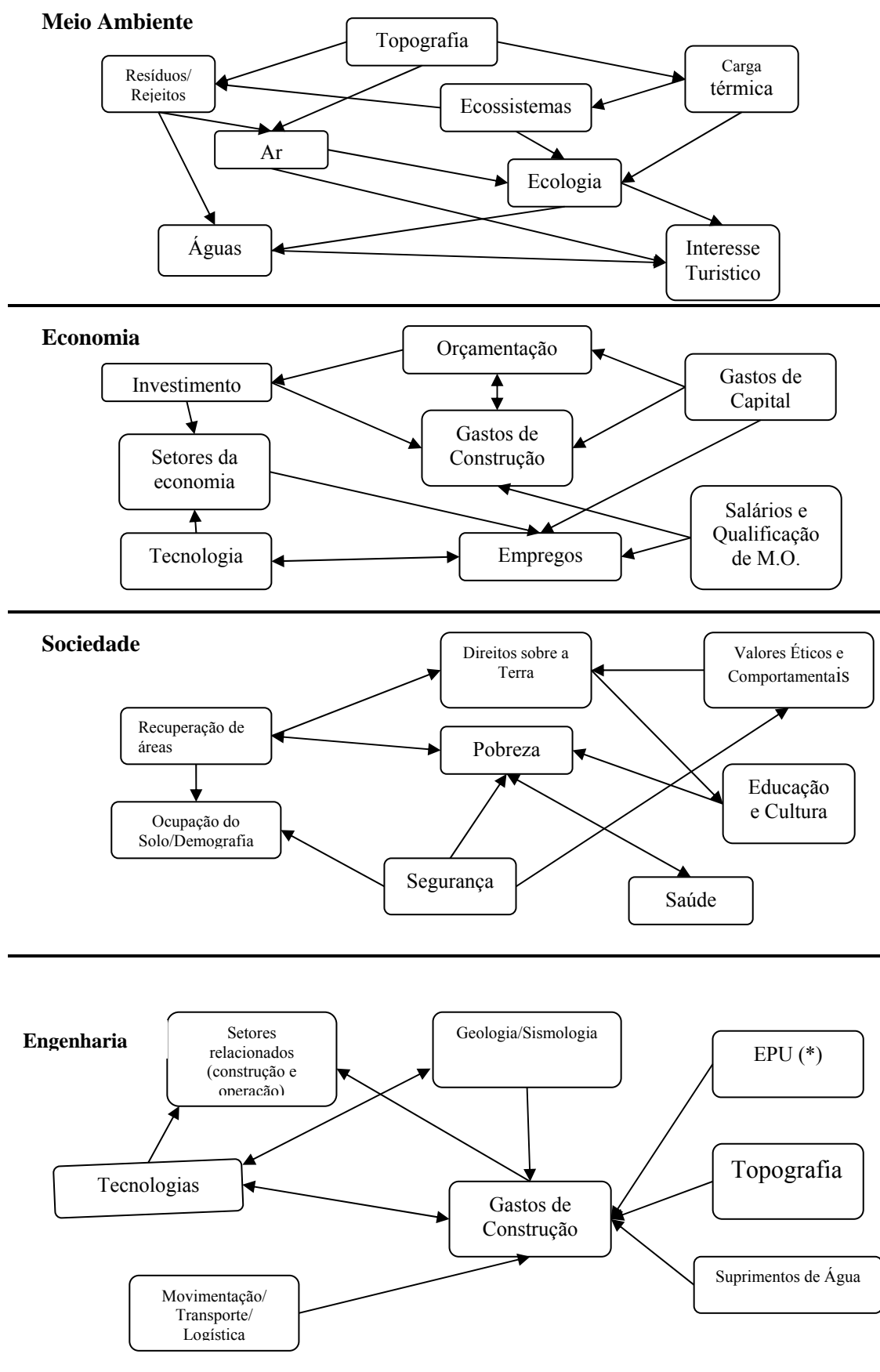


Figura 8 - Mapas de correlação nível 3
 *EPU=Envelope de Parâmetros da Usina

A cada nível será feito um processo de avaliação de correlação entre as entidades por lógica fuzzy e seus conseqüentes graus de interferência, de modo a estabelecer no processo de planejamento das ações de intervenção na região hospedeira, a integração das mesmas dentro do conceito de decisões sinérgicas para se atingir a localização ótima. O exemplo acima busca demonstrar um processo de fuzzificação, sem pretensão de ter esgotado as entidades e atributos de cada aspecto a ser estudado, mas proporcionar a percepção da densidade do processo de uso de Lógica nebulosa no processo de localização de sítios e sua aderência as etapas 3 e 4.

6. Conclusão

O desafio de um sistema de avaliação integrado em localização de sítios nucleares é conseguir:

- Ser simples nos seus conceitos;
 - Transparente nas suas inferências relacionais e no modo de se tornar perceptível a todos os envolvidos;
 - Abrangente com capacidade de absorver as várias vertentes políticas, sociais, ambientais, econômicas, tecnológicas e culturais;
 - Sistêmica ao correlacionar todas as entidades significativas da realidade a ser representada no modelo e os seus níveis de interferência mútuos;
 - Progressivo ao permitir absorção de novas informações no tempo em um contínuo modo incremental a maneira que a experiência acumulada as fornece;
- e consistente de forma a que todos os envolvidos não busquem externamente a este sistema de avaliação a orientação para suas decisões.

O uso da Lógica Fuzzy facilita este tipo de contexto sistêmico, dinâmico e flexível exigido, confirma a mesma como uma ferramenta de apoio aderente a estas situações de ambientes de incerteza, mutabilidade e alta interferência mútua.

O processo decisório de empreendimento nuclear de potência compreende a seleção do sítio, seleção de tecnologia, estruturação econômica, obtenção de financiamento, construção e operação. Portanto ter um processo de seleção acurado e adequado para seleção de tecnologia, usando também lógica fuzzy, se apresenta como uma oportunidade também para contribuir na mitigação de riscos do empreendimento.

7. Referências Bibliográficas

- Atalla, Drausio L. (2009) Artigo “Os custos da construção nuclear”, DCI, SP pag. A2
- Atalla, Drausio L. (2009) Documento PNE 30, apresentação
- Atalla, D. Energia nuclear no Plano Nacional de Energia 2030 e no Plano Decenal – atualização das etapas. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2012
- Atalla, D. Energia nuclear. Vantagens competitivas. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2011
- Bauchspiess, Adolfo (2004) - Introdução aos Sistemas Inteligentes- Aplicações em Engenharia de Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy e Sistemas Neuro-Fuzzy [HTTP://www.ene.unb.br/adolfo/ISI](http://www.ene.unb.br/adolfo/ISI)
- Cabral, A. Energia nuclear para o Brasil. Monografia de graduação. Salvador: Unifacs, 2009.
- Cabral, A... Rumo a uma nova percepção dos riscos nucleares no Brasil: questões estratégicas e implicações de política. Dissertação de mestrado. Cachoeira: UFRB, 2012

- Chu, T. (2002) Facility Location selection using fuzzy topsis under group decisions, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based systems. Vol.10, issue 3, pp 687-701.
- Clamp, Alice & collaborators (2007) EPRI Journal-Summer,2007
- Contador, C.R. (2000), Projetos Sociais: avaliação e prática, Editora Atlas, São Paulo
- Cosenza, C. A. N (2006). -*Notas de aula da cadeira de Introdução a Lógica Fuzzy*- Doutorado- Programa de Engenharia de Produção-COPPE/UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Costa, H.S. Impacto de uma usina nuclear. In: In: Mariz, C. H. da Costa et al.. Energia nuclear: prós e contras. Salvador: UFBA/Unifacs, 2012.
- Cox, E, (1994) The Fuzzy Systems handbook; a practioner's guide to building, using and maintaining fuzzy systems. London Academic Press Limited
- Eletronuclear. Estudo de Impactos Ambientais - EIA da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. 2006. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/hotsites/eia/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.
- _____. Central nuclear de Angra dos Reis. 2014b. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear.aspx>>. Acesso em: 11 jun. 2014.
- _____. Novas usinas nucleares. 2014a. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/Novasusinasnucleares.aspx>>. Acesso em: 11 jun. 2014.
- Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. Brasília: MME/EPE, 2013
- EPRI Siting Guide,2002 EPRI Siting Guide: Site Selection and Evaluation Criteria for an Early Site Permit Application, March,2002
- Evsukoff, A.G. 2002, Introdução à Lógica Fuzzy-CPC 755, COPPE/UFRJ-Rio de Janeiro
- Gaither, N.; Frazier, G. (2001) Administração da produção e operações. 8 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning
- Guimarães, L. dos S. Segurança de sítios nucleares. Rio de Janeiro: ABDAN, 2010.
- Kandel, A. (1986) Fuzzy mathematical techniques with applications. Addison-Wesley Publishing Company
- Kuo, RJ. (2002) A decision support system for selecting convenience store location through integration fuzzy AHP and artificial neural network. Computer Industry.Vol 47, issue 2 pp199-214
- Mariz, C. H. da C. Energia elétrica e usinas nucleares no Nordeste. In: Mariz, C. H. da Costa et al. Energia nuclear: prós e contras. Salvador: UFBA/Unifacs, 2012.
- Scott, D. S. Nuclear energy, climate, hidricity, radiation and foolish mythologies. Energy Strategy Reviews. v.1, n. 4, maio 2013, p. 272-276, 2013.
- Tanaka, K. (1996) An introduction to fuzzy logic for practical applications. Springer
- Terano, Toshiro. (1991) Fuzzy systems theory and its applications. San Diego: Academic Press Limited.
- The Future of Nuclear Power – An Interdisciplinary MIT Study, Figura 1 - Exemplo de Tecnologia disponível para Seleção- AP1000 Standard Plant Layout
- Tolmasquim, M. Planejamento energético brasileiro. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
- Zadeh, L.A. (1988) Fuzzy Logic. IEEE Computer Mag. University of California, pp 88-93, Berkeley.
- Zadeh, L. A. (1974.) Quantitative fuzzy semantics. Information Sciences, pp 159-176, Berkeley