

Uso de Modelos de Incerteza no Controle Ambiental do processo erosivo na Bacia do Alto Taquarí

PEDRO HENRIQUE DE MOURA ARAUJO¹

CLÁUDIO CHAUKE NEHME²

¹UCB - Universidade Católica de Brasília, Campus Taguatinga Sul, Brasília, DF, Brasil

pedroh@ucb.br

²UCB - Universidade Católica de Brasília, Campus Taguatinga Sul, Brasília, DF, Brasil

Bolsista do CNPq

chauke@pos.ucb.br

Abstract. The present article describes the use of techniques from AI, Bayesian Networks and Evidence Theory as the theoretic framework for a DSS – Decision Support System – based on knowledge. The knowledge-based DSS is used to address and develop solutions to the dynamic environment problems of the Alto Taquarí riverbed.

1 Introdução

Este trabalho objetiva dar suporte teórico ao estudo que vem sendo desenvolvido em cooperação entre a UCB – Universidade Católica de Brasília, Embrapa Solos e o CNPq, sobre o controle da erosão na região do Alto Taquarí.

Veremos aqui a utilização de duas técnicas de Inteligência Artificial objetivando a solução de um problema de SSD – Sistema de Suporte a Decisão aplicado ao controle da erosão na Bacia do Alto Taquari. O fato existe a mais de 20 anos e sua complexidade consiste na não existência de uma série histórica ou de dados confiáveis, ocasionando um alto grau de incerteza no processo de tomada de decisão por parte dos técnicos.

2 Caracterização

A Bacia do Alto Taquarí (BAT) está localizada na região Centro Oeste do Brasil, abrange uma área de 65.023 Km² e tem como constituinte principal o rio Taquarí, com 787 Km de extensão. O rio Taquarí nasce no Estado do Mato Grosso (MT), no município do Alto Taquarí, a uma altitude de 860 metros, percorrendo, aproximadamente, 40 Km antes de chegar ao Estado do Mato Grosso do Sul (MS). O rio, em seu alto e médio curso, percorre os municípios de Alcinópolis, Pedro Gomes e Coxim, para em seguida, no baixo curso, adentrar na região do Pantanal, no município de Corumbá. A nível de delimitação política, a parte da BAT a ser estudada no projeto compreende os seguintes municípios: os acima

mencionados e Alto Taquarí, Costa Rica, Rio Verde do Mato Grosso, Camapuã e São Gabriel do Oeste, totalizando uma área de 29.000 km² da BAT, todos com fortes evidências de degradação ambiental e de reflexos nocivos ao Pantanal.

A erosão que acomete a BAT deve-se à ocupação desordenada das terras para atividades agropecuárias. [1]

Os impactos ambientais decorrentes desta ocupação têm causado a degradação dos recursos naturais como o solo, a água, a vegetação e a diminuição da fauna, devido a destruição da vegetação nativa e o uso indiscriminado de agroquímicos e pesticidas. Esse fenômeno foi acentuado com o processo de expansão agrícola que, na década de 80, chegou a atingir as chamadas áreas limítrofes ou de entorno da bacia hidrográfica do rio Paraguai. [1]

Como consequência direta, observamos uma forte alteração na área econômica ocasionando problemas sociais, como o êxodo rural, aumento da prostituição, etc.

Os usuários do sistema em estudo são de diversas áreas do conhecimento e atividades: Geólogos, Ecologistas, Fazendeiros e Políticos. Todos necessitam da Informação, entretanto cada um percebe o problema de forma diferente, com finalidades e objetivos específicos.

Os Dados e Informações referentes ao problema, quando existem, são provenientes de fontes heterogêneas, formatos, periodicidade e acurácia diferentes, tais como: Caracteres, Imagens (Sensoriamento Remoto), Índices, Informações não convencionais, etc.

3 SSD – Sistema de Suporte a Decisão

Dadas as características do problema, faz-se necessário um Sistema de Suporte a Decisão – SSD, baseado em conhecimento, que auxilie os dirigentes, técnicos e tomadores de decisão na compreensão e planejamento do problema, explicação do fenômeno e previsão dos acontecimentos.

O SSD baseado no conhecimento incerto possibilita o trabalho com dados imprecisos e/ou inexistentes, permitindo incorporar os saberes (comprovados e empíricos) individuais dos especialistas.

Um sistema baseado em conhecimento utiliza a representação do fenômeno, como, por exemplo, uma relação causa e efeito.

O conhecimento não é um valor ou conceito preciso, exato, ele pode refletir ao mesmo tempo o quanto se sabe e o quanto não se sabe, sem que ambos sejam complementares. Quanto maior o número de informações com qualidade, mais certo e preciso ele é, continuando, contudo, a expressar um desconhecimento ou incerteza.

Dentre as técnicas de representação do conhecimento podemos citar as Redes de Crenças, Teoria da Evidência, Teoria da Plausibilidade, Redes Neurais e Lógica Nebulosa.

Destacaremos aqui a Rede de Crenças e a Teoria da Evidência.

As Redes de Crenças são estruturas gráficas que representam sistemas baseados em conhecimento, variando conforme a teoria aplicada. Quando são formalizadas com base na teoria da probabilidade, são chamadas de Redes Bayesianas, Causais ou Diagrama de Influência; quando são formalizadas com base na teoria de Dempster-Shafer, são conhecidas como Galerias, Redes Quantitativas de Markov ou Redes de Construção. Pearl [2]

As Redes Bayesianas representam melhor o contexto do nosso problema, caracterizado pela relação causa e efeito.

4 Redes Bayesianas

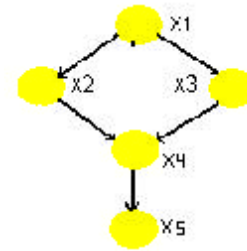
A Rede Bayesiana RB é uma forma de representação de um sistema baseado em conhecimento através de estruturas gráficas e é formalizada pela teoria de probabilidade, também conhecida como Redes Causais ou Redes Probabilísticas.

O raciocínio humano não está baseado somente em sistemas dicotômicos ou na constatação ou não de um fato, em expressões numéricas ou estatísticas, mas também no quanto ele acredita na ocorrência de um

evento, ou na influência que um acontecimento tem sobre outro.

As RB são grafos acíclicos direcionados onde os Nós representam as variáveis com medida de incerteza associada, e os Arcos representam a existência causal direta entre os Nós conectados; a força desta influência é quantificada por probabilidades condicionais. Pearl [2].

Figura 1 Rede Bayesiana, Pearl [2]



O diagrama acima mostra a dependência dos Nós, X₂, X₃, de X₁ e a não dependência entre X₂ e X₃.

Para que um grafo direcionado acíclico seja uma RB, cada variável X do grafo deve ser condicionalmente independente de todos os nós que não são dependentes, exceto, seus pais. Pearl [2]

Probabilidade Bayesiana é o método que possibilita representar numericamente o grau de certeza de um determinado evento ocorrer, diante de um cenário de incertezas. A teoria Bayesiana está fundamentada na teoria da probabilidade, porém difere da teoria de Bayes por não adotar o enfoque frequentista. Herckerman [7]

Chamamos de Probabilidade Condicional, quando vinculamos a probabilidade de um evento A ocorrer, dado que um evento B ocorreu. A probabilidade condicional é expressa pela equação a seguir:

$$P(A / B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}, \text{ para } P(B) > 0 \quad 4.1$$

Onde, P(A/B) é interpretada como a probabilidade do evento A ocorrer, dado que o evento B ocorreu e é igual a probabilidade da interseção dos eventos A e B, dividido pela probabilidade de B.

Dois eventos A e B são ditos independentes, se a ocorrência de A não implica na ocorrência de B, ou seja, a interseção entre A e B = Φ , e é dado pela expressão:

$$P(A / B) = P(A) \quad 4.2$$

A Probabilidade Conjunta expressa a probabilidade de todos os eventos de uma rede, e é dada por:

$$P(A, B) = P(A/B) \cdot P(B) \quad 4.3$$

Se A e B são independentes, então:

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B) \quad 4.4$$

Vamos supor que se conheça a relação de dependência da variável X, (x1,...,xn). A probabilidade conjunta é dada por:

$$P(X1,..Xn)=P(Xn / Xn -1,..,X1) \cdot P(X2 / X1) \cdot P(X1)$$

4.5

Dizemos que uma variável pai pode *causar* uma ou mais variáveis filhas, ex.: X₁ causa X₂ e X₃, Figura 1, e é dada pela expressão a seguir.

$$P(X_2 / X_1) \text{ e } P(X_3 / X_1)$$

Uma variável filha pode ser *causada* por uma ou mais variáveis pai. Se X₄ é causada por X₂ e X₃, logo:

$$P(X_4 / X_2, X_3)$$

A probabilidade conjunta da rede na figura 1 é dada por:

$$P(x1, x2, x3, x4, x5) = P(x5/x4)$$

$$P(x4 / x2, x3) P(x2 / x1) P(x3 / x1) P(x1) \quad 4.6$$

5 Teoria da Evidência

A Teoria da Evidência baseia-se em duas medidas não complementares: Medida de Crença e Medida de Plausibilidade. Dado um conjunto universo X, uma medida de crença é a função:

$$Cre : P(X) \rightarrow [0,1]$$

Tal que $Cre(\phi) = 0$, $Cre(X) = 1$ e

$$Cre(A_1 \cup A_2 \dots \cup A_n) \geq \sum_j Cre(A_j) -$$

$$\sum_{j < k} Cre(A_j \cap A_k) + \dots + (-1)^{n+k} Cre(A_1 \cap A_2 \dots \cap A_n)$$

5.1

Para todas as famílias possíveis dos subconjuntos de X.

Para cada $A \in P(X)$, $Cre(A)$ é interpretado como o grau de crença de um dado elemento de X pertencer ao conjunto A. Podemos ver os subconjuntos de X como respostas para questões particulares. Nós assumimos que as respostas são corretas, mas não sabemos o grau de certeza associado a elas.

Quando os subconjuntos $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ em 5.1 são par a par disjuntos, a inequação requer que a soma das

crenças associadas à união dos conjuntos não seja menor que a soma das crenças dos conjuntos individualmente.

Podemos notar que 5.1 é monótona:

Seja $A \subset B$ ($A, B \in P(X)$) e $C = B - A$. Então, $A \cup C = B$ e $A \cap C = \phi$. Aplicando A e C em 5.1 para $n = 2$ temos;

$$Cre(A \cup C) = Cre(B) \geq Cre(A) + Cre(C) - Cre(A \cap C).$$

Sendo $A \cap C = \phi$ e $Cre(\phi) = 0$, temos,

$Cre(B) \geq Cre(A) + Cre(C)$, e conseqüentemente $Cre(B) \geq Cre(A)$.

Fazendo $A_1 = A$ e $A_2 = \sim A$ em 5.1 e $n = 2$ temos uma propriedade fundamental da medida de crença:

$$Cre(A) + Cre(\sim A) \leq 1 \quad 5.2$$

Associado a cada medida de crença está uma medida de Plausibilidade, Pl, definida pela equação:

$$Pl(A) = 1 - Cre(\sim A) \quad 5.3$$

Para todo $A \in P(X)$. Por similaridade,

$$Cre(A) = 1 - Pl(\sim A) \quad 5.4$$

As medidas de crença e plausibilidade são então mutuamente duais. A medida de Plausibilidade também pode ser definida como independente da medida de Crença.

$$Pl : P(X) \rightarrow [0,1]$$

Tal que $Pl(\phi) = 0$, $Pl(X) = 1$, e

$$Pl(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_n) \leq \sum_j Pl(A_j) -$$

$$\sum_{j < k} Pl(A_j \cup A_k) + \dots + (-1)^{n+k} Pl(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \dots \cup A_n)$$

5.5

Para todas as famílias possíveis dos subconjuntos de X.

Seja $n = 2$, $A_1 = A$ e $A_2 = \sim A$ em 5.5. Então, obtemos imediatamente a seguinte inequação básica para a medida de plausibilidade.

$$Pl(A) + Pl(\sim A) \geq 1 \quad 5.6$$

Medidas de Crença e Plausibilidade podem ser convenientemente caracterizadas pela função

$$M: P(X) \rightarrow [0,1]$$

Tal que $m(\phi) = 0$ e

$$\sum_{A \in P(X)} m(A) = 1 \quad 5.7$$

Esta função é chamada de Probabilidade Básica Associada. Para cada conjunto $A \in P(X)$, o valor de $m(A)$

expressa a proporção com que cada elemento atende a uma requisição de um elemento particular de X . O valor $m(A)$ refere-se somente ao conjunto A , não implicando em nenhuma requisição de um subconjunto de A , ou seja $B \subseteq A$, neste caso ele necessita ser expresso como $m(B)$.

A equação 5.7 expressa a diferença entre uma função de distribuição de probabilidade e a probabilidade básica associada - PBA. Enquanto a primeira é definida sobre o universo X , a PBA é definida sobre $P(X)$.

Assim, observamos as seguintes definições:

- Não é requerido que $m(X) = 1$;
- Não é requerido que $m(A) \leq m(B)$ quando $A \subseteq B$;
- Não tem relação entre $m(A)$ e $m(\sim A)$.

Dado as observações acima, denotamos que uma PBA não é uma medida nebulosa. Em alguns casos, dado uma PBA m , as medidas de crença e plausibilidade são basicamente determinadas para todo o conjunto $A \in P(X)$ pelas fórmulas:

$$Cre(A) = \sum_{B|B \subseteq A} m(B) \quad 5.8$$

$$Pl(A) = \sum_{B|A \cap B \neq \emptyset} m(B) \quad 5.9$$

O inverso também é possível; dado uma medida de crença, a PBA, o correspondente m é determinado, para todo $A \in P(X)$, pela fórmula:

$$m(A) = \sum_{B|B \subseteq A} (-1)^{|A-B|} Cre(B) \quad 5.10$$

A relação entre $m(A)$ e $Cre(A)$, expressa em 5.8, tem a seguinte interpretação: Enquanto $m(A)$ caracteriza o grau de evidência ou crença que uma questão pertença só ao conjunto A , a crença $Cre(A)$ representa a evidência total ou crença que o elemento pertença ao conjunto A como também para os vários subconjuntos especiais de A .

A medida de plausibilidade representada em 5.9, tem significado diferente: ela representa não somente a evidência total ou crença que o elemento em questão pertença ao conjunto A ou a qualquer um de seus subconjuntos, mas também a evidência adicional ou crença associada com conjuntos que sobrepõem a A . Assim,

$$Pl(A) \geq Cre(A) \quad 5.11$$

Para todo $A \in P(X)$.

Todo conjunto $A \in P(X)$ no qual $m(A) > 0$, é usualmente denominado de Elemento Focal de m . Como o próprio nome sugere, elementos focais são subconjuntos de X nos quais os focos de evidência estão disponíveis. Quando X for finito, m pode ser caracterizado completamente por uma lista de seus elementos focais A

com o correspondente valor $m(A)$. O par (F, m) , onde F e m denotam um conjunto de elementos focais e designações básicas associadas, respectivamente, é freqüentemente chamado de corpo de evidência.

A Ignorância total é expressa em termos da designação básica por $m(X) = 1$ e $m(A) = 0$ para todo $A \neq X$. Logo, sabemos que o elemento que satisfaz a questão está no conjunto universo mas não sabemos a qual subconjunto do universo ele pertence. Da equação 5.8 podemos expressar a ignorância total em termos de crença por: $Cre(X) = 1$ e $Cre(A) = 0$ para todo $A \neq X$. No caso de Plausibilidade, a ignorância total expressa-se diferentemente: $Pl(\emptyset) = 0$ e $Pl(A) = 1$ para todo $A \neq X$. Esta expressão decorre diretamente de 5.9. Klir [6]

As evidências obtidas sobre o mesmo contexto provenientes de duas ou mais fontes, como, por exemplo, de dois especialistas no mesmo assunto, e expressas em termos de PBA m_1 e m_2 sob o mesmo conjunto $P(X)$ necessitam ser bem combinadas para obter uma PBA conjunta $m_{1,2}$, consenso. As combinações das PBA podem ser feitas por diversos métodos; Dempster's propôs a seguinte fórmula para fazer a combinação de PBA: Shafer [4]

$$m_{1,2}(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C)}{1 - K} \quad 5.12$$

para todo $A \neq \emptyset$ e $m_{1,2}(\emptyset) = 0$, sendo

$$K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C) \quad 5.13$$

onde $m_1(B)$ é o grau do primeiro especialista e $B \in P(X)$, e $m_2(C)$ é grau estabelecido pelo segundo especialista sob a mesma hipótese e $C \in P(X)$.

6 Aplicação na BAT

O SSD aplicado ao problema da BAT tem como sustentação teórica o princípio da relação Causa X Efeito. Para determinar esta relação percorremos as fases do domínio do problema, contextualização, aquisição e modelagem do conhecimento.

A palavra erosão decorre do latim "erodere" que significa *roer*. A erosão é o processo de desgaste do solo ao longo do tempo. Roose [3]

De acordo com Homero [5] o processo consiste em três etapas:

- Desagregação: nesta fase as partículas do solo se dividem em função do impacto da água no solo, ocasionado pela transformação da energia cinética das águas das chuvas, em energia potencial. (Erosão Hídrica);

- Arrasto: após as partículas do solo terem sido desagregadas, o fluxo de água as arrasta para níveis mais baixos.
- Sedimentação de partículas: as partículas são depositadas nos níveis mais baixos do terreno. Quando este fenômeno acontece nos rios, ocorre o assoreamento.

A erosão é classificada em três categorias de acordo com seu estágio de evolução:

- Laminar; quando o solo, uma vez saturado pelas águas das chuvas, torna-se impermeável fazendo com que as águas excedentes corram pela sua superfície, retirando, por igual, a camada orgânica do solo até atingir as camadas menos consistentes.
- Sulcos; são formações de pequenas valas causadas por acúmulo e deslocando de água, desagregando e arrastando as partículas para as regiões mais baixas.
- Voçorocas; são formas avançadas do processo erosivo onde os sulcos atingem grandes proporções, expondo as partes mais profundas do solo.

A degradação do solo pode ocorrer de forma natural (sem a ação do Homem) ou causada pelo uso inadequado do solo (*Atividade Antropogênica*).

Eric Roose [3], classifica a erosão geológica, ao longo do tempo, em três categorias:

- Geologicamente normal: apresenta uma perda de 0.1 a 1 t/ha/ano, ou seja, aproximadamente 1 m a cada 100 000 anos;
- Erosão acelerada: apresenta perdas de 10 a 700 t/ha/ano, ou seja, perda de aproximadamente 1 m a cada 100 anos; e
- Erosão catastrófica: 1 m em algumas horas.

Os agentes causadores de erosão mais comuns são: Água, presente nas três fases da erosão, caracteriza a erosão Hídrica; Vento, presente nas duas últimas fases da erosão, caracteriza a erosão Eólica; Poluição, presente na primeira fase do processo erosivo, apresentada na forma de produtos agroquímicos, chuvas ácidas, permitindo a mudança das características químicas do solo. Esta forma de erosão é também conhecida como Erosão Ecológica.

A elaboração do conjunto universo ou quadro de discernimento X, aqui representado, que contem as variáveis relacionadas no processo erosivo, foi obtida por meio de pesquisas bibliográficas e posteriormente confirmada através de questionários junto aos especialistas e pesquisadores diretamente envolvidos no problema da BAT.

O primeiro questionário definiu o significado dos termos relacionados no processo erosivo. O segundo

determinou o quanto os especialistas acreditam na influência das variáveis, isoladamente e em conjunto, no processo erosivo para todo $A \in P(X)$.

Para estabelecermos um consenso entre os especialistas sobre a crença nas variáveis isoladamente, utilizamos médias ponderadas onde o peso foi determinado pela auto-avaliação do entrevistado.

Cod.	Variáveis	Crença
Chuvas		
Cem	Esparsas Moderadas	0.491667
Cef	Esparsas Fortes	0.808333
Cfm	Freqüentes Moderadas	0.591667
Cff	Freqüentes Fortes	0.858333
Cit	Intensas	0.936111
Classe de Solos		
Cpd	Podzois	0.769444
Clt	Latossóis	0.544444
Cobertura Vegetal		
C20	de 00% a 20 %	0.777778
C40	de 20% a 40%	0.669444
C60	de 40% a 60%	0.6
C80	de 60% a 80%	0.472222
C100	de 80% a 100%	0.361111
Declividade		
	Plana de 0 a 3%	0.2
Dsv	Suave de 3 a 8%	0.286111
Dmd	Moderada de 8 a 20%	0.502778
Dft	Forte de 20 a 45%	0.797222
Dmf	Muito Forte > 45%	1
Ocupação		
Oag	Agrícola	0.783333
Opc	Pecuária	0.775
Ohb	Habitacional	0.35
Oex	Extrativismo	0.458333
Ods	Desocupada	0.316667
Relevo		
Rnl	Nulo	0.272222
Rmd	Moderado	0.638889
Rac	Acidentado	0.919444
Scp	Solo Compactado	0.813889
Rif	Redução de Infiltração	0.75

TABELA 1 – Consenso das Variáveis Isoladas

O fenômeno da erosão é decorrente da combinação das variáveis acima. Devido ao fato de não termos os dados para fazermos os tratamentos estatísticos

necessários a fim de se determinar suas principais correlações, implementamos um processo de aquisição do conhecimento existente dos especialistas e estudiosos do problema. Nesta etapa, fizemos uso das equações 5.7, 5.8, 5.12, 5.13.

A tabela a seguir retrata as combinações ou hipóteses mais freqüentes.

Variáveis Combinadas	Crença
Cit+C40+Dmd+Oag+Ocp+Rif+Scp	0.31040
Cit+Clt+C40+Dft+Opc+Rmd+Scp	0.33468
Cit+Cpd+C20+Dmf+Oag+Rac+Rif+Scp	0.47649
Cit+Cpd+C20+Dmf+Opc+Rac+Scp	0.43065
Cit+Cpd+C40+Dft+Opc+Rmd+Scp	0.38804
Clt+C20+Dmf+Oag+Rac+Rif+Scp	0.40630
Clt+C40+Dft+Oag+Rmd+Scp	0.30006
Clt+C40+Dmd+Opc+Rmd+Scp	0.26420
Clt+C60+Dmd+Opc+Rmd+Rif+Scp	0.28888
Clt+Dmd+Oag+Rmd+Scp	0.23955
Cpd+C20+Dft+Opc+Rac+Scp	0.34811
Cpd+C40+Dft+Oag+Rmd+Scp	0.33881
Cpd+C40+Dft+Opc+Rmd	0.28226
Cpd+C40+Dmd+Opc+Rmd+Scp	0.30681
Cpd+C40+Dmd+Opc+Rmd+Scp	0.29996
Cpd+C60+Dmd+Opc+Rmd+Rif	0.29190
Cpd+C40+Dmd+Opc+Rmd+Scp	0.36759
Cpd+Dmd+Oag+Rmd+Scp	0.26000

TABELA 2 – Consenso das Variáveis Combinadas

Após a captação dos conhecimentos representados nas tabelas acima, construímos um modelo de Redes Bayesianas utilizando o aplicativo HUGIN Lite V. 5.6. Figura 1.

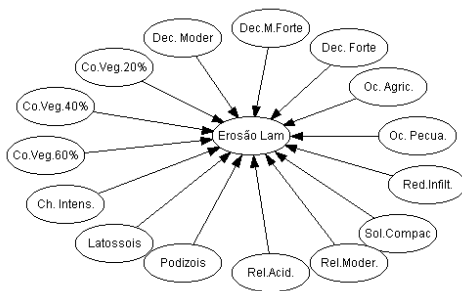


FIGURA 1 – Modelo para Erosão Laminar

Trata-se de um modelo de SSD por refinamento sucessivo, o qual vai incorporando conhecimento e aprendendo, a medida que o especialista constata suas hipóteses.

7 Conclusão

Os Sistemas de Suporte a Decisão trabalham com dados e informações provenientes de diversas origens e formatos.

Os fenômenos da natureza têm como característica a imprecisão.

A área da Inteligência Artificial que trata da representação do conhecimento tem desenvolvido técnicas capazes de representar o conhecimento incerto, permitindo compreender o problema e aproximar os resultados da realidade.

No caso da BAT, as técnicas de Redes Bayesianas e Teoria da Evidência nos permitem representar o fenômeno da erosão por meio de uma relação Causa e Efeito e estimar “*a priori*” a dependência entre as variáveis que compõem o fenômeno.

Entretanto, a maior dificuldade da aplicação teórica de probabilidade condicional em um ambiente não freqüentista, ou seja, com base na experiência dos técnicos envolvidos, consiste na estimativa da probabilidade de intercessão (A, B) Eq 4.1. O procedimento para estimá-la requer, portanto, uma modelagem específica que permita a representação quantitativa do conhecimento empírico.

Referência

- [1]-Relatório da oficina de Campo Grande 1999
- [2]-Pearl, J, Evidential Reasoning using in Intelligent Systems. 1997
- [3]- Roose, Eric, Land Husbandry Components and Strategy, ed FAO Soils Bulletin, 1996
- [4]-Shafer, Glenn, Belief Functions and Possibility Measures, Analysis of Fuzzy Information, Chapter 3 1987
- [5]- Homero Pinto, Mecânica dos Solos e suas Aplicações, LTC 5ª Ed. 1983
- [6]- Klir, George J.; YUAN, Bo, Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications, USA, Prentice Hall, 1995
- [7]- Herckerman, David; Wellman, Michael P., Bayesian Network. In: Communication of the ACM. New York: ACM Press