

Estudos do potencial mineral de cobre (Cu) através de SIG na região do Vale do Rio Curaça – Ba

Delano Menecucci Ibanez ¹
Ciro Calachibete ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
delano@ltid.inpe.br

² Enquanto aluno do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
cirere@bol.com.br

Abstract. This work uses some of the main methods of space inference for the determination of areas favorable to the occurrence of Cu in the region of Curaça, state of the Bahia. The chosen methods had been: Boolean, Analytical Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Gamma. The methodology adopted for this work consisting of three stages: Construction of the space database; data processing and application of the prospection model. All methods showed coherent results, showing that the procedure are available tools amongst mineral prospection campaign.

Palavras-chave: methods of space analyse, mineral prospection, geology, métodos de análise espacial, prospecção mineral, geologia.

1. Introdução

Dentre uma variedade de aplicações do Sistema de Informações Geográficas (SIG), o mapeamento de áreas com potencial mineral é uma aplicação desta ferramenta, tanto na estimativa de recursos minerais quanto na exploração mineral.

Comumente, a seleção, evolução e combinação de evidências para depósito mineral são feitas com a ajuda de uma mesa de luz onde vários mapas são superpostos fisicamente para determinar a relação de recobrimento entre as evidências. O SIG vem contribuindo significativamente para a melhoria deste processo através de técnicas computacionais para o processamento, análise e manipulação de informações, oferecendo, desta forma, ferramentas para o modelamento e análise de relações entre dados espacializados, que auxiliam na tomada de decisões na definição de regiões geológicas de interesse econômico (Bonham-Carter, 1994). Um dos fatores que tem contribuído para esta tendência é, em grande parte, o grau de complexidade fisiográfica das áreas de investigação, como sérias dificuldades de acesso, que elevam os custos financeiros dos trabalhos de campo. Mesmo em regiões semi-áridas, como no nordeste do Brasil, onde os trabalhos de mapeamento e prospecção mineral são facilitados pela exposição das rochas, as técnicas de GIS otimizam o modelamento da pesquisa reduzindo, consideravelmente os custos financeiros. O uso destas técnicas é uma alternativa que pode contribuir muito na realização de trabalhos dessa natureza.

Neste contexto, este trabalho se propõe determinar áreas de maior favorabilidade à ocorrência de mineralizações de Cu, utilizando técnicas de integração de dados disponíveis num Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir do processamento de dados geológicos. A área escolhida para este estudo é do depósito de Cu de Curaça, estado da Bahia.

2. Área de estudo

As ocorrências minerais no Distrito Cuprífero de Curaçá situam-se a nordeste do Estado da Bahia (Figura 1). A área estudada ocupa uma superfície de aproximadamente 4.500 Km², compreendida entre os paralelos de 09°26'36'' e 09°14'59'' de latitude sul e os meridianos de 39°50'15'' e 40°00'01'' de longitude oeste (Figura 1).

A área tem clima semi-árido, tipo Bsh de Koppen, e a mesma vegetação de caatinga, típica dos sertões do nordeste brasileiro.

Geomorfologicamente, o distrito cuprífero em pauta é caracterizado por uma vasta superfície de pediplanação, onde a monotomia topográfica é quebrada, apenas por alguma elevações insuladas.

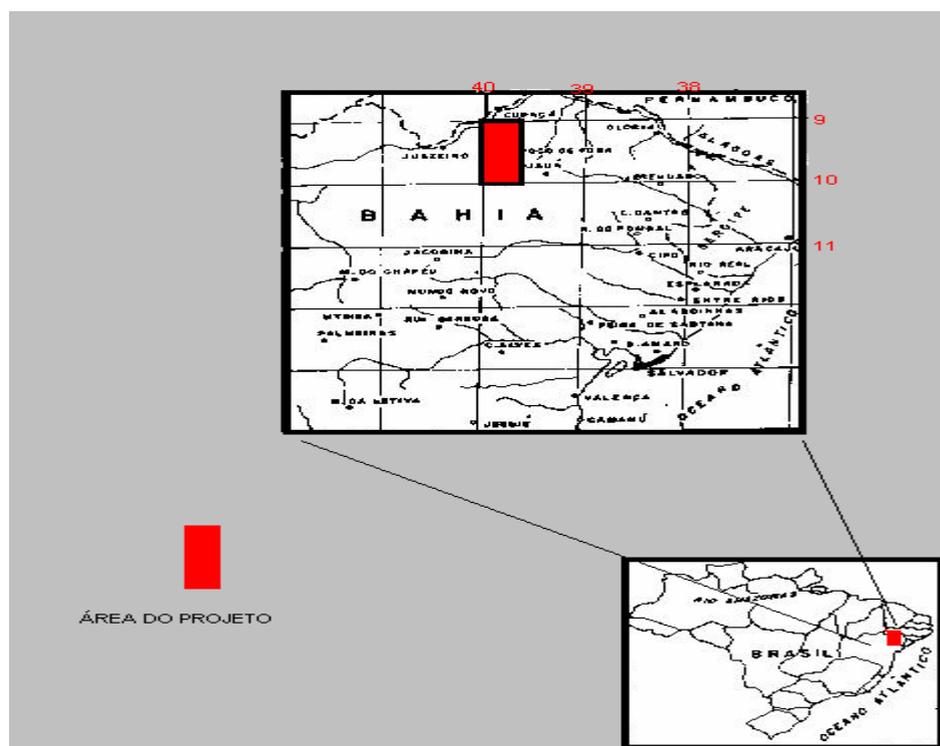


Figura 1: Localização da Área de Estudo

3. Geologia regional

Ocorrem no Vale do Curaçá dois grupos de natureza litológicas-estrutural-tectônica próprias e de idades diferentes: Grupos Caraíba e Canudos (Figura 2) (Jordan 1971).

3.1. Grupo Caraíba

O Grupo Caraíba, mais antigo, coparticipa do Craton do São Francisco, servindo de embasamento aos grupos pré-cambrianos mais recentes no nordeste da Bahia (Jordan 1971). Este complexo compreende um conjunto de rochas altamente metamórficas e migmatizadas, afloradas o fácies granulito e anfíbolito.

3.2 Grupo Canudos

Na porção norte da área, recobrimdo os gnaisses e migmatitos do Grupo Caraíba, aparece uma seqüência metassedimentar, de baixo grau de metamorfismo constituída de micaxistos e calcários.

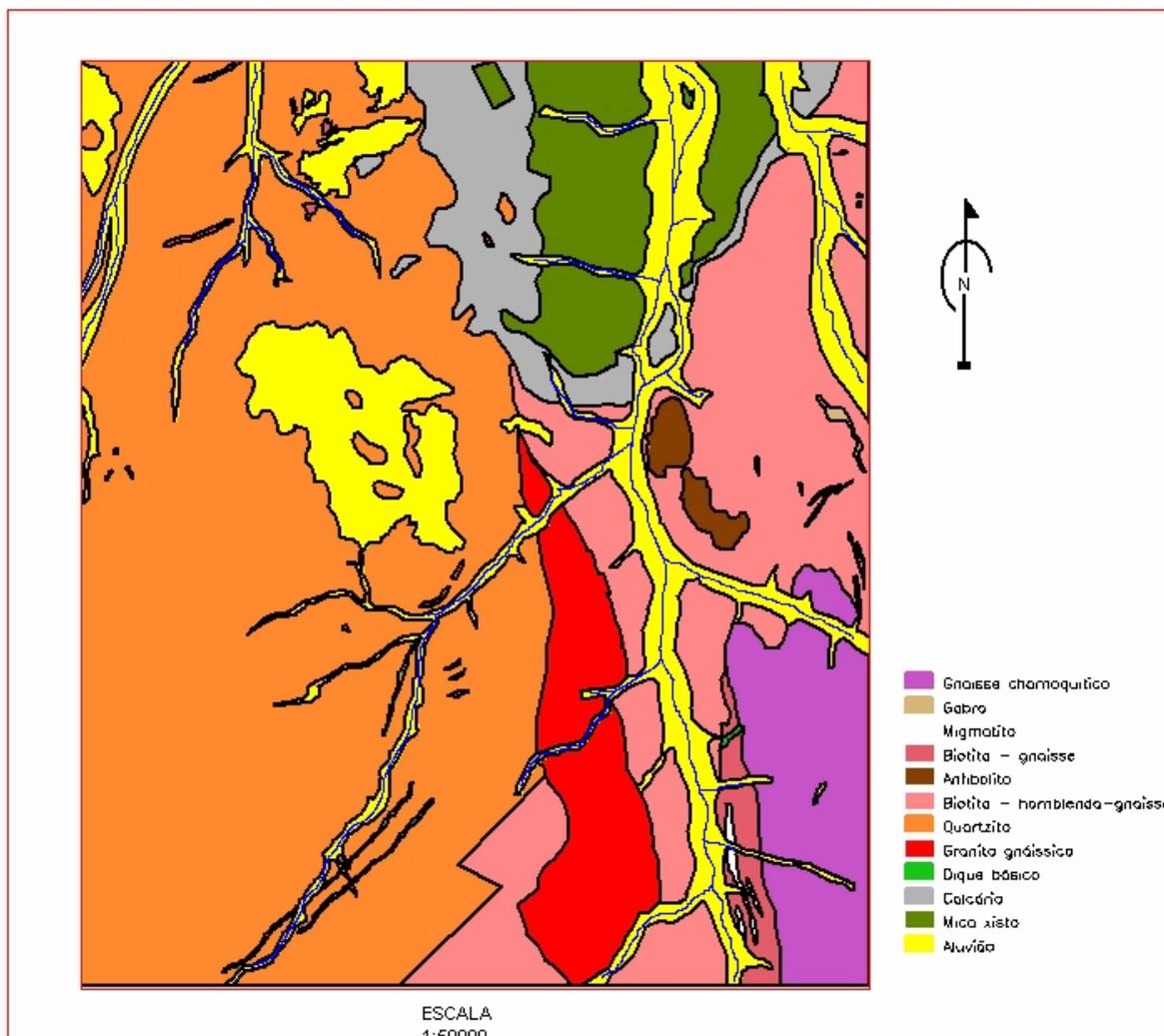


Figura 2: Mapa Geológico

3.3. Mineralização de Cu

As reservas potenciais do Vale do Curaçá chegam à casa de 100.000 toneladas de cobre metálico, com teor médio de 0,70% (Delgado & Souza 1981), sendo que teores menores que 0,2% foram considerados sem interesse econômico por Delgado & Souza (1981).

Os controles geológicos das mineralizações de cobre do vale do Curaçá podem ser agrupados segundo os tipos genéticos diferenciados.

3.3.1. Controle determinante-litológico

A associação de sulfetos de cobre com as rochas máficas-ultramáficas constitui um controle determinante de mineralização cuprífera. Assim, ocorreram quatro tipos principais de corpos que possuem mineralizações: piroxenito-serpentiníticos, anfibolíticos, noríticos-piroxeníticos e gabro-dioríticos. Os corpos noríticos-piroxeníticos são os mais ricamente mineralizados (Suszczyński 1972).

3.3.2. Controles locais

Vários controles foram identificados por vários autores:

Dobramentos

Nas zonas axiais e de terminação periclinal processou-se remobilização dos sulfetos de cobre, mesmo em corpos com fraca mineralização (Leinz 1948).

Metamorfismo

Para litologias idênticas, a estrutura metamórfica controla a mineralização, constatando-se freqüentemente que uma mesma rocha mostra-se melhor mineralizada que o seu equivalente foliado (Suszczyński 1972).

Granitização

O condicionamento da mineralização é imposto pelos processos de granitização (migmatização e metassomatismo) das rochas máficas-ultramáficas (Suszczyński 1972).

Hidrotermalismo e metassomatismo

Os processos de alteração hidrotermal e transformações metassomáticas aconteceram em diversos estágios de evolução geológica do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá, desde a formação dos primeiros migmatitos, até a última fase de injeções de diques de quartzo, que atingiram os metassedimentos do Grupo Canudos. Em todas as fases, possivelmente, aconteceram remobilizações da mineralização de cobre (Schneider 1957).

O condicionamento da mineralização a zonas de cisalhamentos é muito freqüente e as mineralizações remobilizadas para estas zonas foram geralmente atingidas pelo nível de oxidação, originando-se, desta forma, a maioria das inúmeras ocorrências secundárias de cobre espalhadas pelo vale do Curaçá (Delgado & Souza 1981).

4. Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho foi sugerida por Bonham-Carter (1994) para mapeamento de potencial mineral. Esta metodologia consiste em três etapas: 1) Construção da base de dados espaciais; 2) Processamento dos dados e; 3) Aplicação dos modelos de integração. Na primeira etapa, todos os dados utilizados no trabalho foram organizados em ambiente SIG, que no caso específico deste trabalho foi usado o *software* Spring 4.01beta.

Na segunda etapa, dados foram manipulados para a extração de feições espaciais relevantes para o objetivo do trabalho, no caso, evidências para a ocorrência de depósitos de Cu. Finalmente, na terceira etapa, as evidências são combinadas com operadores algébricos através dos métodos: *Booleano*, *Técnica de Processo Analítico Hierárquico (AHP)* e *Fuzzy Gama*.

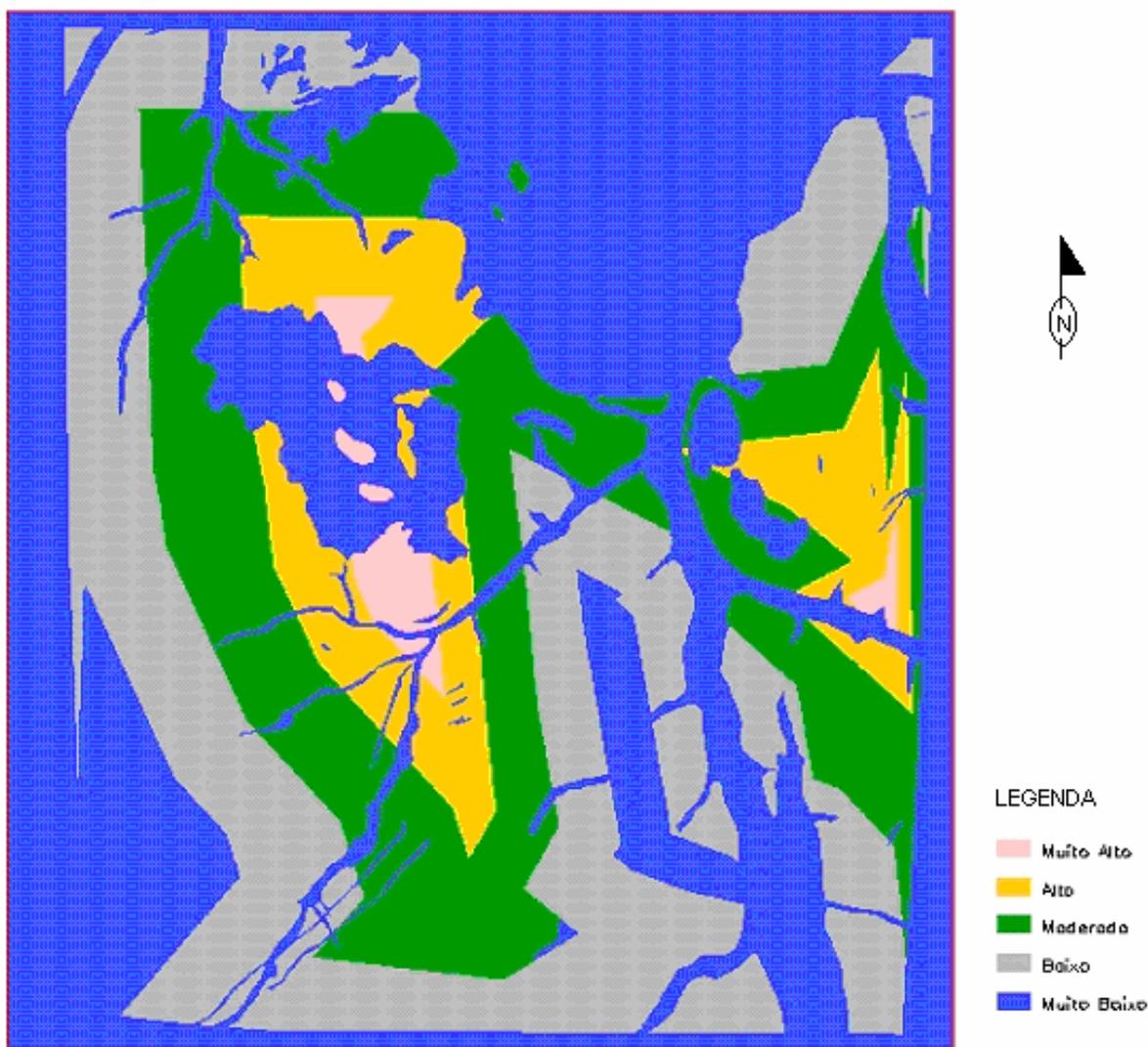
5. Resultados obtidos

5.1 Integração dos Dados pelo Método de Inferência Espacial Booleano

Para este método foram considerados apenas planos de informação temáticos referentes à litologia e às amostragem de Cu, de tal forma que a classe litológica de maior relevância e os valores mais altos de amostragem foram fatores determinantes no resultado. A **Figura 3** mostra os resultados obtidos para esse caso analisado, ou seja, favorabilidade à ocorrência de Cu.

Os resultados deste processamento estão bastante coerentes, uma vez que as áreas com maior favorabilidade a ocorrência de mineralização de Cu estão associadas as litologias hospedeiras. Contudo, observa-se ainda, que várias ocorrências de valores significativos não

foram indicadas por este método, tendo sido excluídas áreas com potencial relevantes, como as próximas a eixos de dobramentos.



390153.000

ESCALA - 1:50.000

408000.000

Figura 3: Resultados da integração dos dados de litologia e amostragem de Cu através do método de inferência espacial *booleano*.

5.2 Integração dos Dados pelo Método de Inferência Espacial Fuzzy Gama

Neste método foram combinados os planos de informação numéricos referentes à litologia (ponderado de 0 a 1) e às amostragens de Cu (grade retangular normalizada de 0 a 1 por operador fuzzy). A importância de cada termo no operador gama foi definida atribuindo-se o valor de 0.7 para o expoente γ . Vale ressaltar que foram testados vários valores (entre 0 e 1) para γ , sendo o 0.7 o que apresentou melhor resultado que foi baseado no conhecimento da geologia da área, etc

A **Figura 4** apresenta os resultados obtidos para cada um dos casos investigados, ou seja, favorabilidade à ocorrência de Cu.

Os resultados obtidos para esta técnica mostraram-se bastante satisfatórios, pois as áreas de maior favorabilidade englobam as litologia que possuem os maiores pesos e que estão

próximas aos eixos de dobramentos estruturais. Enquanto, o booleano considera que fenômenos naturais podem ser modelados por objetos discretos tais como pontos, linhas e polígonos ou *pixels* os quais têm atributos exatos, introduzindo erros desnecessários em estágio muito inicial do processo de inferência espacial (Altman, 1994). A técnica *fuzzy* pode reduzir drasticamente a propagação de erros através de modelos lógicos, fornecendo cenários mais confiáveis.

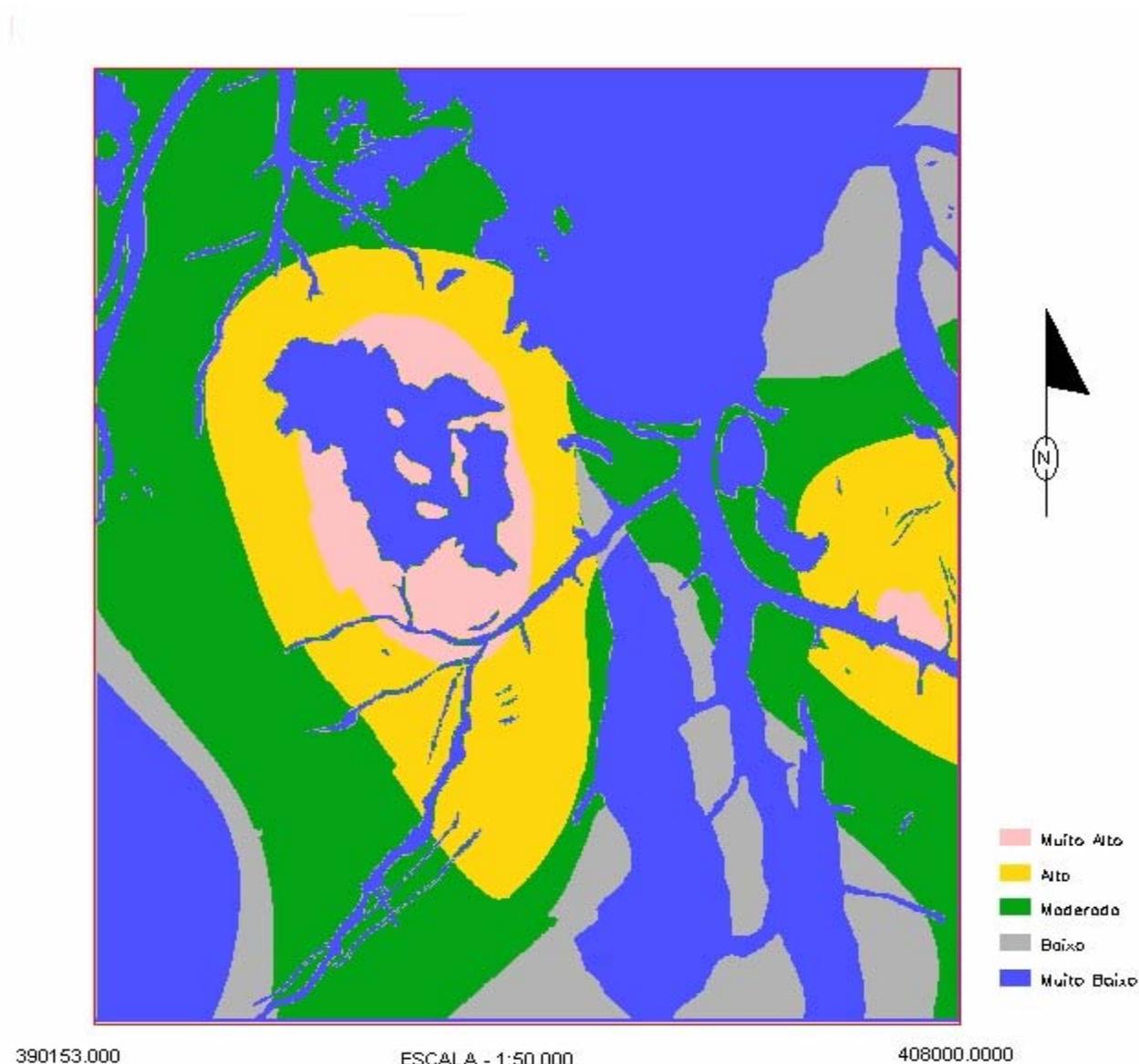


Figura 4: Resultados da integração dos dados de litologia e amostragem de Cu através do método de inferência espacial *fuzzy gama*.

5.3 Integração dos Dados pelo Método de Inferência Espacial AHP (Técnica de Processo Analítico Hierárquico)

Na aplicação desta técnica foi considerado, além dos planos de informação de litologia e amostragem geoquímica, o plano de informação referente ao mapa de distância aos eixos de dobramentos, tendo em vista que a localização dos valores mais altos de amostragem apresentavam uma certa associação com os feições estruturais da área. Assim, foi feita uma

relação de importância entre os PI's, para o caso investigado (Cu), onde obteve-se um fator de coerência satisfatório (<0.1) A **Figura 5** apresenta o resultado de integração.

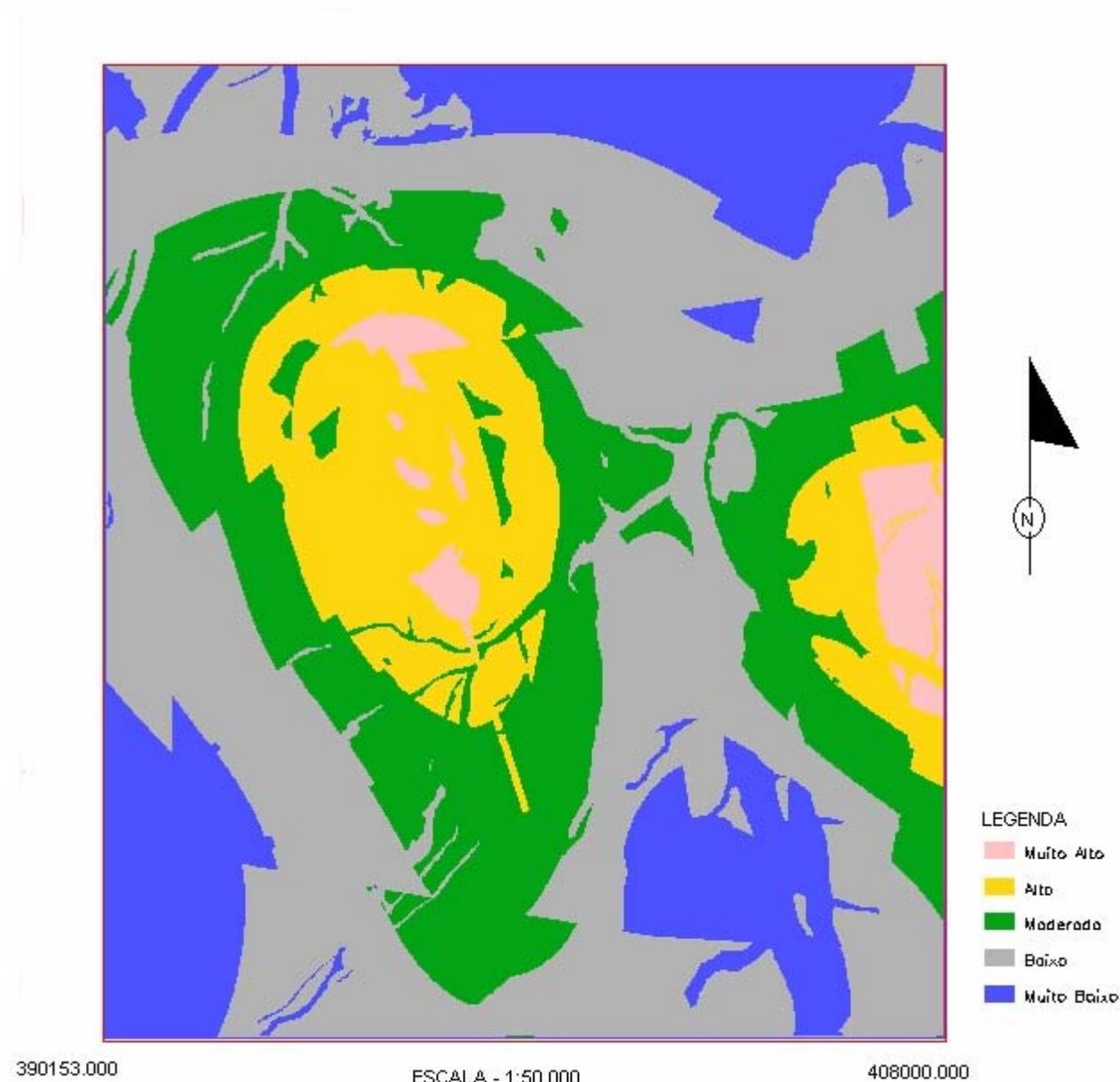


Figura 5: Resultados da integração dos dados de litologia e amostragem de Cu através do método de inferência espacial *AHP*.

6. Conclusão

As metodologias de integração e de inferência espacial empregadas neste trabalho revelaram ser ferramentas eficientes para o propósito deste trabalho, determinando áreas favoráveis à ocorrência de mineralização de Cu, podendo, desta forma, ser de grande relevância na elaboração de mapas indicadores de potencialidade mineral. Vale ressaltar, contudo, que o sucesso da prospecção está diretamente ligado ao grau de conhecimento da geologia da região, que fornecerá os parâmetros e relações necessárias para definição do modelo prospectivo.

O método de Inferência Espacial AHP foi o que apresentou melhor resultado, delimitando melhor as áreas investigadas em função da relação com eixos dos dobramentos. No entanto, sua resposta é condicionada a amostragem. Como a amostragem não é heterogênea, as áreas com ausência de amostragem não foram delimitadas coerentemente.

O método Fuzzy também mostrou ser eficiente para o estudo de fenômenos naturais, pois permite um escalonamento das evidências, segundo um grau relativo de importância entre elas, possibilitando a criação de classes intermediárias. De um modo geral, todos os métodos apresentaram resultados coerentes, mostrando que as técnicas disponíveis num Sistema de Informação Geográfica (GIS) podem ser ferramentas de grande auxílio nos trabalhos de investigação de áreas de potencial mineral.

7. Referências bibliográficas

Altman, D. **Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis**. International Journal of Geographical Information Systems, v.8, p.271-279, 1994.

Bonham-Carter, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS**. Kidlington: Elsevier Science, 1994. 398p.

Delgado, L.M & Souza, J. D. de – **Projeto Cobre – Curaçá; Geologia Econômica do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá; Bahia, Brasil. Relatório Final.Salvador, CPRM, 1975. v. I-A. II. Map.**, tab.(convênio DNPM/CPRM).

Jorddan, H. – **The Late Precambrian Synclinorium of Curaça (Brasil)**. Gelo. Jb., Hannover, 88:617-628, Fev. 1971. il.

Leinz,V – Gênese da Jazida de Cobre de Caraíba, Bahia. **Mineração e Metalurgia**, Rio de Janeiro, 12 (72): 277-279, mar./abr. 1948.

Schneider, A. Rejuvenescimento Hidrotermal dos Minérios Cuproniquelíferos Secundários de Caraíba, Bahia. **Engenharia, Mineração e Metalurgia**. Rio de Janeiro. v. 15, n. 149, p. 271-276, Mar. 1957.

Suszczynski, E. F. A Origem Sedimentar-Metamórfica Estratiforme do Minérios Cuprífero do Distrito do Norte da Bahia. **Congresso Brasileiro de Geologia**. Pará. v. 25. 1972.