



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## SER-300: INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO

Ulisses Denache Vieira Souza

### **RELATÓRIO DE ATIVIDADES** LABORATÓRIO Nº 4: ÁLGEBRA DE MAPAS

INPE  
São José dos Campos  
2010

# 1 INTRODUÇÃO

A seleção de áreas potenciais a prospecção de Cromo, a partir das técnicas AHP (Processo Analítico Hierárquico) e *Fuzzy Logic* são o objetivo deste *Laboratório 4*. Campanhas de campo foram necessárias para obtenção dos dados sendo realizadas na região de Pinheiros Altos, município de Piranga, Minas Gerais, no período de Abril a Julho de 1996, em uma área de 51,33 km<sup>2</sup>.

# 2 DESENVOLVIMENTO

As tarefas executadas neste *Laboratório 4* consistem na geração de mapas a partir de programas escritos na *Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico* (LEGAL).

O primeiro passo foi ativar o banco de dados Piranga e o projeto Cromo, com sistema de projeção *UTM/Hayford/Córrego Alegre*.

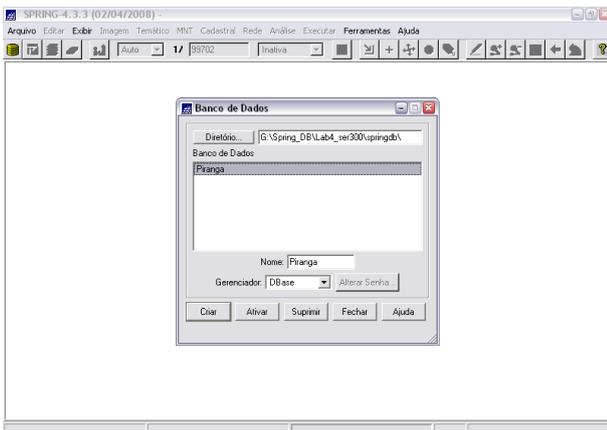


Figura 2.1 – ativação do banco de dados Piranga.

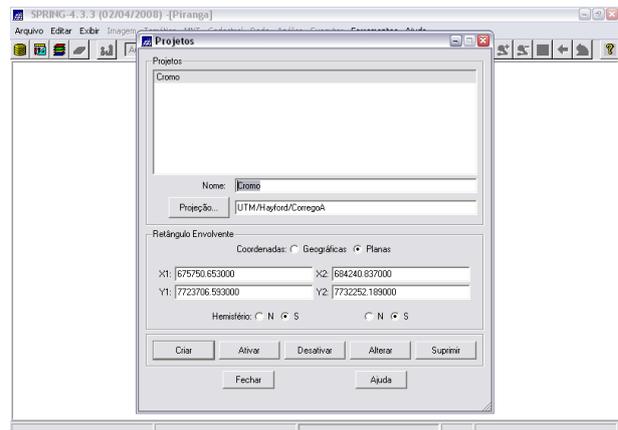


Figura 2.2 – ativação do projeto Cromo dentro do banco de dados Piranga.

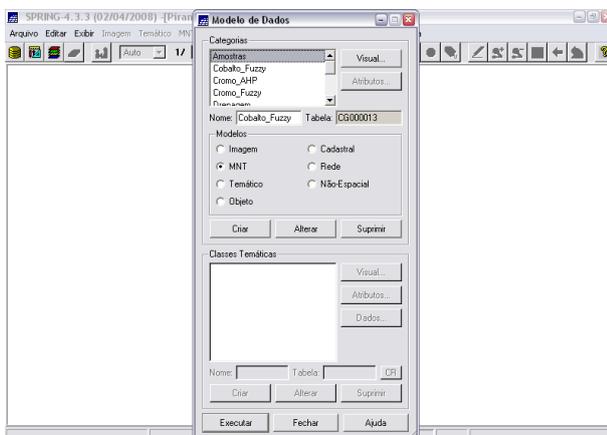


Figura 2.3 – visualização do *Modelo de Dados*.

Nome da Categoria	Modelo
Amostras	MNT
Cromo_Fuzzy	MNT
Cobalto_Fuzzy	MNT
Gama_Fuzzy	MNT
Cromo_AHP	MNT
Geologia_Ponderada	MNT

Tabela 2.1 – categorias e respectivos modelos.

Nome da Categoria	Modelo	Classes Temáticas	Visual/Cores
<b>Drenagem</b>	Temático	drenagens	Linha / BLUE_7
<b>Recorte</b>	Temático	cl_recorte	Linha / BLACK
<b>Fatiamento</b>	Temático	Alto Potencial	Área / RED_7
		Medio Potencial	Área / GREEN_3
		Baixo Potencial	Área / BLUE_1
		Background	Área / GRAY_1
<b>Geologia</b>	Temático	Asap - Sto Antonio Pirapetinga	Área / BLUE_7
		Arvs - Unidade Superior	Área / GREEN_1
		Granito-Granodiorito	Área / RED_7
		Arvm - Unidade Media	Área / YELLOW_4
		mv1 - Sto Antonio Pirapetinga	Área/ BEIGE
		mb - Sto Antonio Pirapetinga	Área / BLUE_1

Tabela 2.2 – categorias, modelos, classes temáticas e visual.

## 2.1 GRADE REGULAR PARA O PI: TEORES CROMO

Utilizando o interpolador de Média Ponderada foi gerada a grade regular para o PI Teores\_Cromo.

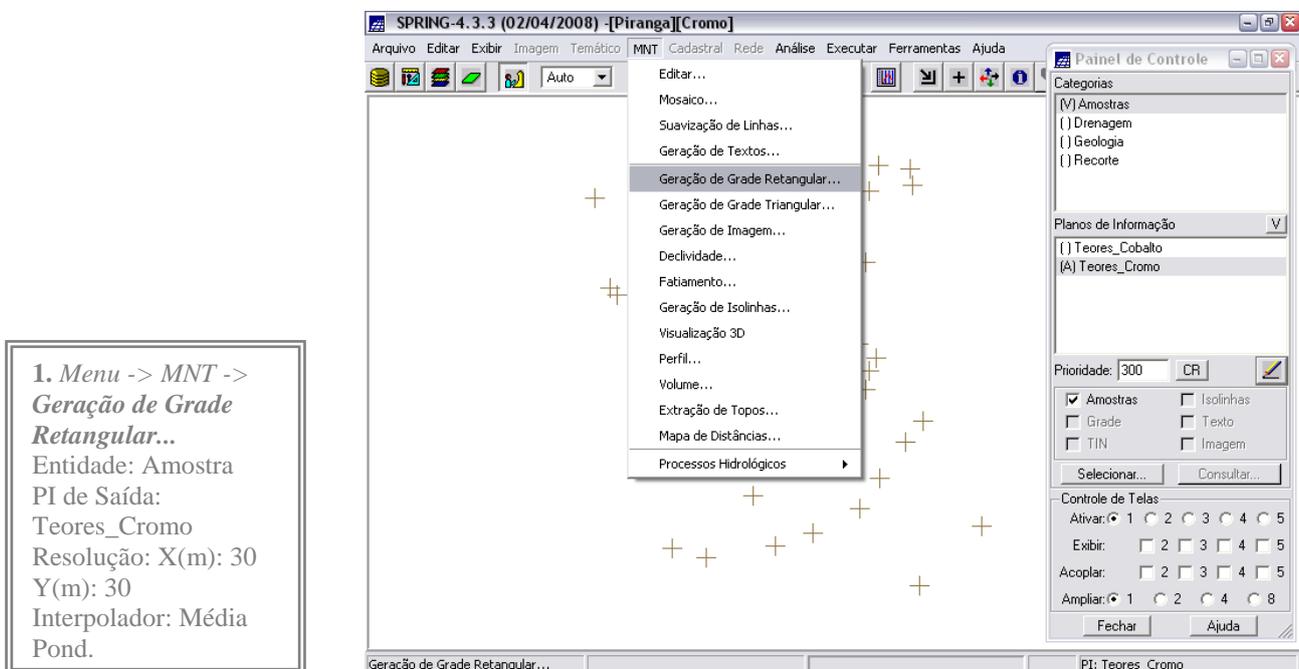


Figura 2.4 – geração de Grade Retangular.

## 2.2 GRADE REGULAR PARA O PI: TEORES COBALTO

Utilizando-se novamente o interpolador de Média Ponderada fora gerada a grade regular para o PI Teores\_Cobalto.

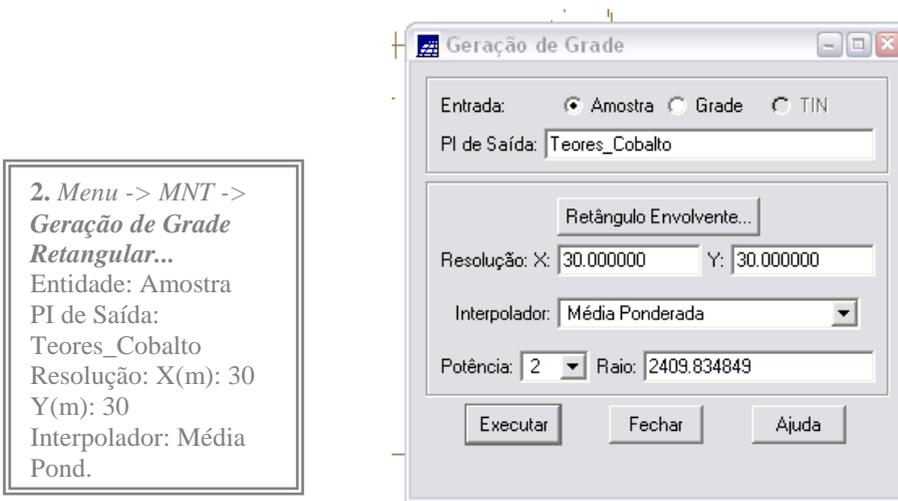


Figura 2.5 – geração de Grade Retangular.

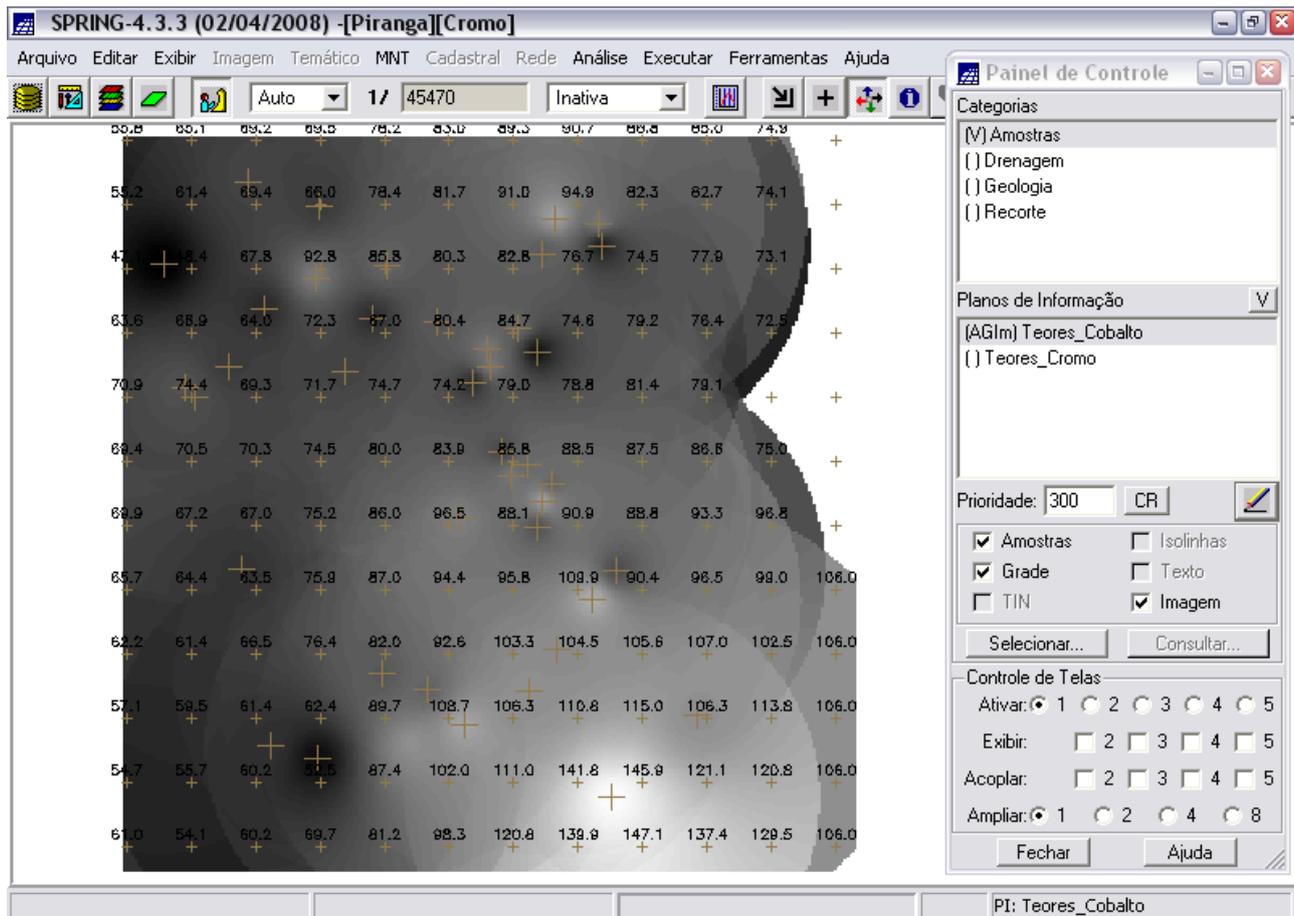


Figura 2.6 – Grade Retangular gerada para *Teores de Cobalto*.

## 2.3 MAPA PONDERADO DA GEOLOGIA

Após a geração das grades regulares para os dois teores (Cromo e Cobalto), utilizando rotinas no LEGAL para gerar um mapa de geologia ponderada pelas classes pré-definidas.

O programa utilizado gera um PI do tipo *Numérico* a partir de um dado temático (PI: Mapa\_Geologico, categoria: Geologia). Usando o operador *Novo*, foram gerados processamentos baseadas em uma tabela de ponderação. A tabela identifica as *Classes Temáticas* do mapa e atribui pesos a ela, armazenando o mapa resultante no PI Geologia\_Ponderada (categoria: Geologia\_Ponderada).

Como resultado dessa etapa obtém-se o *Mapa Ponderado de Geologia*, que mostra os pesos associados a cada classe.

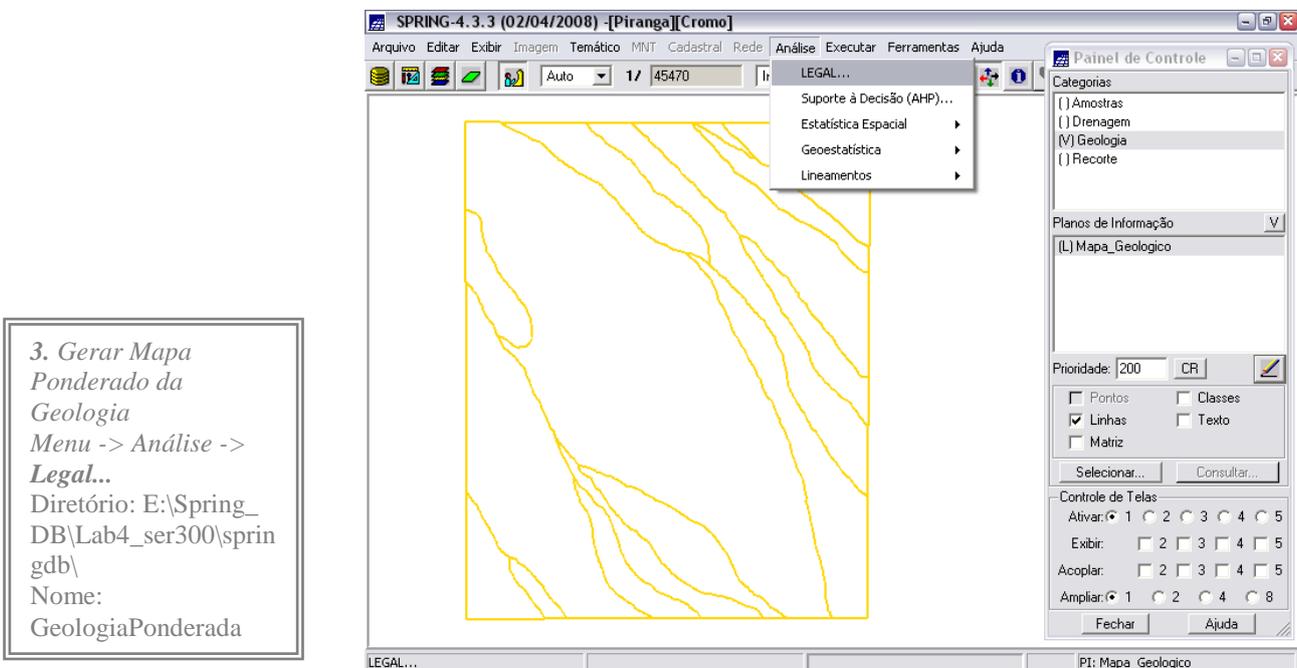


Figura 2.7 – geração de mapa ponderado da Geologia.

*Pressione o botão Criar..., e edite o programa abaixo:*

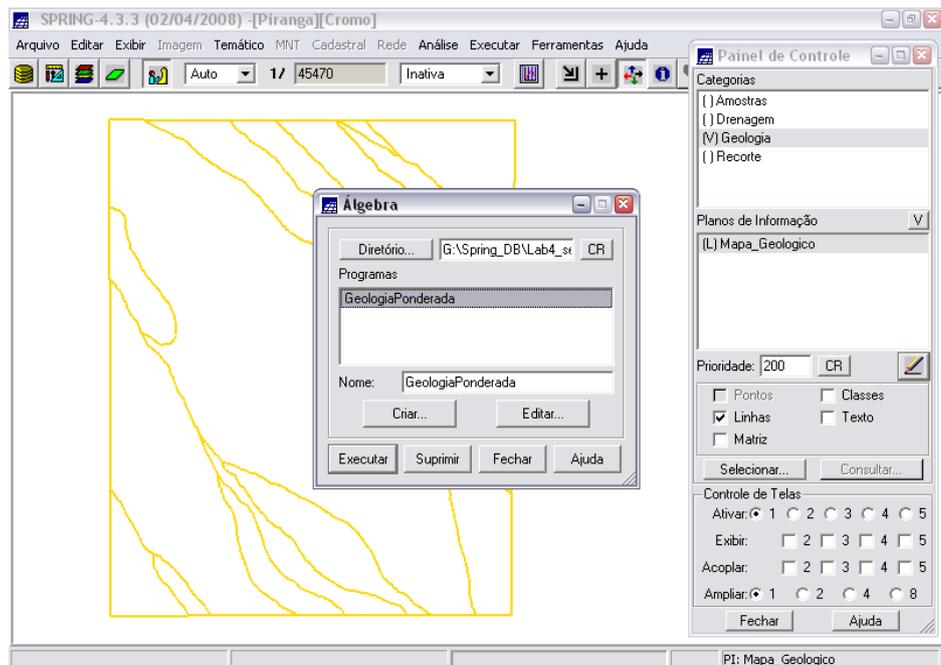


Figura 2.8 – geração de mapa ponderado da Geologia.

```
{
//Declaração
Tematico geo ("Geologia");
Numerico geoP ("Geologia_Ponderada");
Tabela geoT (Ponderacao);

//Instanciação
geo = Recupere (Nome="Mapa_Geologico");
geoP = Novo (Nome ="Geologia_Ponderada" , ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000, Min =
0, Max = 1);
geoT = Novo (Categorialni = "Geologia",
"Granito-Granodiorito" : 0,
"Arvs - Unidade Superior" : 0,
"Arvm - Unidade Media" : 0.7,
"mv1 - Sto Antonio Pirapetinga" : 1,
"mb - Sto Antonio Pirapetinga" : 0.5,
"Asap - Sto Antonio Pirapetinga" : 0.7);

//Operacao
geoP = Pondere (geo, geoT);
}
```

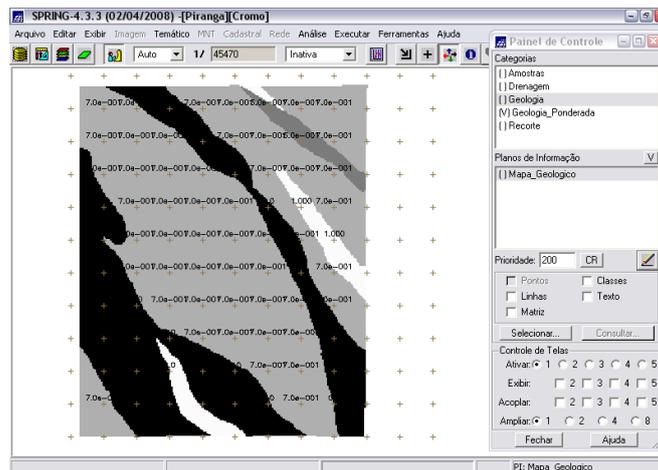


Figura 2.9 – *Mapa Ponderado de Geologia*: as cores mais escuras representam o menor peso (preto: 0,00 – 0,015625; branco: 0,984375 – 1,00)

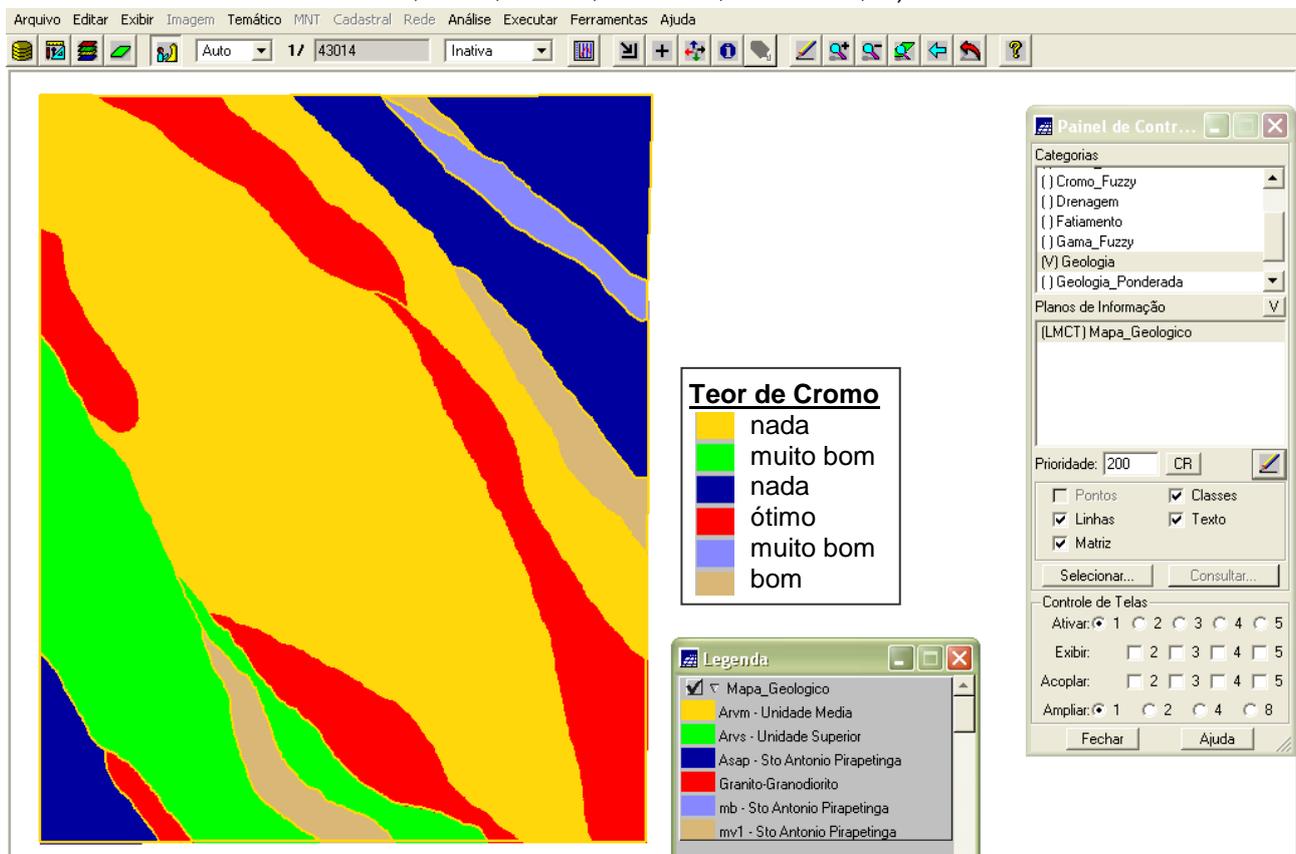


Figura 2.10 – *Mapa de Geologia*: teor de cromo nas classes geológicas.

A associação dos pesos às unidades geológicas baseados na ocorrência de cromo resultaram nos seguintes valores:

- Granito-Granodiorito : 0
- Arvs - Unidade Superior : 0
- Arvm - Unidade Media : 0.7
- mv1 - Sto Antonio Pirapetinga : 1
- mb - Sto Antonio Pirapetinga : 0.5
- Asap - Sto Antonio Pirapetinga : 0.7

Os valores de *Background* e *Anomalia de 1ª Ordem* foram utilizados na formulação da função quadrática, onde o *Background* foi considerado como valor do ponto de cruzamento e as *Anomalias de 1ª Ordem* de cada elemento foram consideradas como valor 1, conforme ilustra a figura 2.14:

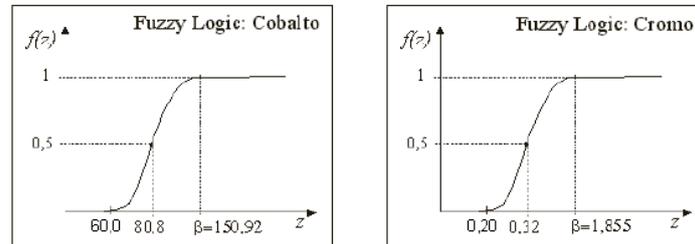


Figura 2.11 – O valor do parâmetro  $\alpha$  para o Cobalto é  $\sim 0,000198$  e para o Cromo  $\sim 0,424$ .

## 2.4 UTILIZAÇÃO DE FUZZY LOGIC NO MAPEAMENTO DA GRADE DO PI TEORES CROMO

A técnica *Fuzzy* foi usada para mapear os *teores de cobalto e cromo* e depois ambos foram cruzados através da rotina *Fuzzy Gamma*.

Foi gerado um mapa tipo *Numérico* do PI Cromo\_Fuzzy utilizando uma operação *fuzzy* aplicada sobre o mapa tipo *Numérico* do PI Teores\_Cromo. Na operação *fuzzy* cada *pixel* da imagem recebe o valor:

$$\text{cromofuzzy} = \begin{cases} 0, & \text{cromo} < 0,2 \\ \frac{1}{1 + 0,24(\text{cromo} - 1,855)^2}, & 0,2 < \text{cromo} < 1,855 \\ 1, & \text{cromo} > 1,855 \end{cases}$$

```
{
// Fuzzy cromo (ponto ideal com um teor de 1.855 % e ponto de cruzamento em 0.32)

//Declaração
Numerico cromo ("Amostras");
Numerico cromofuzzy ("Cromo_Fuzzy");

//Instanciação
cromo = Recuperar ( Nome= "Teores_Cromo" );
cromofuzzy = Novo (Nome = "Cromo_Fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=1);
//Operação
cromofuzzy = (cromo < 0.20)? 0 : (cromo > 1.855)? 1 : 1/(1 + (0.424 * ((cromo - 1.855)^2)));
}
```



## 2.5 UTILIZAÇÃO DA FUZZY LOGIC NO MAPEAMENTO DA GRADE DO PI TEORES COBALTO

Após realizado o mapeamento dos *teores de cromo*, a técnica *Fuzzy* foi novamente aplicada para mapear os *teores de cobalto*. Na etapa seguinte, ambos serão cruzados através da rotina *Fuzzy Gamma*.

Foi gerado um mapa tipo *Numérico* do PI Cobalto\_Fuzzy utilizando uma operação *fuzzy* aplicada sobre o mapa tipo *Numérico* do PI Teores\_Cobalto. Na operação *fuzzy* cada *pixel* da imagem recebe o valor:

$$\text{cobalfuzzy} = \begin{cases} 0, & \text{cobal} < 60 \\ \frac{1}{1 + 1,98e - 4 \cdot (\text{cobal} - 150,92)^2}, & 60 < \text{cobal} < 150,92 \\ 1, & \text{cobal} > 180,92 \end{cases}$$

5. Mapeamento Da Grade do PI Teores\_Cobalto Utilizando Fuzzy Logic Menu -> Análise -> Legal... Diretório: E:\Spring\_DB\Lab4\_ser300\springdb\ Nome: CobaltoFuzzy

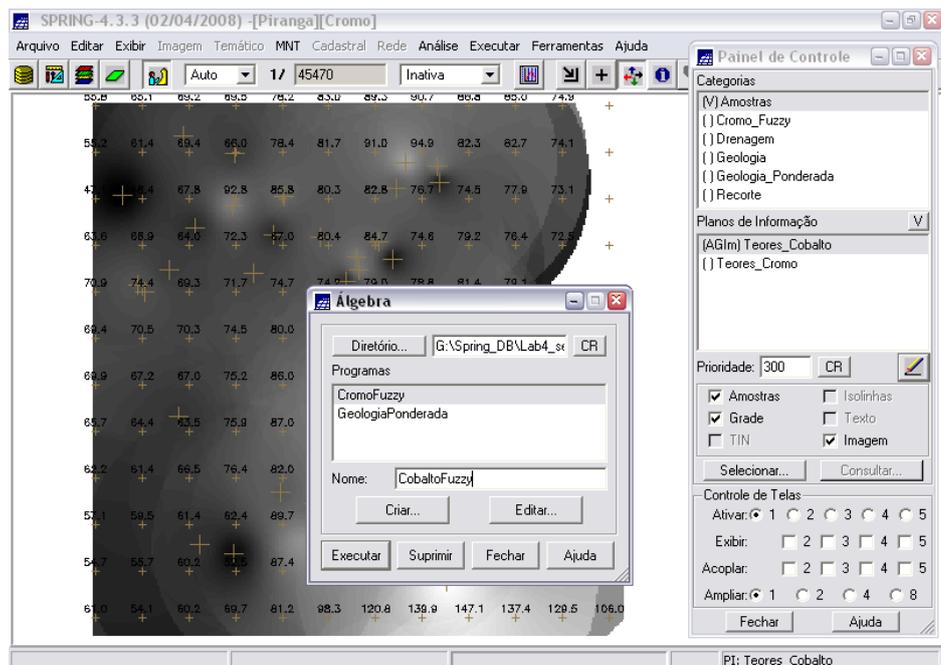


Figura 2.13 – mapeamento do PI Teores\_Cobalto.

Salvar o programa editado  
Executar o programa CobaltoFuzzy



Figura 2.14 – mapeamento do PI Teores\_Cobalto.

## 2.6 CRUZAMENTO DOS Pis CROMO FUZZY E COBALTO FUZZY UTILIZANDO A FUNÇÃO *FUZZY GAMA*

O passo seguinte foi executar um programa que aplica o operador *Fuzzy Gama* sobre os Pis *Cromo\_Fuzzy* e *Cobalto\_Fuzzy*, gerados anteriormente.

Este operador é definido por dois termos, um produto algébrico *Fuzzy* e uma soma algébrica *Fuzzy*, como segue:

$$\mu = (\text{soma algébrica Fuzzy})^\gamma \times (\text{produto algébrico Fuzzy})^{1-\gamma}$$

No produto, o operador faz a multiplicação dos membros dos diferentes planos de informação (Geo-Campos [0,1]), onde o valor de saída de um dado ponto é sempre menor ou igual ao valor do membro *Fuzzy*. Isso ocorre devido à multiplicação de valores iguais ou menores que 1. Já na soma algébrica o resultado é sempre maior ou igual ao valor de entrada do maior membro *Fuzzy*. A importância maior ou menor do operador em cada termo (soma e produto) vai depender do valor atribuído para o expoente  $\gamma$ . Assim quando  $\gamma = 0$ , o resultado dependerá apenas do termo produto algébrico *Fuzzy*, e quando  $\gamma = 1$ , o resultado dependerá apenas do termo soma algébrica *Fuzzy*.

O resultado obtido foi o PI *Gamma\_Fuzzy*.

6. Cruzar os PI's *Cromo\_Fuzzy* e *Cobalto\_Fuzzy* utilizando a função *Fuzzy Gama*.  
Menu -> Análise -> **Legal...**  
Diretório: E:\Spring\_DB\Lab4\_ser300\sprindb\  
Nome: *GamaFuzzy*

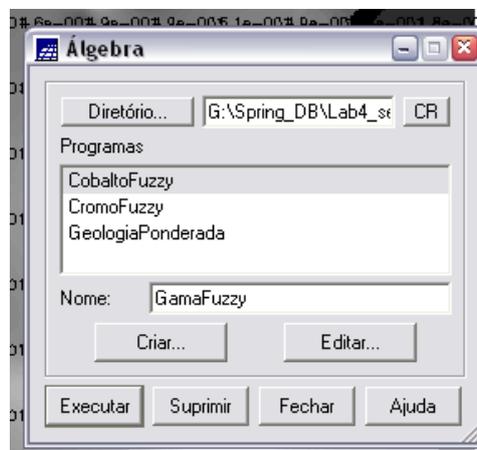


Figura 2.15 – cruzamento dos Pis *Cromo\_Fuzzy* e *Cobalto\_Fuzzy*.

```
{
//Declaração
Numerico cobal("Cobalto_Fuzzy"), cromo("Cromo_Fuzzy"), geol
("Geologia_Ponderada");
Numerico gama ("Gama_Fuzzy");

//Instanciação
cobal = Recuperar (Nome= "Cobalto_Fuzzy");
cromo = Recuperar (Nome= "Cromo_Fuzzy");
geol = Recuperar (Nome= "Geologia_Ponderada");
```

```

gama=Novo (Nome="Gama_Fuzzy", ResX=30, ResY= 30, Escala=50000, Min=0, Max=1);

//Operação
g=0.70;
gama = (cobal*cromo*geol)^(1 - g) * (1 - ( (1 - cobal) * (1- cromo) * (1- geol) )^g);
}

```

*Salvar o programa editado*  
*Executar o programa GammaFuzzy*

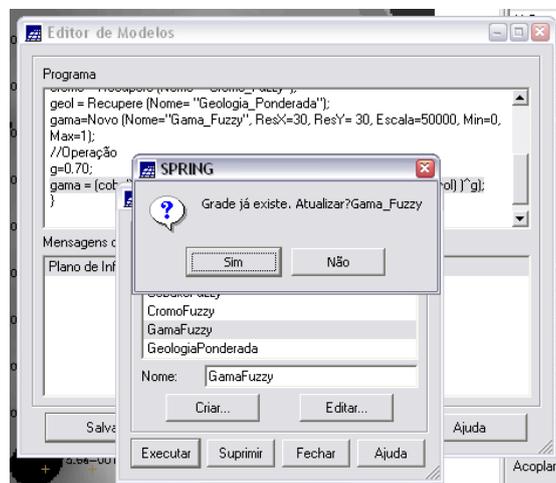


Figura 2.16 – cruzamento dos PIs Cromo\_Fuzzy e Cobalto\_Fuzzy.

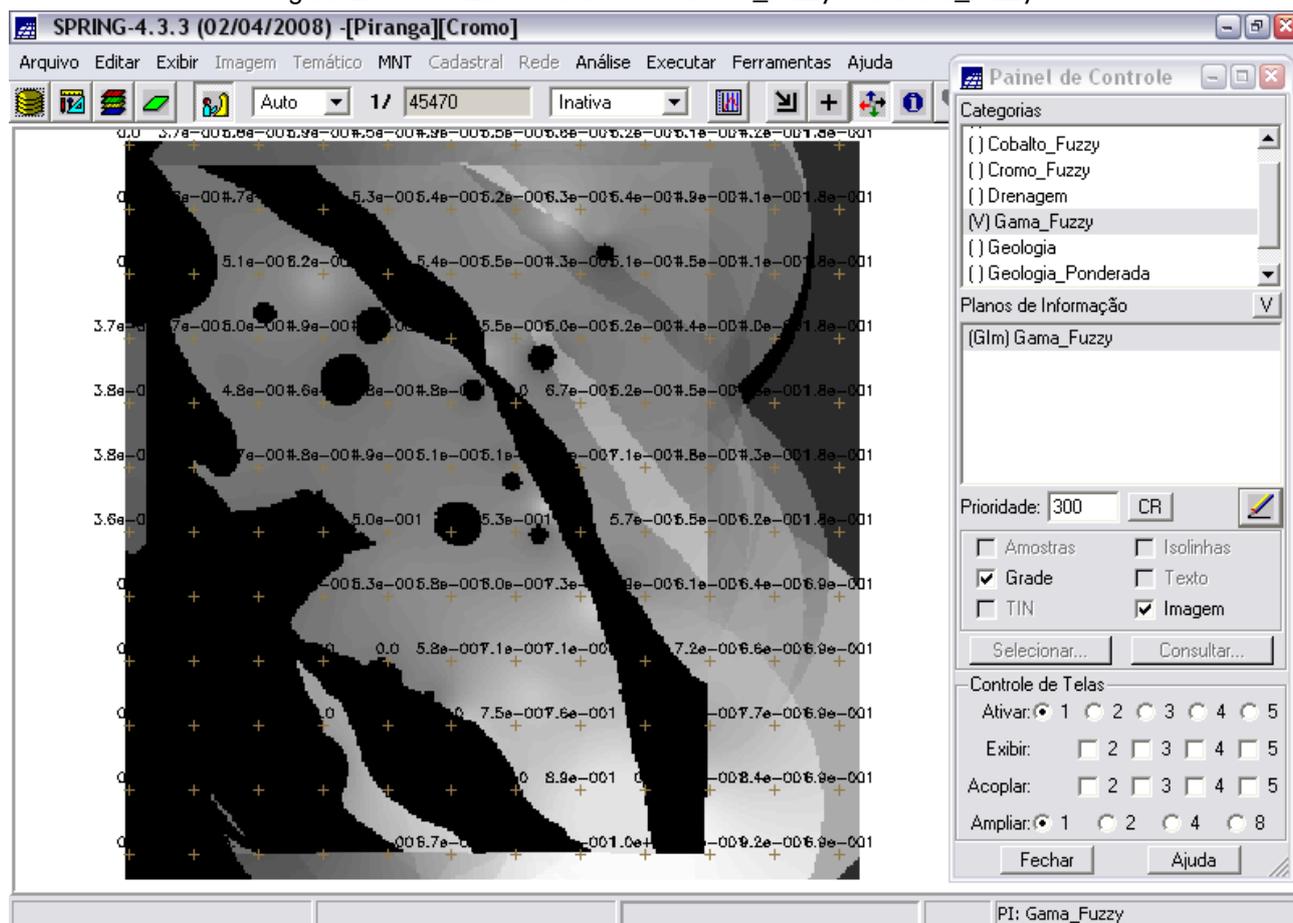


Figura 2.17 – cruzamento dos teores de Cromo e Cobalto por Fuzzy Gama.

## 2.7 CRIAÇÃO DO PI CROMO\_AHP UTILIZANDO A TÉCNICA DE SUPORTE À DECISÃO AHP (PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO)

Depois de usar o método *Fuzzy*, foi criado o PI Cromo\_AHP utilizando-se a técnica de decisão à suporte *AHP*. A *AHP* é uma teoria matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Ela pondera todos os critérios através de uma comparação e calcula um valor de razão de consistência entre 0 e 1, sendo o 0 a completa consistência do processo de julgamento.

Para este caso, foram escolhidas três categorias numéricas: Cromo\_Fuzzy, Cobalto\_Fuzzy e Gama\_Fuzzy. Para cada uma foi escolhido um peso aleatoriamente, até obter razão de consistência inferior a 1, que no caso foi de 0,033 e calculou-se o peso (vide programa a seguir).

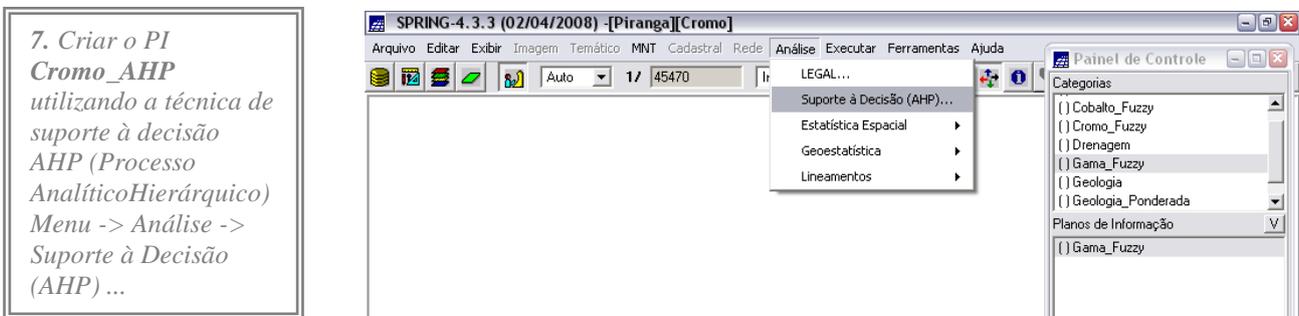


Figura 2.18 – criação do PI Cromo\_AHP utilizando a técnica de suporte à decisão AHP.

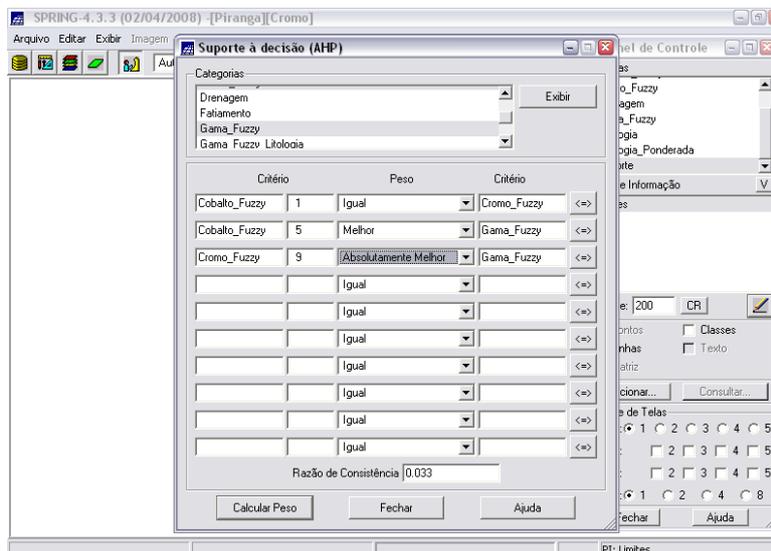


Figura 2.19 – criação do PI Cromo\_AHP: escolha das categorias e atribuição de pesos para aplicação da técnica de suporte à decisão AHP.

Como resultado, esta função do SPRING gera um esqueleto de programa em LEGAL (salvo em CromoAHP.alg), que deverá ser completado pelo usuário com as informações específicas sobre os dados nos quais deseja aplicar o procedimento. É importante

lembrar que a aplicação da técnica AHP se dá sob a forma de uma média ponderada. Assim, os dados tiveram que ser convertidos para uma escala de [0..1] antes da aplicação do programa.

```
{
// Pesos a ser aplicados
// Cromo_Fuzzy = 0.733
// Cobalto_Fuzzy = 0.199
// Geologia_Ponderada = 0.068
// Razao de consistencia
// CR = 0.081
// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada
Numerico var1 ("Cromo_Fuzzy");
Numerico var2 ("Cobalto_Fuzzy");
Numerico var3 ("Geologia_Ponderada");
// Definicao do dado de saida
Numerico var4 ("<Cromo_AHP>");

// Recuperacao dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="<Cromo_Fuzzy>");
var2 = Recupere (Nome="<Cobalto_Fuzzy>");
var3 = Recupere (Nome="<Geologia_Ponderada>");

// Criacao do dado de saida
var4 = Novo (Nome="< Cromo_AHP>", ResX=<30>, ResY=<30>, Escala=< 50000>, Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada
var4 = 0.733*var1 + 0.199*var2+ 0.068*var3;
}
```

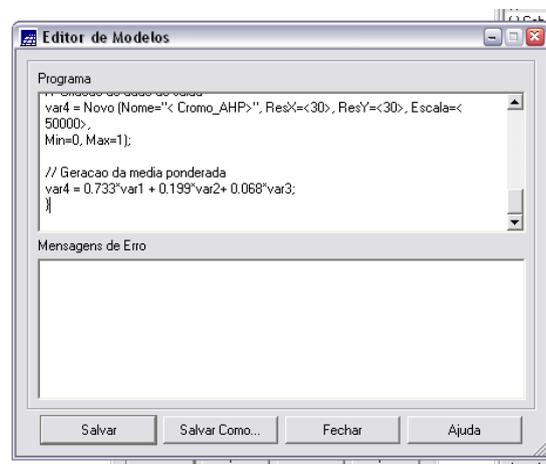


Figura 2.20 – tela do *Editor de Modelos*, em que se insere o programa mencionado acima, para criação do PI Cromo\_AHP utilizando a técnica de suporte à decisão AHP.

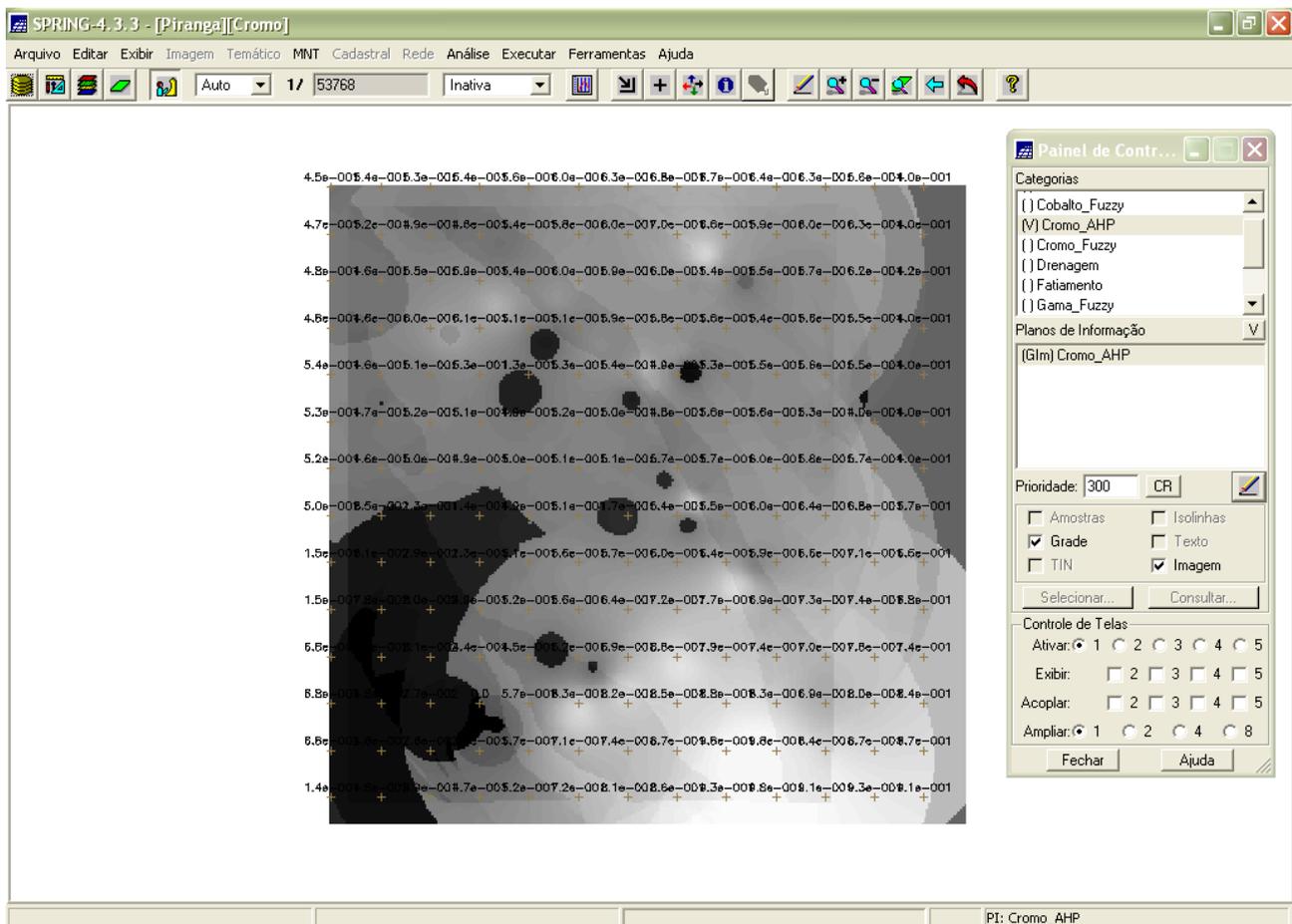
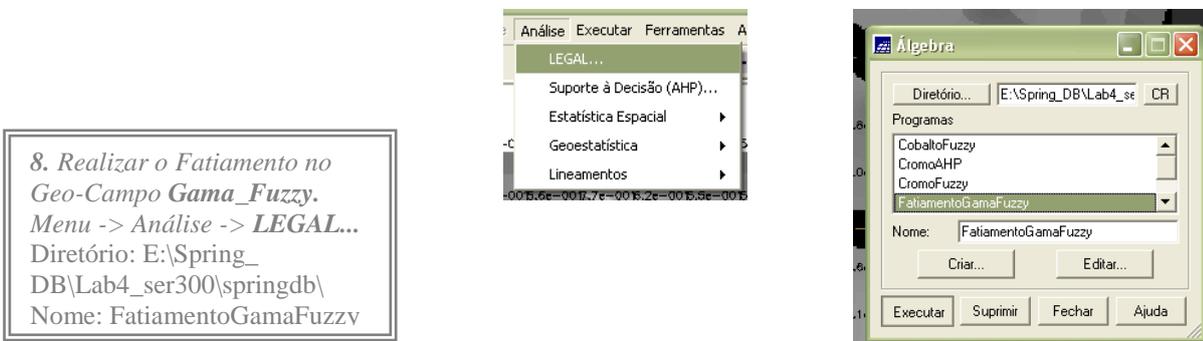


Figura 2.21 – PI Cromo\_AHP criado por meio da técnica de suporte à decisão AHP.

## 2.8 FATIAMENTO NO GEOCAMPO GAMA FUZZY

Nesta etapa, é gerado um plano de informação do tipo Temático (FAT\_Cromo\_Fuzzy) a partir do dado numérico Gama\_Fuzzy. As regras de processamento são baseadas em uma tabela de fatiamento (tab). A tabela de fatiamento determina as classes e os valores numéricos que as delimitam. O código-fonte do programa que realiza o fatiamento no geocampo é mostrado a seguir.



Figuras 2.22 e 2.23 – operação de fatiamento no PI Gama\_Fuzzy.

```

{ //Declarações
Numerico num ("Gama_Fuzzy");
Tematico tem ("Fatiamento");
Tabela tab(Fatiamento);

//Instanciações
num = Recuperar (Nome = "Gama_Fuzzy");
tab = Novo (CategoriaFim = "Fatiamento",
           [0.0, 0.2] : "Background",
           [0.2, 0.5] : "Baixo Potencial",
           [0.5, 0.7] : "Medio Potencial",
           [0.7, 1.0] : "Alto Potencial" );
tem = Novo (Nome = "FAT_Gama_Fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);

//Operações
tem = Fatie (num, tab);
}

```

*Salvar o programa editado*  
*Executar o programa FatiamentoGammaFuzzy*

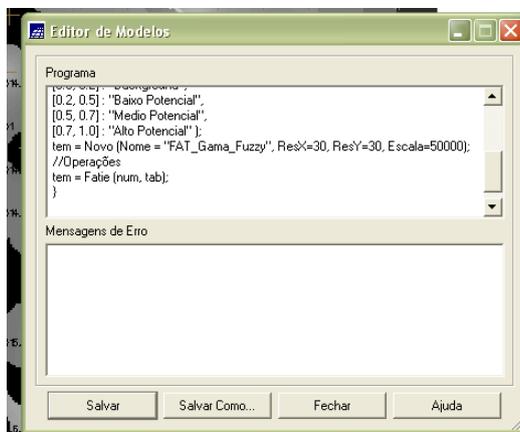


Figura 2.24 – programa para realização do fatiamento no PI Gama\_Fuzzy.

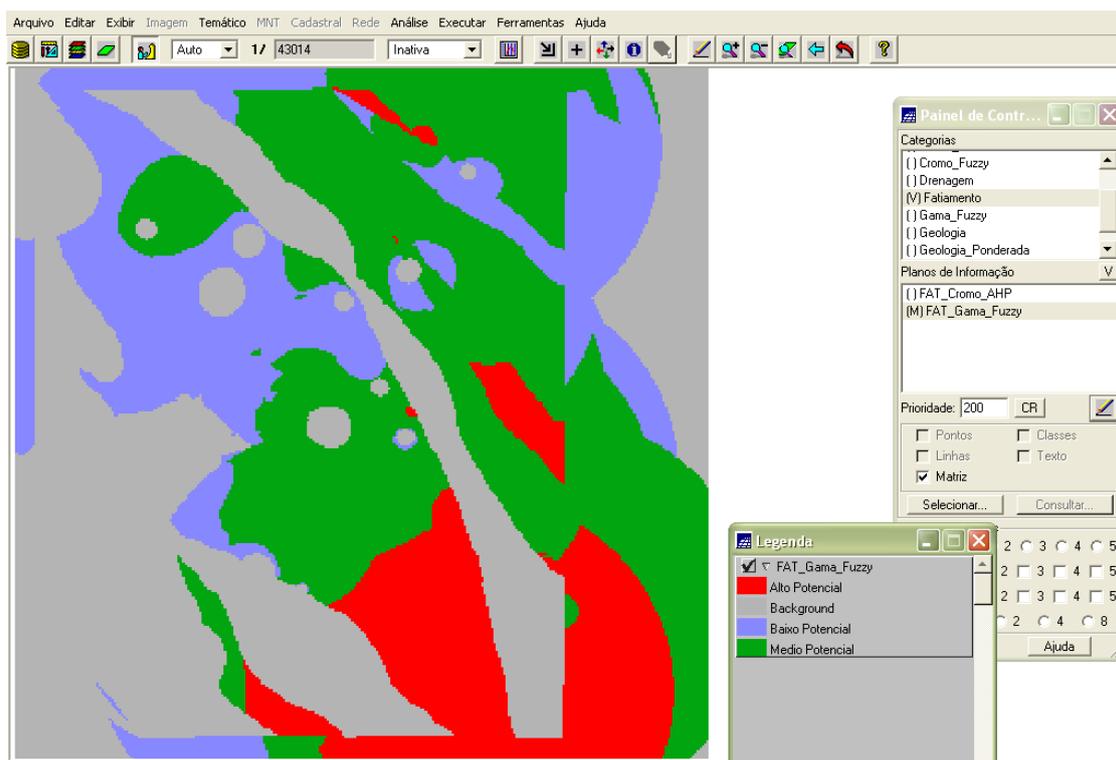
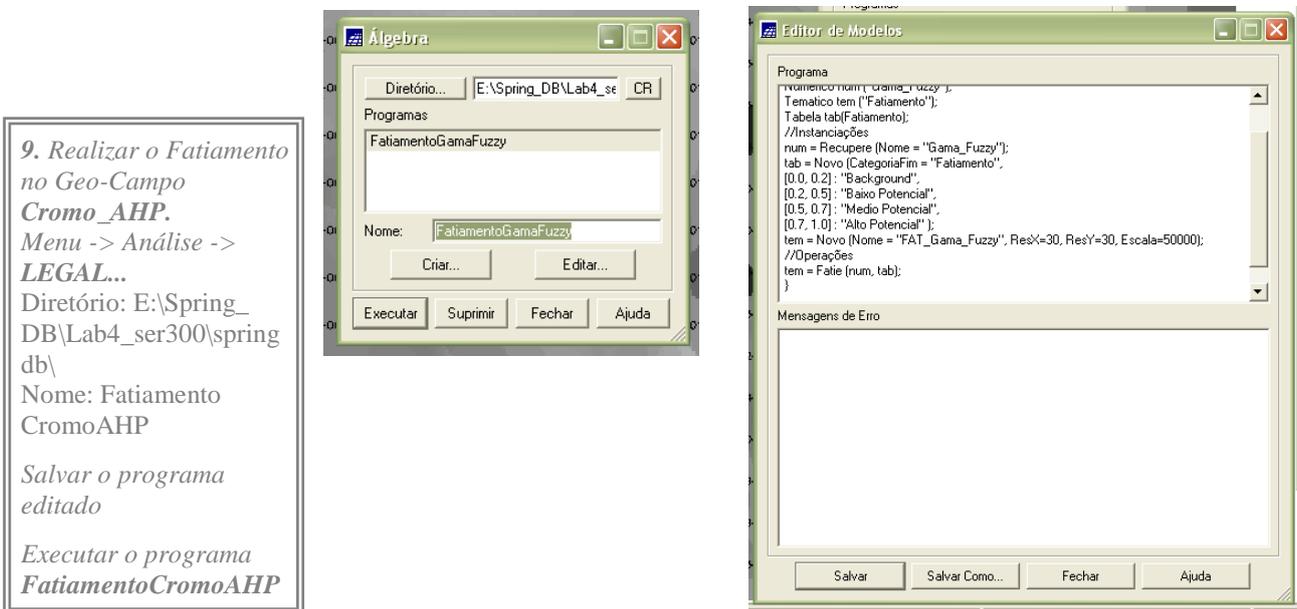


Figura 2.25 – PI Fat\_Gamma\_Fuzzy criado por meio da operação de fatiamento.

## 2.9 FATIAMENTO NO GEOCAMPO CROMO AHP

Após a criação do mapa temático do *Teor de Cromo e Cobalto* por meio do fatiamento do PI Gama\_Fuzzy, realizou-se novamente a operação de fatiamento, desta vez no PI: Cromo\_AHP, para criação de mapa temático cujas classes estivessem associadas aos pesos declarados através do AHP, para posterior comparação de resultados.

Nesta etapa, é gerado um plano de informação do tipo Temático (FAT\_Cromo\_AHP) a partir do dado numérico Cromo\_AHP. As regras de processamento são baseadas em uma tabela de fatiamento (tab). A tabela de fatiamento determina as classes e os valores numéricos que as delimitam. O código-fonte do programa que realiza o fatiamento no geo-campo é mostrado a seguir.



Figuras 2.26 e 2.27 – operação de fatiamento no PI Cromo\_AHP.

```
{
//Declarações
Numerico num ("Cromo_AHP");
Tematico tem ("Fatiamento");
Tabela tab(Fatiamento);

//Instanciações
num = Recuperar (Nome = "Cromo_AHP");
tab = Novo (CategoriaFim = "Fatiamento",
[0.0, 0.2] : "Background",
[0.2, 0.5] : "Baixo Potencial",
[0.5, 0.7] : "Medio Potencial",
[0.7, 1.0] : "Alto Potencial" );
tem = Novo (Nome = "FAT_Cromo_AHP", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);
//Operações
tem = Fatie (num, tab); }
```

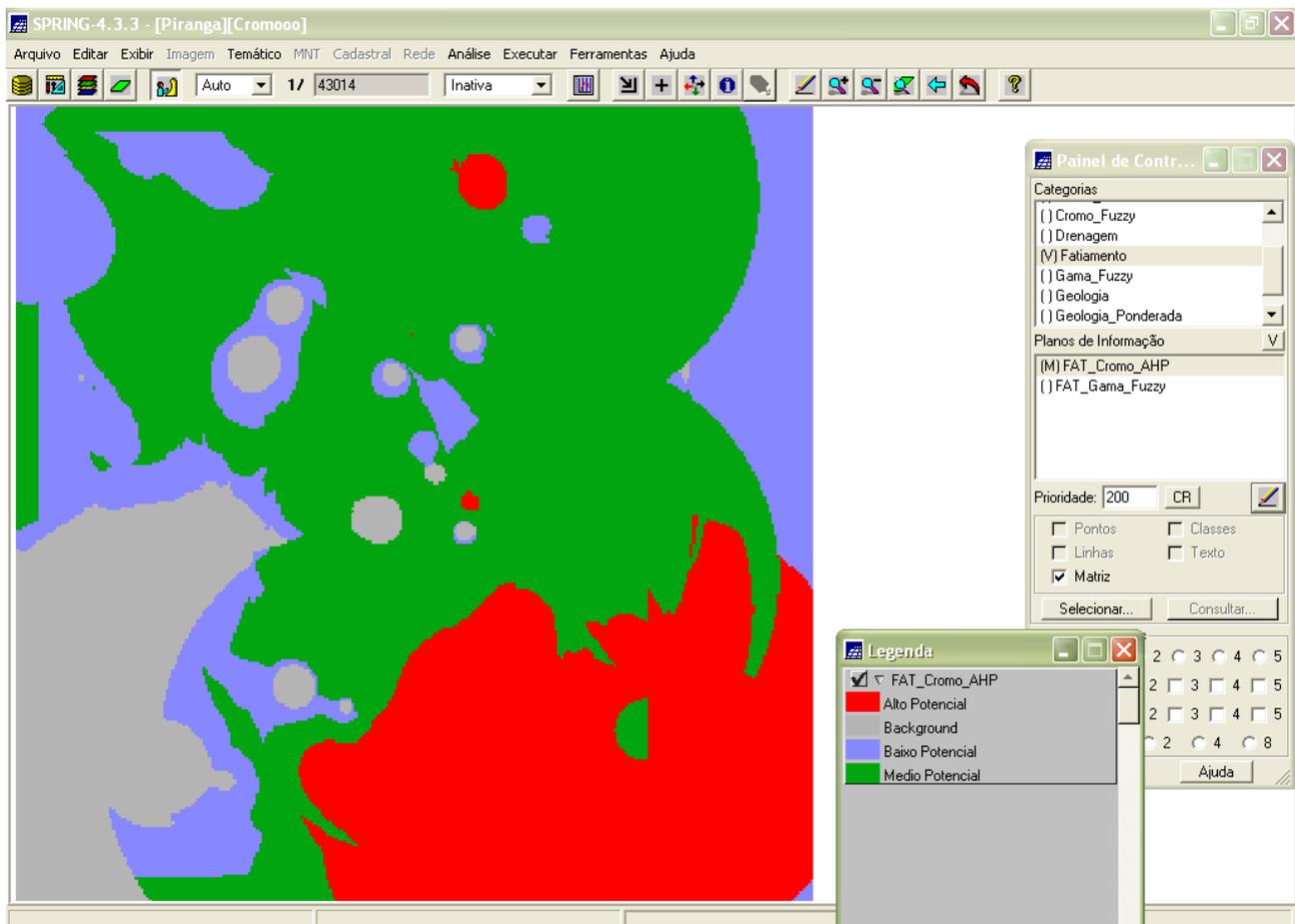


Figura 2.28 – PI Fat\_Cromo\_AHP criado por meio da operação de fatiamento.

### 3 CONCLUSÃO:

Ao comparar os dois fatiamentos, nota-se que a área classificada como Background (em cinza) apresenta maior representação para mapeamento pela lógica *Fuzzy\_Gama* do que pela técnica de suporte *AHP*. No entanto, a área de Médio Potencial (verde) tem uma maior representação pela técnica *AHP* devido ao maior peso atribuído ao ponderar as categorias.

Comparando com o mapa gerado partir da técnica *AHP* (figura 3.1) com o *Mapa Geológico* (figura 3.4), observou-se que o resultado obtido não foi satisfatório, apresentando muitas distorções em relação ao *Mapa Geológico* (muitas discordâncias e poucas similaridades).

Contudo, relacionando o *Mapa de Potencialidade de Cromo* obtido pela técnica *Fuzzy Gama* (figura 3.3) com o *Mapa Geológico* (figura 3.2), concluiu-se que o resultado foi eficiente, pois a ocorrência de alta e média discrepâncias entre os mapas não foi muito significativa (sendo constatado maior número de similaridades), sendo essas discrepâncias foram mais encontradas na região centro-norte do mapa.

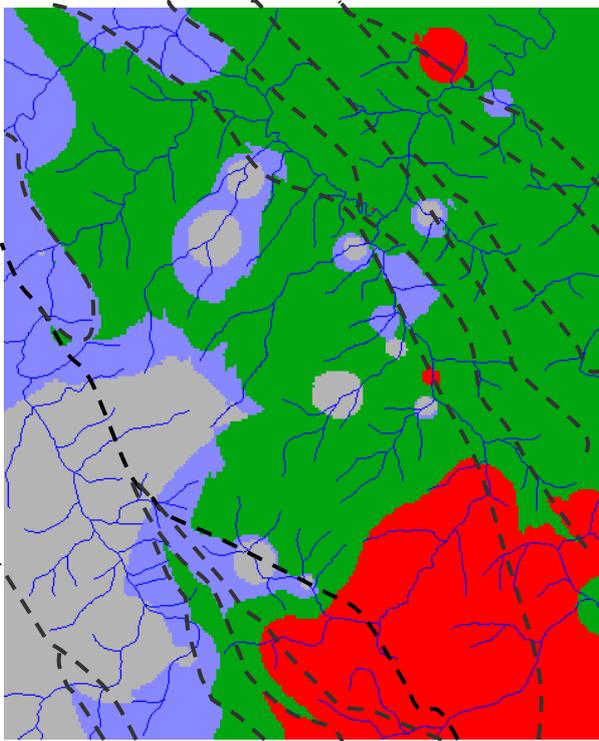


Figura 3.1 – PI Fat\_Cromo\_AHP<sup>1</sup>

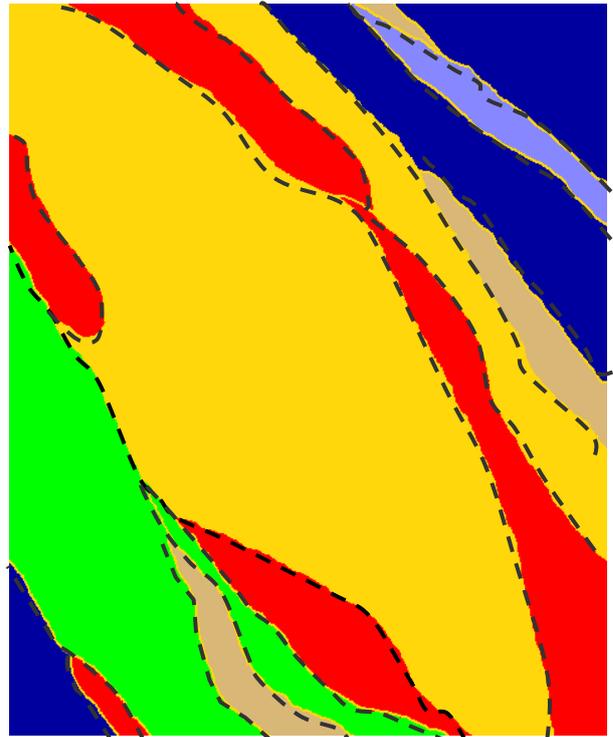


Figura 3.2 – Mapa Geológico

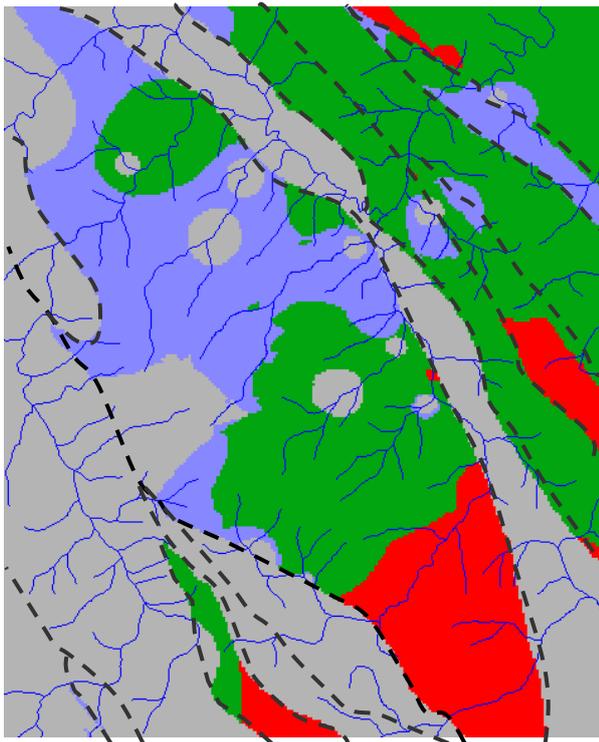


Figura 3.3 – PI Fat\_Gama\_Fuzzy

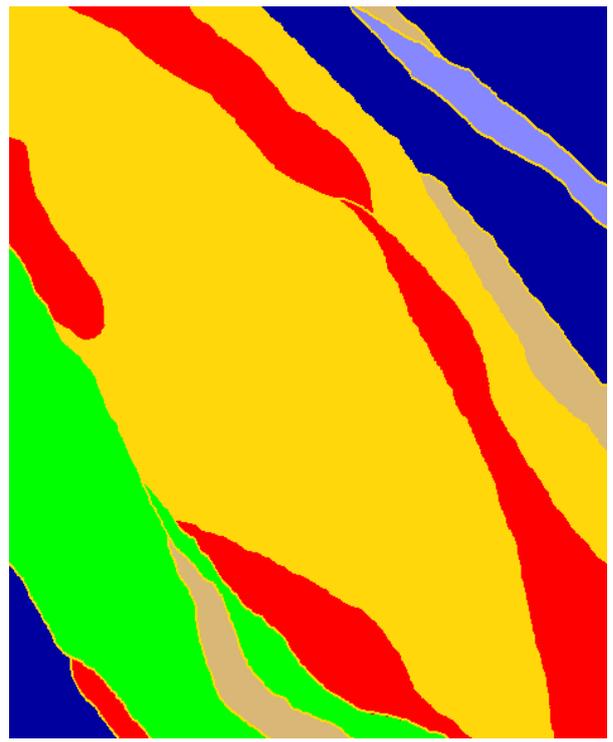


Figura 3.4 – Mapa Geológico

<sup>1</sup> As linhas tracejadas em preto foram criadas para melhor comparar os *Mapas de Potencialidade de Cromo* obtidos por fatiamento (PIs Fat\_Cromo\_AHP e Fat\_Gama\_Fuzzy) com o *Mapa Geológico*.