



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SER-300: INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO

Leonardo Lima

RELATÓRIO DE ATIVIDADES
LABORATÓRIO Nº 4: ÁLGEBRA DE MAPAS/LEGAL

INPE
São José dos Campos
2016

Introdução

O *Laboratório 4* é baseado num exercício de seleção de áreas potenciais a ocorrência de Cromo, a partir das técnicas AHP (Processo Analítico Hierárquico) e *Fuzzy Logic*. Parece que os dados foram obtidos através de coleta de amostras realizadas no município de Piranga, Minas Gerais, em uma área de 51,33 km² no período de Abril a Julho de 1996.

O Exercício

Os procedimentos executados no *Laboratório 4* consistem na geração de mapas a partir de programas escritos na *Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico* (LEGAL). Inicialmente, foi ativado o banco de dados Piranga e o projeto Cromo. O sistema de projeção adotado foi UTM/Hayford/Córrego Alegre.

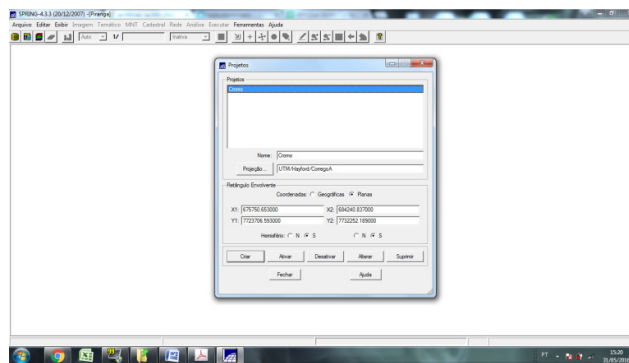


Figura 1 - Ativação Projeto Cromo dentro do BD Piranga (Fonte: Elaboração Própria)

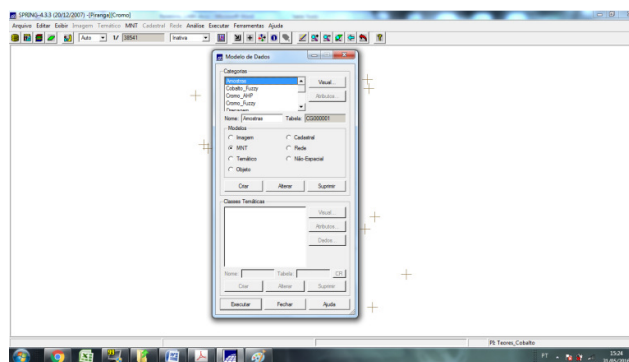


Figura 2 - Modelo de Dados do Banco Piranga (Fonte: Elaboração Própria)

Existem 6 categorias de dados nesse Banco de Dados (Amostras, Cromo_Fuzzy, Cobalto Fuzzy, Gama_Fuzzy, Cromo_AHP e Geologia_Ponderada). Todas elas formadas por modelos numéricos de terreno (MNT). Dentro desse BD, também existe

uma série de informações “presetadas”, disponibilizadas no material da oficina. Os planos de informação seguem a tabela abaixo:

Nome da Categoria	Modelo	Classes Temáticas	Visual/Cores
Drenagem	Temático	drenagens	Linha / BLUE_7
Recorte	Temático	cl_recorte	Linha / BLACK
Fatiamento	Temático	Alto Potencial	Área / RED_7
		Medio Potencial	Área / GREEN_3
		Baixo Potencial	Área / BLUE_1
		Background	Área / GRAY_1
Geologia	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 1 – Extrato com categorias, modelos, classes temáticas e visual do Banco de Dados Piranga (Fonte: Elaboração Própria).

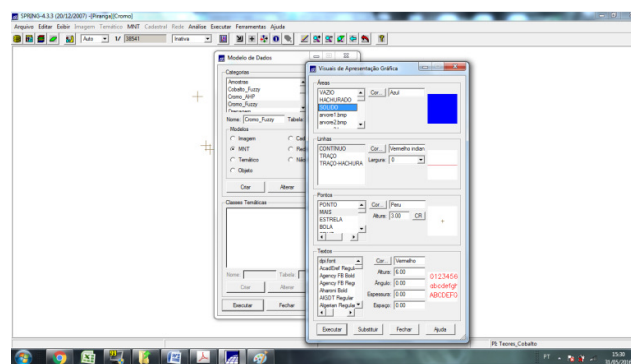


Figura 3 - Exemplo Visualização da categoria Cromo_Fuzzy (Fonte: Elaboração Própria)

Geração de Grade Regular Para o PI: Teores_Cromo

O primeiro passo do exercício foi o de gerar uma grade regular para o PI Teores_Cromo. Segundo roteiro do exercício, o interpolador sugerido é o de *Média Ponderada*.

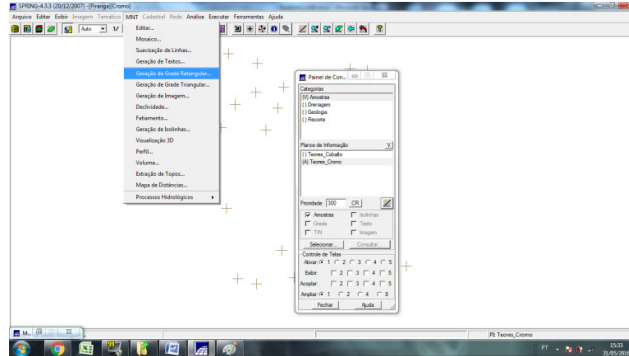


Figura 4 - Geração de MNT a partir de amostras (Fonte: Elaboração Própria)

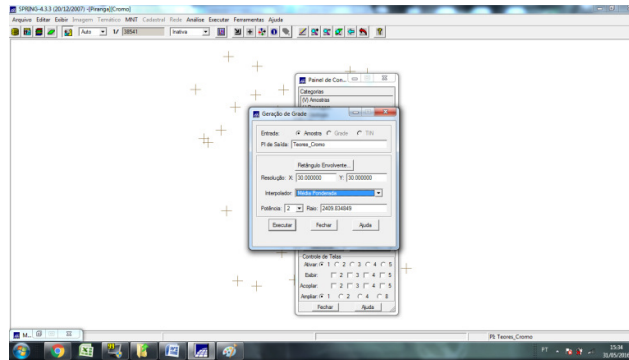


Figura 5 - Parâmetros para geração de MNT por interpolação média ponderada (Fonte: Elaboração Própria)

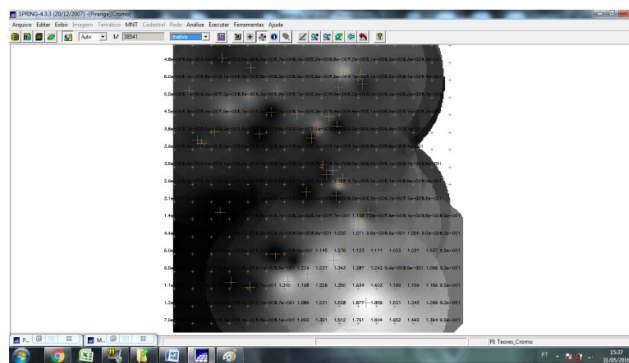


Figura 6 - Grade Regular com Teores de Cromo (Fonte: Elaboração Própria)

Geração de Grade Regular Para o PI Teores_Cobalto

Na sequência, o procedimento anterior foi realizado novamente, agora para criação da grade regular para o PI Teores_Cobalto. Mais uma vez, o interpolador utilizado foi *Média Ponderada*.

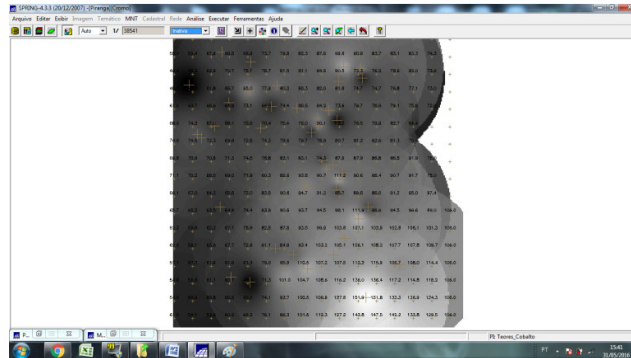


Figura 7 – Grade Regular com Teores de Cobalto (Fonte: Elaboração Própria)

Geração de Mapa Ponderado da Geologia

Assim que as grades regulares com os teores de Cobalto e Cromo foram geradas, utilizando rotinas na LEGAL, foi gerado um mapa de geologia ponderada por classes pré-definidas.

A LEGAL gera um PI do tipo *Númérico* a partir de um dado temático (PI: Mapa_Geologico, categoria: Geologia). As rotinas empregadas no processamento baseiam-se em uma tabela de ponderação que foi criada utilizando-se o comando do operador *Novo*. Essa tabela contém as *Classes Temáticas* do mapa e os pesos atribuídos a ela, armazenando o mapa resultante no PI Geologia_Ponderada (categoria: Geologia_Ponderada).

Depois desta etapa, obtém-se um *Mapa Ponderado de Geologia* que exibe os pesos associados a cada classe.

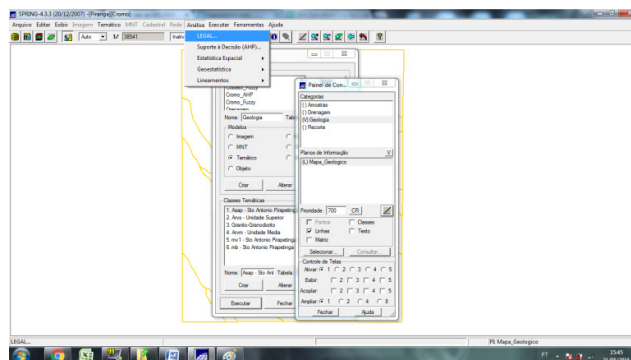


Figura 8 - Etapas da geração de um mapa de geologia ponderado (Fonte: Elaboração Própria)

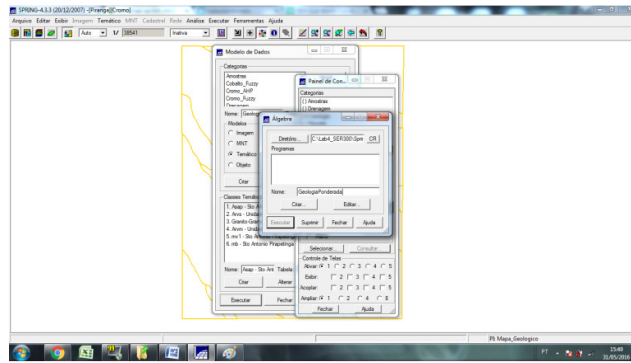


Figura 9 - Geração de Mapa Ponderado de Geologia (Fonte: Elaboração Própria)

O código abaixo, disponível no arquivo LAB1_AMC presente no banco de dados, foi escrito na rotina da LEGAL.

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

//Instanciação
geo = Recuperar (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);
}
```

Após salvar essa rotina na Legal, deve-se executá-la, clicando no botão executar (Geologia Ponderada)

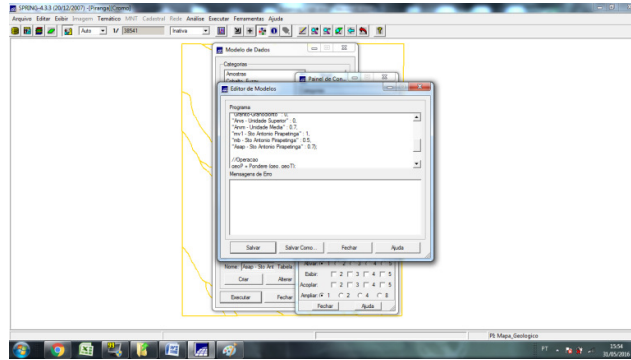


Figura 10 - geração de mapa ponderado da Geologia: edição de modelos no programa Legal (Fonte: Elaboração Própria)

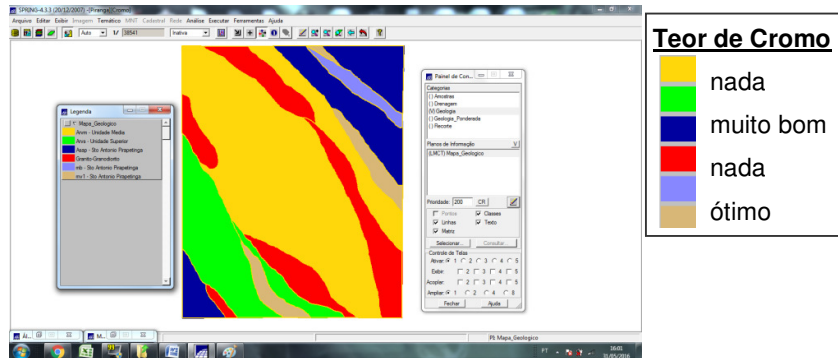


Figura 11 - Mapa de Geologia: Teores de Cromo por classe geológica (Fonte: Elaboração Própria)

Associamos pesos às unidades geológicas baseados na ocorrência de cromo que apresentaram os 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

Conforme roteiro, os valores de *Background* e *Anomalia de 1ª Ordem* foram utilizados na formulação da função quadrática. Nela, 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 12:

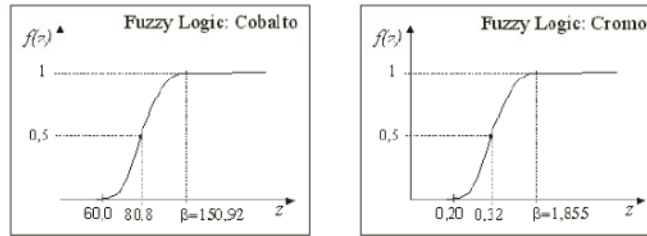


Figura 12 - O valor do parâmetro α para o Cobalto é $\sim 0,000198$ e para o Cromo $\sim 0,424$.

Mapeamento da Grade do PI Teores_Cromo Utilizando Fuzzy Logic

Utilizou-se a técnica *Fuzzy* para realizar o mapeamento dos *teores de cobalto e cromo* e, na sequência, ambos foram cruzados através de uma rotina *Fuzzy Gamma*.

Inicialmente, foi gerado um mapa *Númerico* do PI Cromo_Fuzzy utilizando uma operação *fuzzy* aplicada sobre o mapa *Númerico* do PI Teores_Cromo. Na operação *fuzzy* cada *pixel* da imagem recebe um valor conforme a função:

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

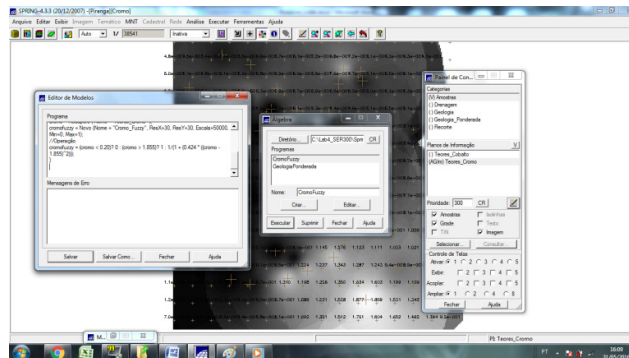


Figura 13 – Geração de Teores de Cromo por Fuzzy Logic (Fonte: Elaboração Própria)

O código abaixo, disponível no arquivo LAB1_AMC presente no banco de dados, foi escrito na rotina da LEGAL.

```
{
// 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)));  
}
```

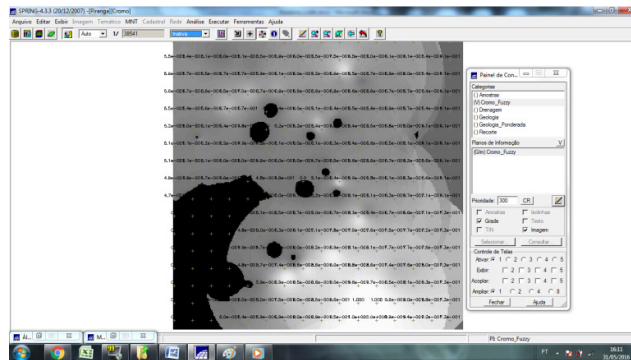


Figura 14 - Mapa Numérico com valores de cromo (preto = 0; branco = 1) (Fonte: Elaboração Própria)

Mapeamento da Grade do PI Teores_Cobalto Utilizando Fuzzy Logic

O procedimento foi realizado de forma similar para o mapeamento dos *teores de cobalto* e, posteriormente, fazer seu cruzamento com os teores de cromo com uma rotina *Fuzzy Gamma*.

Aqui, foi gerado um mapa *Númerico* do PI Cobalto_Fuzzy utilizando uma rotina *fuzzy* aplicada sobre o mapa *Númerico* do PI Teores_Cobalto. Na operação *fuzzy* cada *pixel* da imagem recebe um valor conforme a função:

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

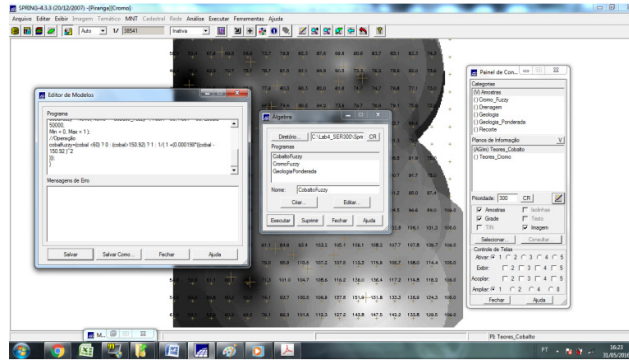


Figura 15 - Geração de Teores de Cobalto por Fuzzy Logic (Fonte: Elaboração Própria)

O código abaixo, disponível no arquivo LAB1_AMC presente no banco de dados, foi escrito na rotina da LEGAL.

```
{
// Fuzzy cobalto (ponto ideal com um teor de 150.92 ppm e ponto de cruzamento em
// 80ppm)
//Declaração
Numerico cobal ("Amostras");
Numerico cobalfuzzy ("Cobalto_Fuzzy");
//Instanciação
cobal = Recuperar ( Nome= "Teores_Cobalto" );
cobalfuzzy = Novo( Nome = "Cobalto_Fuzzy" , ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000,
Min = 0, Max = 1 );
//Operação
cobalfuzzy=(cobal <60) ? 0 : (cobal>150.92) ? 1 : 1/( 1 +(0.000198*((cobal - 150.92 )^2
));
}
```

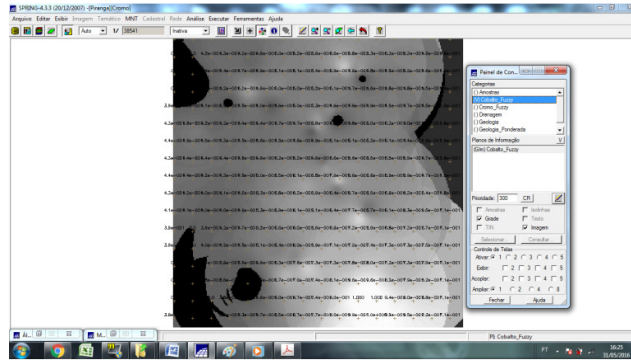


Figura 16 - Mapa Numérico com valores de cobalto (preto = 0; branco = 1) (Fonte: Elaboração Própria)

Cruzamento dos PIs Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy Utilizando a Função Fuzzy Gama

Com os teores de cromo e cobalto convertidos em PI's Fuzzy, foi aplicado um operador Fuzzy Gama.

O operador *Fuzzy Gama* é definido por dois termos: o primeiro é um produto algébrico *Fuzzy*, e o segundo a soma algébrica *Fuzzy*:

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

No produto, o operador multiplica os membros dos diferentes planos de informação (Geo-Campos [0,1]), gerando como resultado um valor sempre menor ou igual ao valor do membro *Fuzzy*. Isso se deve à multiplicação de valores iguais ou menores que 1. Por outro lado, na soma algébrica, sempre se tem valores maiores ou iguais 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 γ . 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.

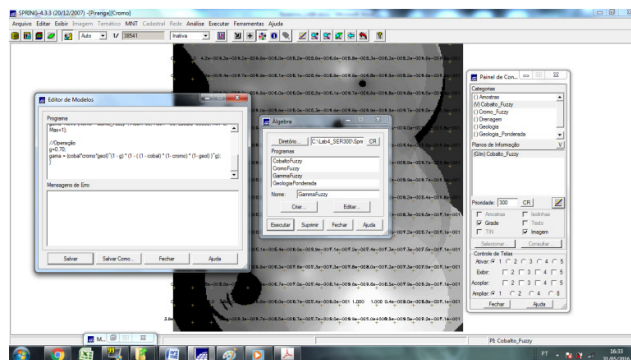


Figura 17 – Cruzamento dos PI's Cromo_Fuzzy e Cobalto_Fuzzy (Fonte: Elaboração Própria)

O código abaixo, disponível no arquivo LAB1_AMC presente no banco de dados, foi escrito na rotina da LEGAL.

```
{  
//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);  
}
```

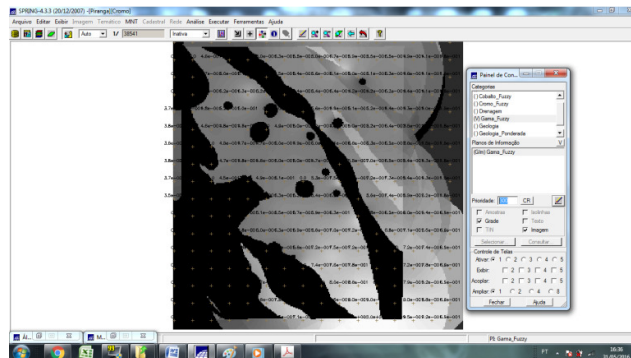


Figura 18 – Resultado do cruzamento dos teores de cromo e cobalto por Fuzzy Gama (Fonte: Elaboração Própria)

Criação do PI Cromo_AHP Utilizando a Técnica de Suporte à Decisão AHP (Processo Analítico Hierárquico)

Depois da aplicação do método *Fuzzy*, foi gerado o PI Cromo_AHP com a técnica de suporte à decisão *AHP*. A *AHP* é uma rotina matemática capaz de hierarquizar a importância de fatores que influenciam a tomada de decisão espacial. A *AHP* pondera os critérios através de uma comparação entre os fatores e calcula um valor de razão de consistência entre 0 e 1, sendo o 0 a completa consistência da tomada de decisão e 1 a completa inconsistência para a tomada de decisão.

Nesse exercício, são utilizadas três categorias numéricas: Cromo_Fuzzy, Cobalto_Fuzzy e Gama_Fuzzy. De forma aleatória, um peso foi associado a cada categoria, até se obter razão de consistência inferior a 1, (0,033).

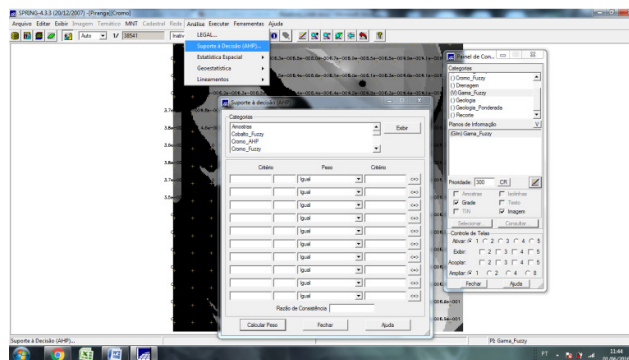


Figura 19 - Criação do PI Cromo_AHP pela técnica AHP (Fonte: Elaboração Própria)

Essa etapa implica num processo de preenchimento de uma planilha na interface do programa SPRING. Inicialmente, na barra de menus, seleciona-se a aba Análise e na sequência Suporte à Decisão (AHP).

Ali, é feita a seleção de no mínimo 2 e no máximo 5 categorias. Ao se clicar em exibir, duas a duas, serão apresentadas suas comparações. O usuário pode então, para cada par de categoria, definir o Peso desejado. Observe que os valores correspondentes são apresentados à esquerda de cada botão. Ao se alterar esses pesos, o valor da Razão de Consistência é recalculado. Caso o valor ultrapasse 0,1, será alertado antes de calcular os pesos para o programa a ser criado. Finalmente, clica-se em calcular peso.

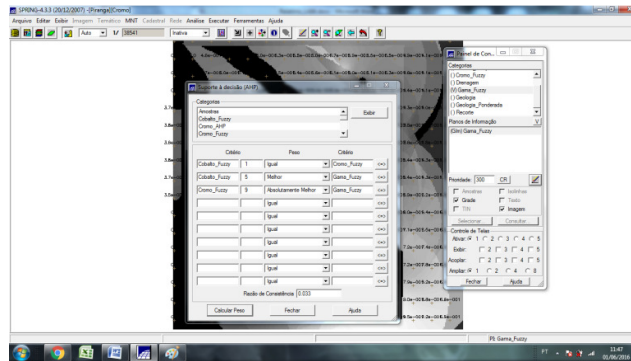


Figura 20 - Criação do PI Cromo_AHP: escolha das categorias e atribuição de pesos para aplicação da técnica de suporte à decisão AHP (Fonte: Elaboração Própria).

Após essa etapa, o SPRING irá apresentar um código a ser processado utilizando a LEGAL (salvo em CromoAHP.alg), que deverá ser completado pelo usuário com as informações específicas sobre os dados nos quais deseja aplicar o procedimento.

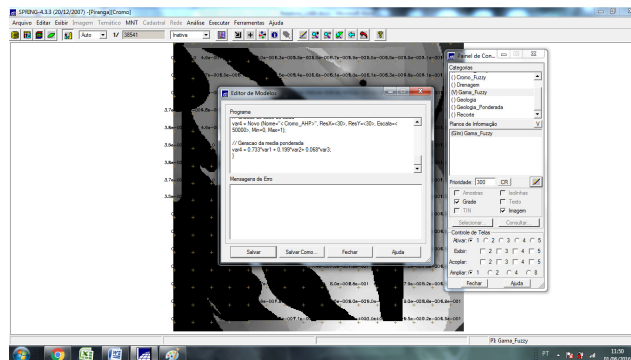


Figura 21 – Programa para geração de PI Cromo_AHP salvo (Fonte: Elaboração Própria)

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.

Na sequência, com o auxílio da legal, o arquivo CromoAHP.alg é aberto. O código processado na LEGAL é o apresentado abaixo:

```
{
// 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;
}

```

No entanto, uma mensagem de erro é apontada nessa etapa do Laboratório. O programa não reconhece o PI Cromo_AHP e a rotina implementada na LEGAL não pode ser completada. Esse bug foi percebido por outros colegas da disciplina, inviabilizando a continuação do exercício.

Fatiamento no Geocampo Gama_Fuzzy

Nesta etapa, é necessário gerar um PI Temático (FAT_Cromo_Fuzzy) a partir do dado numérico Gama_Fuzzy. O processamento é definido em função de uma tabela de fatiamento (tab). Essa tabela de fatiamento é responsável por determinar as classes e os valores numéricos de referência.

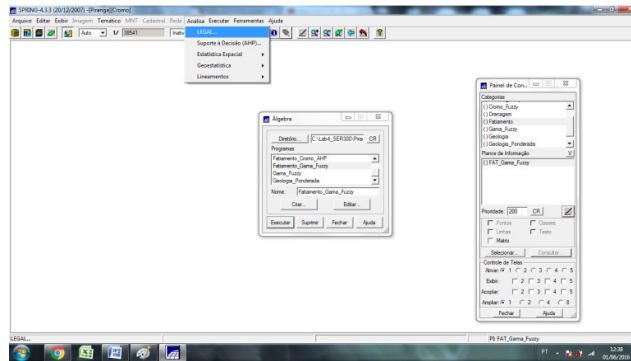


Figura 22 – Rotina para fatiamento do Geocampo Gama_Fuzzy (Fonte: Elaboração Própria)

O código que realiza o fatiamento do geo-campo é “presetado” nos arquivos do Laboratório dentro da pasta “Programas LEGAL” e é:

```

{ //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);
}

```

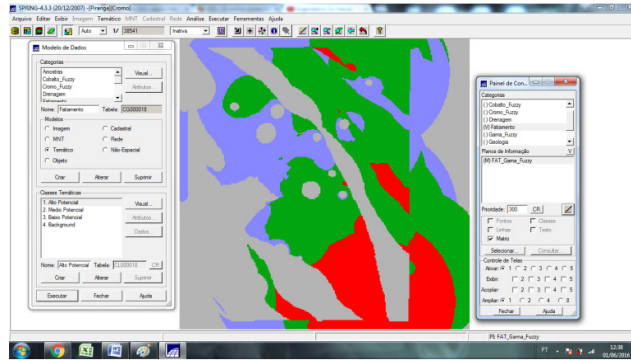



Figura 23 - PI Fat_Gamma_Fuzzy criado por meio da operação de fatiamento (Fonte: Elaboração Própria).

Fatiamento No Geocampo Cromo_AHP

Essa etapa não foi realizada pois o PI Cromo_AHP não foi reconhecido pelo SPRING.

Conclusão

O exercício permitiu executar ações de criação de PI's temáticos de teores de cromo e cobalto utilizando-se modelos numéricos interpolados pelo método da média ponderada e depois realizar processos de análise de potencialidade por técnicas Fuzzy Gama e AHP. Infelizmente, houve um bug no programa que não permitiu a conclusão da etapa da aplicação da técnica AHP ao exercício.

Parece que, a relação entre o *Mapa de Potencialidade de Cromo* obtido pela técnica *Fuzzy Gama* (figura 23) com o *Mapa Geológico* (figura 24), é eficiente porque a ocorrência de zonas com altos e médios valores de com diferenças entre os dois mapas não é parece ser tão sensível, ou seja, existem áreas similares entre os dois mapas.

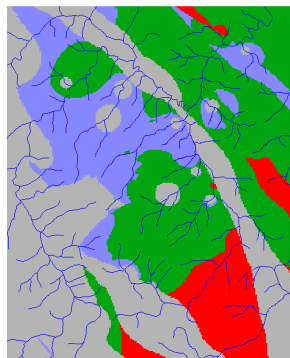


Figura 24 - PI Fat_Gama_Fuzzy (Fonte: Elaboração Própria)

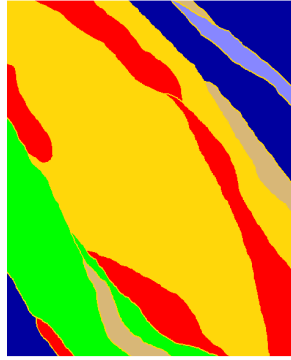


Figura 25 – Mapa Geológico (Fonte: Elaboração Própria)