

Uso de Módulos de Apoio à Decisão em SIG em uma Mineração de Carvão

Jorge Luiz Barbosa da Silva ¹
Ricardo Norberto Ayup Zouain ²

UFRGS – IG – Departamento de Geodésia
Caixa Postal 15001 – 91501-970 Porto Alegre

¹ ✉ jlbs@if.ufrgs.br

² ✉ ayup@if.ufrgs.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Objetivos
	3 A Área de Estudo
	4 Materiais Utilizados
	5 Metodologia
	5.1 O Processamento dos Dados
	5.2 Operações com os Dados Processados
	5.3 Elaboração dos Critérios
	5.4 Elaboração dos Fatores
	5.5 Ponderação dos Fatores Relativos
	6 Resultados
	7 Bibliografia

Resumo : Dados de carta topografia planialtimétrica, imagens de satélites e mapa geológico de uma região mineira carbonífera foram trabalhados digitalmente. Através de técnicas de Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto, diversos planos de informação foram gerados: mapa de declividades, área de proteção de drenagem, mapa de uso e cobertura do solo, mapas geológico e estrutural reclassificados e imagem de distância a partir da boca da mina. As principais técnicas empregadas foram de reclassificação e Fuzzy no software Idrisi. A cada diferente layer foi creditado um peso de acordo com a sua importância relativa. Para a integração e cruzamento dos diversos layers foi utilizada a ferramenta de apoio à decisão de avaliação por multicritérios. A realização de operações de soma e intersecção de imagens foi executada por meio de uma combinação linear ponderada. O layer resultante é uma imagem que localiza e classifica locais com diferentes aptidões para a deposição de rejeitos da mineração.

Palavras chave : planos de informações, cruzamento, mineração.

Abstract : Data from relief map, remote sensing image, geologic map of coal mining region were transformed in a digital way. Using Geographical Information Systems and Remote Sensing technics five image layers were generated: protection drainage zone, land use and cover, geologic and structural maps, and distance image from mine. The main technics performed were Reclass and Fuzzy functions on Idrisi for Windows software. Each layer receive a weight according to its relative importance. To integrate the differents kinds of layers was utilized a decision support tool for multi- criteria evaluation. Sum and Intersection operations were applied to the layers by a weighted linear combination. The result is a composit image that identify and classify suitable areas for locate coal mining reject.

Keywords : layers, integration, mining.

1 Introdução

Os sistemas de informação geográfica aliados aos produtos de sensores remotos são duas ferramentas muito frequentemente utilizadas para o tratamento e gerenciamento do espaço físico geográfico. Produtos de Sensoriamento Remoto como imagens digitais de satélite e fotografias aéreas capturam importantes informações do contexto espacial envolvente do local de estudo. Constituem-se, junto com dados cartográficos, como as principais fontes para visualização regional. Imagens digitais, tratadas por métodos computacionais em softwares especiais, fornecem informações para a elaboração de mapas temáticos como o de uso e cobertura do solo.

A natureza dual da informação geográfica que contém amarração espacial e atributo é tratada através de sistemas de informação geográfica (SIG), que são sistemas computacionais para coletar, armazenar, manipular, analisar e visualizar dados referentes a um local na superfície da terra. Diversos planos de informações como declividades, litologias, uso e cobertura do solo e outros serão cruzados por técnicas de geoprocessamento visando atender a objetivos que resultarão em importantes ferramentas de auxílio à tomada de decisão.

2 Objetivos

O objetivo fundamental é utilizar as técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica auxiliadas por ferramentas de apoio à decisão com o objetivo de determinar e identificar locais adequados para a colocação de depósitos de rejeito de carvão.

os critérios subjetivos do olho humano. Nesta etapa utilizamos um aumento linear do contraste das imagens digitais.

Para a classificação digital foi utilizada a imagem resultante da uma foto composição colorida falsa cor, com as bandas 3, 4 e 5 da data de outubro de 97. Preliminarmente escolhemos 8 clusters espectrais através em uma classificação não supervisionada. Reconhecemos estas oito classe como sendo: campos 1 e 2, mata nativa e plantada, solo exposto, solo exposto úmido, cultura agrícola, represa (barragens) e corpos de água com sedimento.

Posteriormente, com a contribuição do reconhecimento de campo, análise do contexto e introduzindo técnicas modificação de atributos e operação com a imagens, alteramos a imagem original, e geramos uma nova imagem, a qual usamos como nosso mapa de uso e cobertura do solo. Esta imagem tem as seguintes classes: campos, mata nativa, floresta plantada, solo arado/exposto, corpos de água, rejeito de carvão/solo exposto e sítio urbano.

Para as atividades de geoprocessamento, preliminarmente estabelecemos nossos objetivos. Após elaboramos um conjunto de critérios que julgamos necessários para atender nossos objetivos. O próximo passo será transformar os dados disponíveis para atender os critérios citados. *Em geoprocessamento quando um dado (imagem digital) é transformado para atender um critério, ele é denominado de FATOR (Eastman, 1998)*. Um fator pode ser absoluto e relativo. **Fatores absolutos** são considerados verdadeiras barreiras ou restrições, pois rigorosamente têm que ser atendidos. Já os **Fatores Relativos** são fatores que realçam ou amenizam a aptidão relativa de uma alternativa específica para o propósito em consideração.

Para modificar uma imagem com a finalidade de atender um determinado critério usamos a técnica da reclassificação, pelo módulo RECLASS do Idrisi for Windows. Nela os dados armazenados na imagem original, seus atributos, são alterados em novas classes de acordo com o nosso interesse. Ao gerar uma imagem de restrição (fator absoluto) o resultado será sempre uma imagem booleana, onde os atributos serão somente de dois tipos: 1 para indicar aptidão, e 0 para indicar não aptidão. Nos fatores relativos as classes de atributos são diversas, geralmente os maiores atributos correspondem a maiores aptidões.

Para criar uma imagem de distâncias a partir de uma feição, por exemplo, a partir da drenagem, usamos o módulo DISTANCE, que executa uma operação que gera uma nova imagem, na qual o valor armazenado em cada pixel (atributo) é a menor distância euclidiana entre o pixel e a feição mais próxima, que no caso é a drenagem. Usamos também este módulo para a imagem de distâncias a partir da mina.

Ao procurar identificar os melhores traçados de vias, inicialmente criaremos uma superfície de atrito que defina os custos associados ao deslocamento através de diferentes tipos de uso e cobertura do solo existentes na área. Para este propósito supomos que existe um custo básico para construir uma via atravessando terrenos cobertos por campos, todas as demais classes de uso e cobertura do solo terão atributos relativos por comparação ao custo básico.

Algumas imagens apresentam aptidão para um determinado objetivo, como por exemplo, a imagem do terreno com declividade de 0 a 8%. Podemos acreditar a declividade de 0% é mais indicada que a declividade de 8% para alguns fins específicos, embora dentro desta faixa de 0 a 8% tenhamos condições aceitáveis. Então, para criar um gradiente entre o limite superior e o limite inferior usamos uma função sigmoideal decrescente, onde para declividade 0% é atribuído o valor máximo e para a declividade 8% é atribuído o valor mínimo. Este procedimento é realizado pelo módulo FUZZY do Idrisi for Windows.

5.2 Operações com os Dados Processados

Após prepararmos as imagens dos fatores relativos, o próximo passo será definir a importância relativa de cada uma em relação as outras. Assim temos que definir quanto uma imagem é mais importante que a outra. Podemos dizer, por exemplo, que para um determinado objetivo, que a imagem da declividade é 2 vezes mais importante que a imagem do uso e cobertura do solo e que esta tem a mesma importância que a imagem das litologias. Com auxílio do computador imediatamente criamos um peso relativo para cada imagem. O valor do peso multiplicará escalarmente os atributos das imagens.

As imagens dos fatores relativos são somadas (operação de união) entre si para se obter o objetivo final. Mas sofrem operação de interseção com as imagens dos fatores absolutos. Por outro lado as imagens dos fatores absolutos sofrem operação de interseção entre si e também com os fatores relativos. A operação de interseção (AND) é realizada computacionalmente pelo processo de multiplicação de imagens: quando duas imagens são usadas como variáveis em uma operação de multiplicação, um pixel da primeira imagem é multiplicado pelo pixel da mesma posição da segunda imagem. O produto desta operação possui pixels com valor igual 1 apenas nos locais que possuem valor 1 em ambas as imagens de entrada.

A operação final de cruzamento (OVERLAY) é realizada pelo módulo de apoio a decisão através da ferramenta MCE (Multi Criteria Evaluation) do Idrisi for Windows utilizando uma combinação linear ponderada, a qual combina os fatores relativos, de forma que cada um é multiplicado pelo seu peso e somados entre si. A imagem resultante sofre uma operação de interseção com as imagens das restrições (fatores absolutos).

5.3 Elaboração dos Critérios

Inicialmente elaboramos um conjunto de critérios que julgamos necessários para atender nossos objetivos, desta forma os locais mais adequados para lá depositarmos os rejeitos de carvão, deverão contemplar os seguintes aspectos:

- Não ocupar locais de preservação permanente,
- Não ocupar local urbanizado,
- Ter compatibilidade com o uso e cobertura atual do solo,
- Ser compatível com o limite de declividade ($\leq 8\%$),
- Ter uma relação adequada de proximidade com "boca da mina" e
- Ter características litológicas e estruturais favoráveis.

Acreditamos que os critérios acima mencionados atendam os interesses dos empreendedores (administradores da empresa). Da mesma forma serão contemplados fatores técnicos e itens que premiam a conservação do ambiente.

5.4 Elaboração dos Fatores

O próximo passo será transformar os dados disponíveis para atender os critérios citados. Em geoprocessamento quando um dado

(imagem digital) é transformado para atender um critério, ele é denominado de **FATOR** (Eastman, 1998). Um fator pode ser absoluto e relativo. **Fatores absolutos** são considerados verdadeiras barreiras ou restrições, pois rigorosamente têm que ser atendidos. Normalmente as imagens de restrições são obtidas por lógica booleana, de forma que a resultante é uma imagem que contém dois atributos, 0 e 1. No caso zero indica restrição e 1 indica aptidão. Já os **Fatores Relativos** são fatores que realçam ou amenizam a aptidão relativa de uma alternativa específica para o propósito em consideração, (Hasenack et al, 1998). Os fatores serão descritos a seguir:

Fator absoluto preservação da drenagem (RESTRICÇÃO) – a faixa de 200 metros envolvente da drenagem (Fepam, 1992), visa, obviamente preservar a drenagem, impedindo o decapamento do solo e o desmatamento se dentro desta faixa tampão houver mata. Principalmente tende a evitar a erosão das margens e o conseqüente assoreamento do canal. Para obter tal fator, primeiramente vetorizamos toda a drenagem. A seguir transformamos os vetores da drenagem em imagem (rasterização). Então usamos o módulo DISTANCE, que calcula uma nova imagem, na qual o valor armazenado em cada pixel (atributo) é a menor distância euclidiana entre o pixel e a feição mais próxima, que no caso é a drenagem. Para concluir reclassificamos a imagem de distâncias para os atributos 0 (distância até 100 metros) e 1 (distância > 100 metros).Figura 3.

Fator absoluto declividade maior que 8% (RESTRICÇÃO) – o mapa de declividades do terreno (figura 2), associado a outras informações, é uma ferramenta muito importante para análises sobre estabilidade do mesmo. Tanto a capacidade do uso da terra (Garcia e Piedade, 1978), quanto a avaliação do potencial.

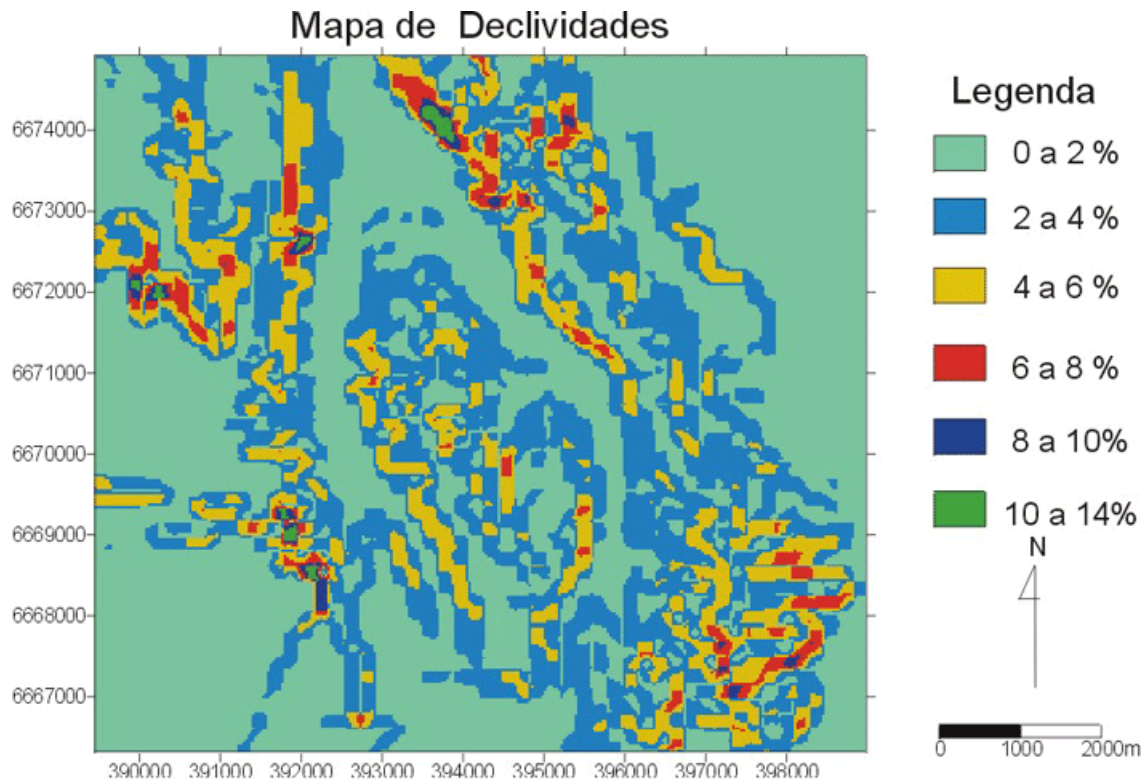


Figura 2 : Mapa das declividades da área

erosivo, dependem estreitamente de clima do fator declividade. (Barros, 1956; Marques, 1971) definiram valores de intervalos de declividade, que são consagrados para as condições de clima e de solo do Brasil.

Classes de Declividade – Erosão:

- < 3% (< 1° 21') - Pouca erosão
- 3 – 8% (1° 21' a 3o 36') - Erosão Moderada
- 8 – 12% (3° 36' a 5° 24') - Erosão Severa
- > 12% (> 5° 24') - Erosão Forte

Inicialmente geramos um arquivo GRD no software Surfer a partir das informações topográficas (coordenadas E , N e altitude). Importamos este arquivo para o software Idrisi e geramos uma imagem do modelo digital de elevação (MDE). Executamos o módulo SURFACE criamos a imagem de declividades. Reclassificamos a imagem de declividades em uma imagem booleana de modo que o atributo zero se refere zonas com declividades maiores que 8% e o atributo um se refere a zonas com declividade de zero até 8%.

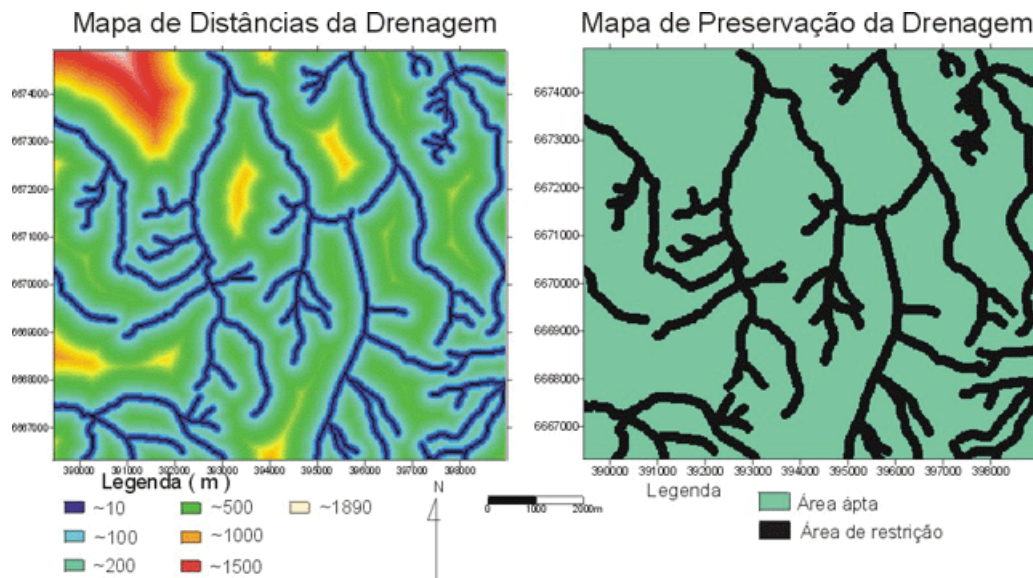


Figura 3 : Mapa de distâncias a partir de drenagem e mapa de preservação da faixa de drenagem

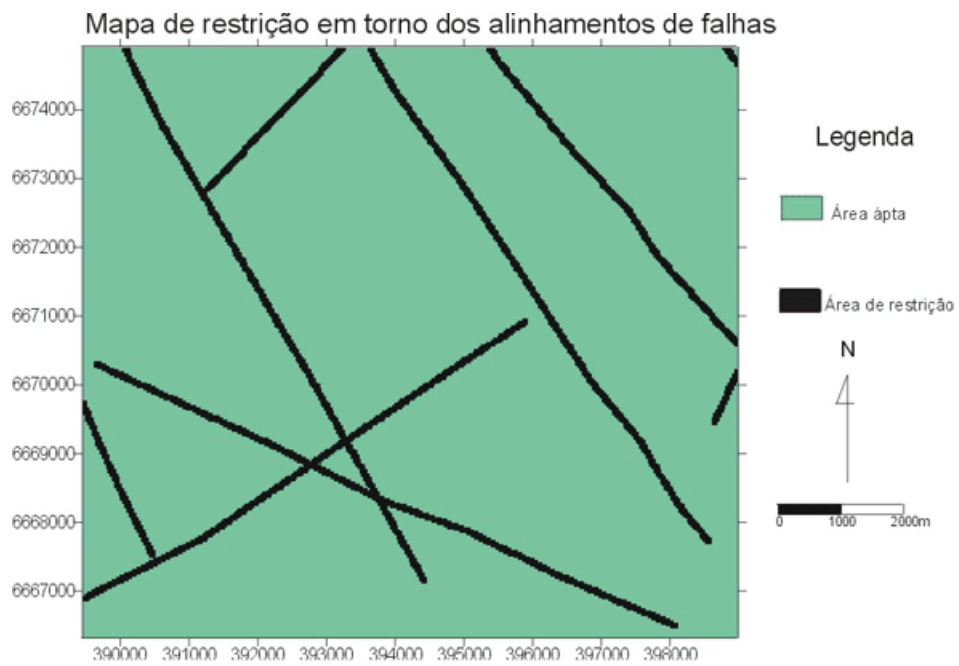


Figura 4 : Imagem de restrições dos planos de falha

Fator absoluto zonas de planos de falhas (RESTRIÇÃO) – Os falhamentos são linhas vetoriais que devem ser transformados em imagens através do processo de rasterização. Com a imagem dos falhamentos aplicamos o módulo DISTANCE criando imagem de distâncias a partir das falhas. Reclassificamos a imagem criando uma faixa tampão de 50 metros em torno dos planos de falhas. (figura 4).

Fator relativo uso e cobertura do solo - As sete classes da imagem de uso e cobertura do solo apresentam diferentes aptidões para serem portadoras do material do rejeito. Usando nosso conhecimento empírico, lógico e até mesmo técnico, reescalamos os atributos das classes existentes entre o intervalo de 0 a 255 de acordo com suas aptidões relativas. Neste sentido reclassificamos a imagem alterando os atributo da seguinte forma: campos: 255; mata nativa: 30; solo exposto/arado: 150; corpos de água: 0 ; rejeito/solo exposto: 180; zona urbana: 0 e floresta plantada: 60.

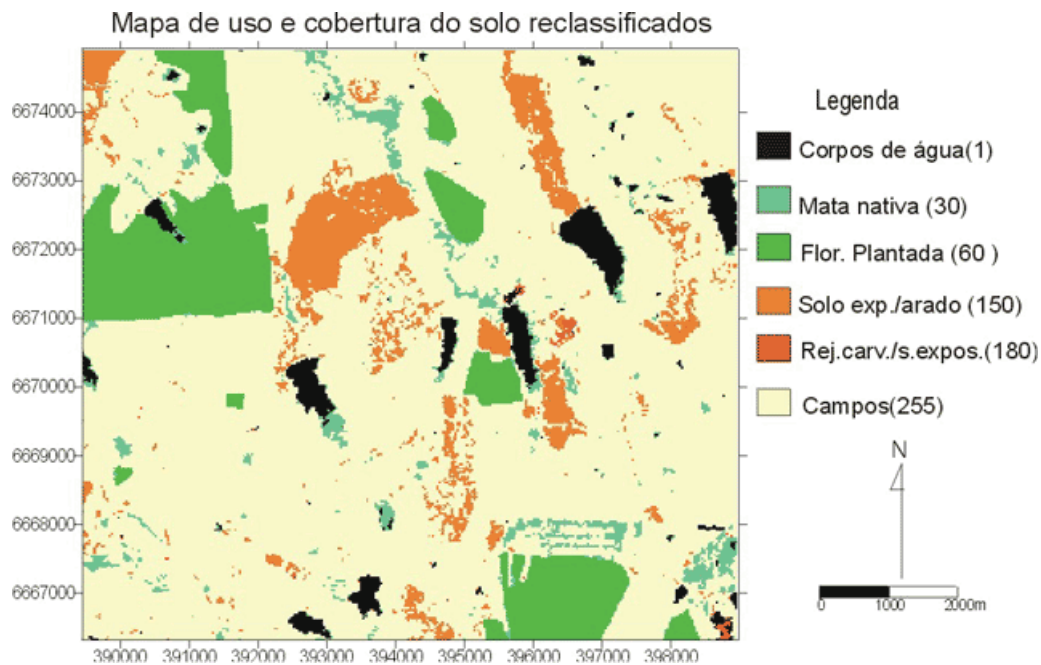


Figura 5 : Mapa de uso e cobertura do solo.

Fator relativo declividade de 0 a 8% - A faixa de declividade do terreno que vai de 0 a 8% é considerada adequada para receber os rejeitos. Mas desejamos fazer um gradiente entre um limite e outro. Neste sentido será feita um reescalonamento usando módulo de apoio à decisão pela função FUZZY através de uma função sigmoial decrescente, sendo para a declividade 0% atribuído um valor de 255 e para a declividade de 8% um valor 0. Entre estes valores extremos haverá um gradiente sigmoial decrescente,(figura 6).

Fator relativo substrato litológico - As litologias que ocorrem na área de estudo são: aluviões, formação Rosário e formação Rio do Rastro. O mapa litológico digital será reclassificado. Para a formação Rio do Rastro atribuiremos um valor de 255 (figura 7). A razão deste valor elevado deve-se ao fato que esta formação apresenta mais freqüentemente constituintes pelíticos de origem lagunar e portanto mais impermeáveis. Para a formação Rosário, por ter constituintes arenosos atribuiremos um valor de 100 e para os aluviões 10.

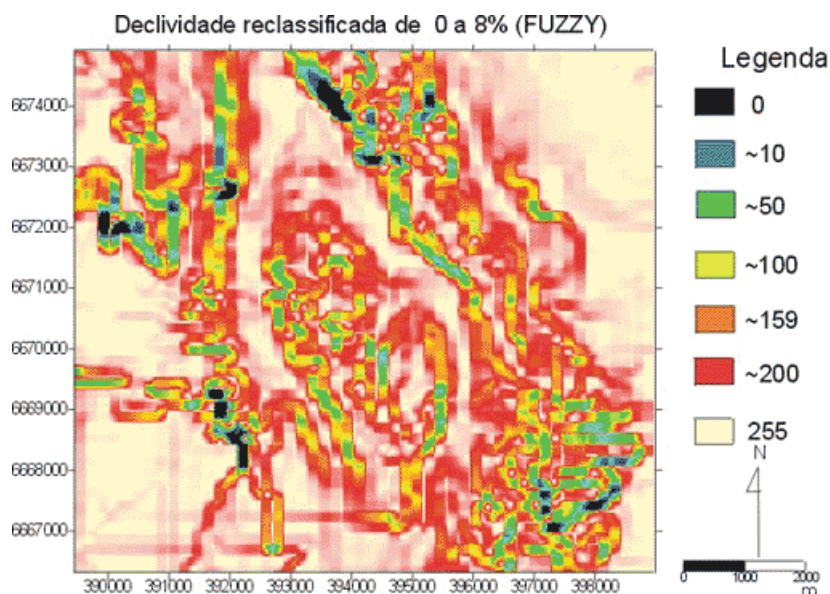


Figura 6 : Declividade de 0 a 8% reclassificada através da função fuzzy.

Fator relativo distância da "boca da mina" – Criaremos uma imagem de distância a partir das coordenadas do ponto boca da mina. Verificamos as distâncias máxima e mínima. Aplicamos na imagem de distâncias a função FUZZY por uma função linear decrescente. Sendo para distância mínima (0.1 m) atribuído o valor de 255 e para a distância máxima (8014.1 m) o valor 0, (figura 8).

Uma vez estruturados os mapas é necessário desenvolver uma regra de decisão para contemplar o objetivo proposto. *Uma regra de decisão é um procedimento para combinar os critérios que serão utilizados para definir o grau de adequabilidade de cada pixel da imagem resultante* (Hasenack,1998). *Com o auxílio de métodos estatísticos é possível atribuir pesos aos fatores envolvidos de modo a ponderar a participação de cada variável na análise desejada.* (Eastman et al, 1993). Nesse contexto, o *geoprocessamento constitui-se num instrumento útil para diminuir a subjetividade no processo de decisão.* (Hasenack, 1995).

5.5 Ponderação dos Fatores Relativos

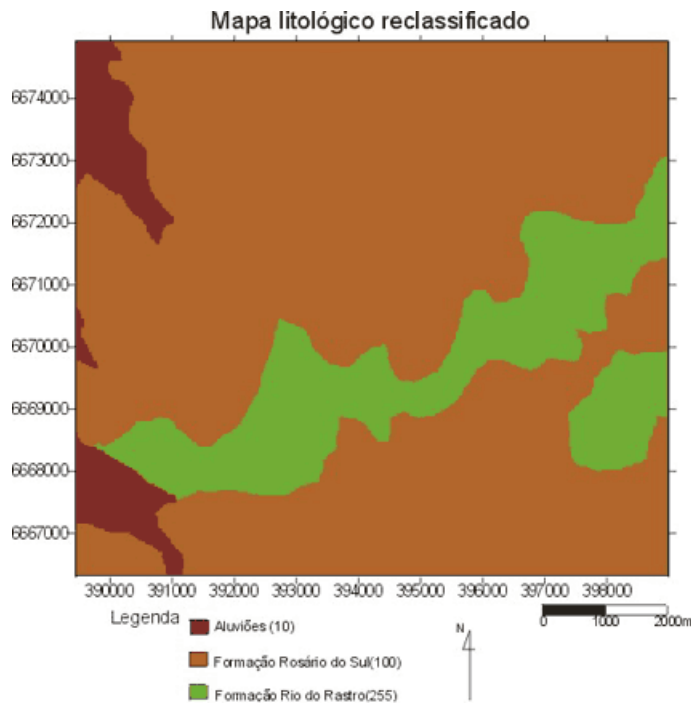


Figura 7 : Mapa litológico reclassificado.

Após prepararmos as imagens das três restrições e dos quatro fatores, o próximo passo será definir a importância relativa de cada um dos fatores em relação aos outros. Para gerar um conjunto de pesos a aplicar aos fatores utiliza-se a técnica de comparação pareada disponível no Idrisi pelo módulo WEIGT. Nesta técnica cada fator é combinado com os demais através de uma matriz de comparação pareada, (Hasenack,1998), como mostra a tabela 5.1. Indica-se qual o fator mais importante e quanto este fator coluna da esquerda) é mais importante que cada um dos fatores (linha superior) aos quais está sendo comparado. Quando a matriz é elaborada é possível calcular os pesos de cada fator resultante da comparação pareada, bem como efetuar uma avaliação de consistência da mesma.

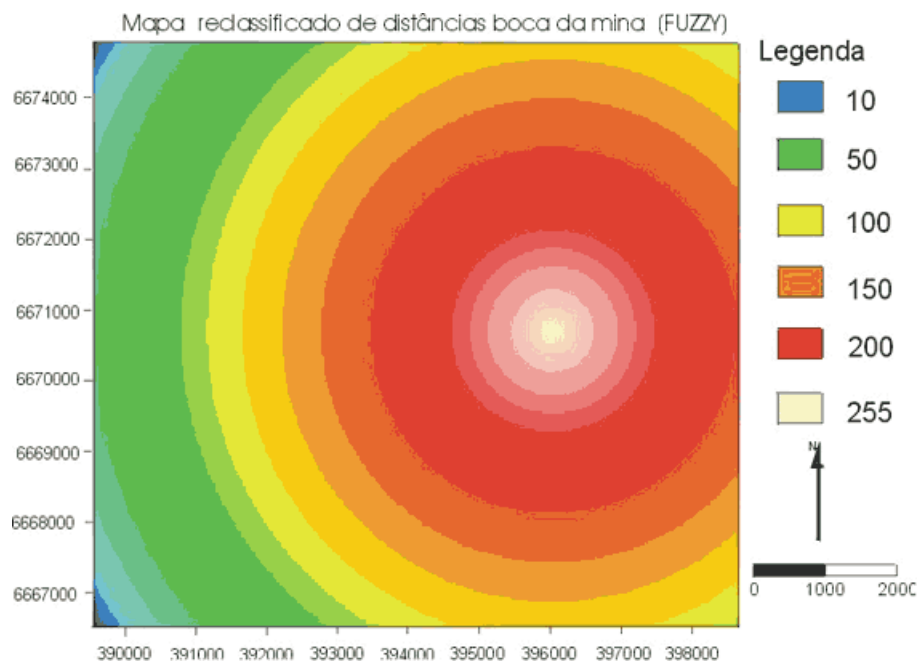


Figura 8 : Mapa reclassificado das distâncias a partir da boca da mina.

Tabela 3: Ponderação dos fatores relativos.

	Decliv. 0 a 8%	Uso e Cobertura	Litologia	Proximidade
Decliv. 0 a 8%	1			
Uso e Cobertura	1/2	1		
Litologia	1/2	1	1	
Proximidade	1/6	1/3	1/3	1

Nesta tabela, por exemplo, verifica-se que as imagens de uso e cobertura e litologia têm a metade do peso da declividade e que o peso da imagem da proximidade da boca da mina é um sexto do peso da declividade. O módulo WEIGHT do Idrisi determinou a seguinte ponderação:

- Declividade de 0 a 8 % = 0.4706
- Uso e cobertura = 0.2353
- Litologia = 0.2353
- Proximidade = 0.0588
- Consistência da ponderação = 0 (aceitável)

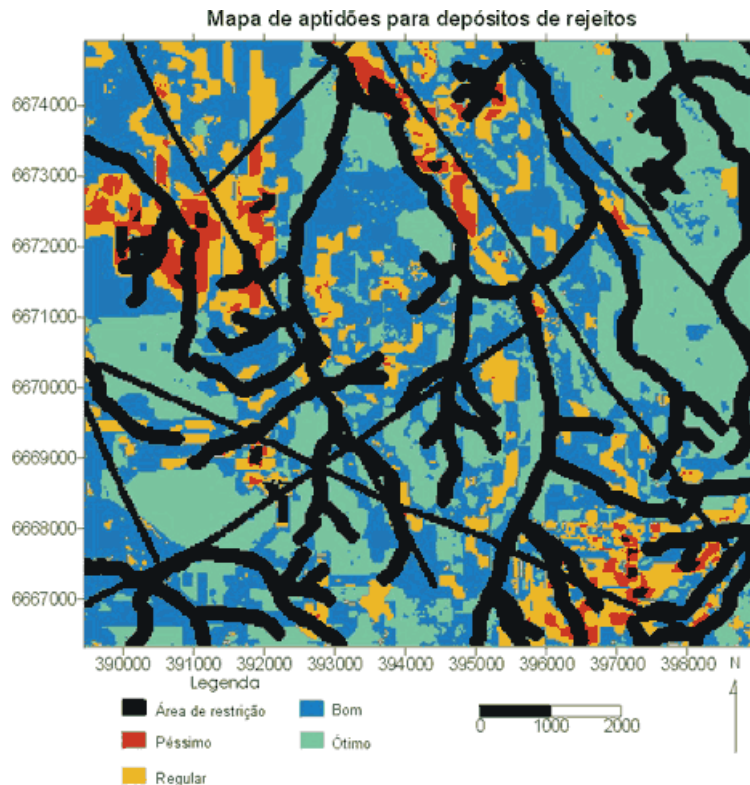


Figura 9 : Mapa de aptidões para localização de depósitos de rejeitos de carvão.

6 Resultados

Para determinar as áreas favoráveis par depósito de rejeitos utilizamos a ferramenta MCE (Multi Criteria Evaluation) do apoio à decisão do Idrisi através de uma combinação linear ponderada, a qual combina os fatores relativos, de forma que cada um é multiplicado pelo seu peso e somados entre si .A imagem resultante sofre uma operação de interseção com as imagens das restrições, gerando a imagem final que uma composição de acordo com nossos critérios e que contempla nossos objetivos. Com a finalidade de aprimorar a qualidade visual da imagem resultante, aplicamos o módulo STRETCH, na opção de equalização com cinco classes e a imagem resultante é a figura 9.

As extensões de cada classes em quilômetros quadrados são as seguintes: área restrita=: 24,5349, péssimo=2,335, regular=9,81540, bom=24,5862 e ótimo=20,8674.

7 Bibliografia

- BARROS, W. D. 1951.** A erosão no brasil. Ministério da Viação e Obras Públicas. Serviço de Documentação. Coleção Mauá. Rio de Janeiro. 350 p.
- CÂMARA, G., MEDEIROS, J. S. 1996.** Geoprocessamento para projetos ambientais. In: VIII Sliimpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador.150p.
- EASTMAN, J. R. 1998.** Manual do usuário Idrisi for windows 2.0. Introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre, UFRGS. Centro de Ecologia. 235 p.
- EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; Toledano, J.; JIN, W. 1993.** GIS and decision making. Geneva, Unitar.
- HASENACK, H. 1995.** O geoprocessamento no processo de tomada de decisão. Boletim Gaúcho de Geografia. V. 20.
- HASENACK, H.; WEBER, E.; VALDAMERI, R.1998.** Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio a decisão em sistemas de informação geográfica. In: GISBrasil- Congresso de geoprocessamento da américa latina. Curitiba. Pr.
- GARCIA, G. J.; PIEDADE, G.C. R. 1978.** Topografia aplicada às ciências agrárias. Nobel. São Paulo, 256 p.
- LICHT, O. A. B., SALAZAR Jr. O., FREITAS, J. P. T. 1996.** O SIG no subsolo. Fator Gis, Curitiba. no. 18. p. 23-30.
- PRAKASH, A & GUPTA, R. K. 1998.** Land-use mapping and change detection in coal mining area – a case study in the Jharia coalfield, India: international journal of remote sensing. V19, n 3, p.391-410.

