

CAPÍTULO XIII

ANÁLISE DO RISCO DE OCUPAÇÃO URBANA SOBRE ÁREAS MINERADAS EM SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA (SC), UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/plan13>

Rafaela Bendo - UNESCO / UNINTER

Fabiano Luiz Neris - UNESCO / UFSC

Gustavo José Deibler Zambrano - UNESCO / UNIVALI

INTRODUÇÃO

O carvão foi descoberto na região Sul de Santa Catarina no ano de 1822 (JFSC/IPAT, 2010). No entanto, a atividade de mineração ocorreu de forma mais intensa, apenas a partir do ano 1930 (MILIOLI, 2009). Na época, foram empregados diversos métodos de lavra do minério, dentre eles: câmaras e pilares, *longwall* ou lavra com recuperação de pilares, picareta e céu aberto. Para a operação das minas, era exigida autorização do órgão competente, nesse caso o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

Devido às atividades de extração de carvão em subsolo, foram causadas alterações no comportamento geotécnico de grande parte do Município de Criciúma, que podem resultar em situações de risco para a ocupação desses locais, sobre áreas mineradas em subsolo (KREBS, 2013). Atualmente, existe o conflito entre os superficiários, habitantes que residem sobre áreas mineradas, e as empresas mineradoras, dado que, a ocupação urbana ocorreu até a década de 1970, sem qualquer plano de ordenamento. Dessa forma, há grande número de reclamações concernentes a danos estruturais e patrimoniais, por parte dos moradores.

A Análise de Risco Ambiental (ARA) é um instrumento previsto no arcabouço jurídico brasileiro, com o intuito de assegurar a sadia qualidade de vida e um meio ambiente equilibrado. A ARA faz-se necessária quando se vislumbra o risco a vida humana, como no caso em questão. Principalmente, no que tange à ocupação urbana proposta pelo zoneamento do plano diretor sobre áreas mineradas em subsolo, dentro do território em análise.

Essa área ganha relevância do ponto de vista do planejamento e gestão territorial, uma vez que, visa diagnosticar e fornecer subsídios para ações de melhoria com indicação técnica para decisões acerca do ordenamento do uso do solo, de maneira a minimizar os conflitos existentes.

A organização dos dados coletados em um sistema de informações geográficas (SIG), contendo as áreas onde houve mineração de carvão em subsolo, vem auxiliar, principalmente, os procedimentos referentes ao atendimento de denúncias; assim como, em relação à ocorrência de danos estruturais em edificações, danos patrimoniais e subsidências. Dessa forma, possibilitará identificar a existência de mina subterrânea no local. Nesse sentido, em caso afirmativo, definir qual a mina, qual empresa minerou, e informar qual a espessura de capeamento aproximada que existe naquele local. Além disso, também facilitará o fornecimento de respostas a consultas realizadas por parte do setor de construção civil, em ampla expansão na região, quanto à ocorrência de mina em determinadas áreas.

Conforme Ladwig e Schwalm (2012), os mapas dispõem da vantagem de transmitirem informações com rapidez, por meio de desenhos que seguem padrões determinados, por isso tornam-se cada vez mais empregados como ferramentas fundamentais para o planejamento da ocupação urbana nos municípios. O mapa de risco, do qual trata este estudo, portanto, tem o papel de fornecer uma representação cartográfica dos riscos de danos aos recursos estruturais e patrimoniais, decorrentes da atividade de mineração de carvão em subsuperfície em Criciúma.

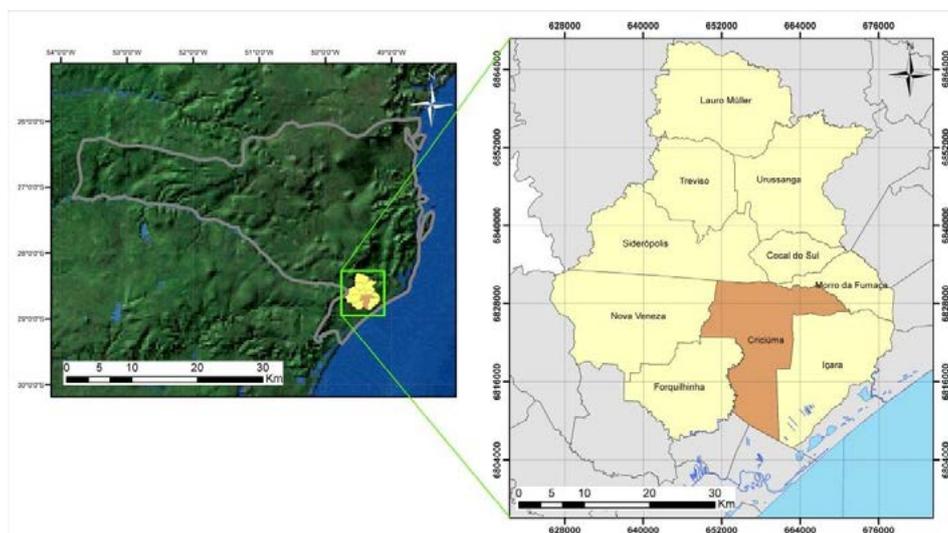
Com a elaboração da base de dados geoespaciais, torna-se possível comparar as áreas onde houve mineração de subsuperfície, com a proposta de ocupação urbana, conforme o zoneamento do Plano Diretor Municipal (CRICIÚMA, 2012). A análise da relação entre ambos é de extrema importância, e esta pode ser feita através da criação de um índice de risco, que proporciona o conhecimento de áreas com risco maior ou menor de ocupação, conforme as características da mina, relacionando com a permissividade de ocupação urbana de cada zona do Plano. Desse modo, pode-se identificar áreas onde o desenvolvimento da ocupação urbana deve ser limitado, com o intuito de evitar danos estruturais às edificações e danos patrimoniais.

METODOLOGIA

A delimitação da área de estudo foi definida como o limite municipal de Criciúma, Estado de Santa Catarina. Optou-se pela cidade, uma vez que, consiste no município mais urbanizado da região carbonífera, com alto índice de ocupação urbana, e, além disso, dispõe de um plano diretor aprovado recentemente (CRICIÚMA, 2012), que foi alvo de grandes discussões ao longo de pouco mais de dez anos. Ademais, o maior número de reclamações recebidas pelo órgão fiscalizador das atividades minerárias, relativas a danos estruturais e patrimoniais, são oriundas do Município.

O Município integra a região extremo Sul do Estado, e dispõe de 235,71 km² de área total (Imagem01), conforme dados do IBGE (2013). Pertencente à bacia hidrográfica do rio Araranguá, e à Associação de Municípios da Região Carbonífera (AMREC), Criciúma dispõe de 192.308 habitantes, com a maior densidade demográfica da região (IBGE, 2010).

Imagem 1 – Localização do Município de Criciúma, SC



Fonte: IBGE, (2010).

O produto desse artigo objetiva um mapa síntese de risco de ocupação urbana sobre áreas mineradas em subsuperfície. Então, utilizou-se a integração de planos de informações, referentes a atributos relativos ao risco do ambiente e aos aspectos técnicos relacionados à atividade de extração de carvão mineral em subsolo.

A metodologia de sobreposição de mapas (*overlay mapping*) e análise multicritério com suporte decisão por processo analítico hierárquico (AHP) foram escolhidas tendo por base o incentivo ao uso proposto por vários autores, como: Duarte (1991); Berry (1993 apud SOARES FILHO, 2000); Barbosa (1997); Soares Filho (2000); Câmara, Davis e Monteiro (2001); Miranda (2005); Loch (2006); Ladwig e Schwalm (2012), Krebs (2013).

Para a utilização dos atributos como critérios de ponderação, empregou-se a análise AHP, que é justificada devido à necessidade de atribuir pesos diferentes aos parâmetros, pois eles não possuem mesmo potencial de influência de ocupação. A análise pareada consiste em classificar a relação existente entre duas variáveis, em uma escala de 1 a 9. Sendo que, o grau de importância cresce de 1: *Igual* até 9: *Absolutamente Melhor* (SAATY, 1992).

Os níveis de consistência adquiridos foram utilizados como ponderações em equações multicritérios, ocasionando a unificação de parâmetros quantitativos, bem como, a inclusão de parâmetros qualitativos.



A partir da escolha da área de estudo, definiu-se os dados necessários à produção dos mapas, e demais informações pertinentes ao trabalho. A coleta de dados foi dividida em duas frentes, uma de informações documentais, e outra de informações geográficas. Por meio da definição das necessidades, buscaram-se as informações na Prefeitura Municipal de Criciúma (PMC), Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense (IPAT/UNESC), Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Governo do Estado (SDS), Departamento Nacional de Produção Mineral, Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Sindicato da Indústria de Extração do Carvão do estado de Santa Catarina (SIECESC), Ministério Público Federal (MPF), Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), e empresas do setor mineral.

Todas as abordagens envolveram parcialmente dados geoespaciais, tabelas de informação, e Sistemas de Informação Geográfica para integração e manipulação de uma base de dados. Tal enfoque incidiu na edição dos atributos vetoriais e matrizes, infundindo, agregando e potencializando a informação em geoinformação.

Dessa forma, os dados foram coletados, sistematizados e espacializados a partir de técnicas de geoprocessamento, utilizando o programa *ArcGIS*[®], constituindo um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os produtos cartográficos foram trabalhados no ambiente computacional, usando como sistema de referência a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22S e datum horizontal SIRGAS 2000, conforme determina a Resolução IBGE nº 01/2005 (IBGE, 2005).

Os dados utilizados em agregação ao SIG foram: mancha de ocupação urbana; zoneamento do plano diretor municipal; áreas mineradas em subsolo e suas espessuras de capeamento; método de lavra para extração de carvão em subsolo; e, registros de danos estruturais e patrimoniais. A partir dos dados coletados, procedeu-se a elaboração dos mapas: mapa do grau de ocupação urbana segundo o zoneamento do plano diretor, e mapa de risco da ocupação urbana sobre áreas mineradas em subsolo. Posteriormente, as informações foram amalgamadas em um mapa de conflitos, esse visando um cenário de ocupação urbana futura.

MAPA DO GRAU DE OCUPAÇÃO URBANA SEGUNDO O ZONEAMENTO DO PLANO DIRETOR

O mapa que representa o grau de ocupação urbana proposto pelo plano diretor foi produzido por meio do cruzamento entre o mapa de zoneamento, e as informações referentes aos parâmetros urbanísticos, constantes no plano diretor municipal. Assim, definiu-se que as variáveis a serem adicionadas ao banco de dados do mapa deveriam ser: Índice de Aproveitamento básico (IA); Taxa de ocupação básica (TO básica); Lote mínimo (Lote mín); e, Número Máximo de Pavimentos (NP).

As variáveis acima foram categorizadas quantitativamente, seguindo critérios subjetivos, em escalas entre 1 a 10, sob forma crescente de ocupação urbana conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Proposta de ocupação do plano diretor, conforme análise hierárquica de parâmetros urbanísticos

ZONAS	IA	Nota IA	TO básica	Nota TO	Lmín	Nota Lmín	NP	Nota NP	Nota Final
ZM1-16	3,5	10	60	8,5	360	2	16	10	8,586
ZC2-16	3,5	10	60	8,5	360	2	16	10	8,586
ZM2-8	3	9	70	10	360	2	10	6,5	8,12
ZC1-4	3	9	70	10	360	2	4	2,5	7,944
ZM1-8	3	9	60	8,5	360	2	10	6,5	7,808
ZC3-8	3	9	60	8,5	360	2	10	6,5	7,808
ZC3-5	2,5	7,5	60	8,5	360	2	5	3	6,718
ZM2-4	2,5	7,5	60	8,5	360	2	4	2,5	6,696
ZR3-8	2	6	60	8,5	360	2	10	6,5	5,65
ZAA	1	3	50	7	5000	10	2	1	4,062
ZI-1	1	3	50	7	2500	8	2	1	3,924
ZRU	1	3	50	7	2500	8	2	1	3,924
ZI-2	1	3	50	7	1000	4	2	1	3,648
ZR2-4	1	3	50	7	360	2	4	2,5	3,576
ZR1-2	1	3	50	7	360	2	2	1	3,51
ZEIS	1	3	50	7	250	1	2	1	3,441
Z-APA	0,1	1	5	1	2000	6	2	1	1,29

Fonte: Dos autores

Dessa forma, com a razão de consistência em 0,064, a análise pode ser validada, e os pesos identificados para cada parâmetro culminaram na equação:

$$\text{Grau de Ocupação} + (IA \times 0,624) + (TO_{bás} \times 0,044) + (Lmín \times 0,208) + (NP \times 0,069)$$

MAPA DE RISCO DA OCUPAÇÃO URBANA SOBRE ÁREAS MINERADAS EM SUBSOLO

O mapa de risco da ocupação urbana sobre áreas mineradas em subsolo representa os locais onde existem maior potencial de dano no futuro, com vista às fragilidades das minerações de subsolo, que ocorrem no Município. Por isso, para elaboração desse mapa, foi necessário realizar o cruzamento entre os mapas: Espessura de Capeamento das Áreas Mineradas em Subsolo; Áreas Mineradas em Subsolo; e, Métodos de Lavra para Extração de Carvão em Subsolo.

Para a produção do mapa de Espessura de Capeamento foram utilizadas as informações dos perfis de sondagem da CPRM, referentes à camada de carvão Barro Branco. Contudo, devido aos perfis não abrangerem toda a extensão da área de estudo, o mapa limitou-se à disponibilidade dos dados. Aplicou-se a equação abaixo para obtenção da espessura de capeamento, onde EC é a espessura de capeamento, Cota_b é a cota da boca do furo, Cota_l é a cota da lapa, e, Camada_t é a camada total de carvão.

$$EC = Cota_b - Cota_l + Camada_t$$

Em sequência, deu-se início à produção do modelo digital de elevação, para densificar por interpolação, conforme os valores de espessura de capeamento. O modelo de elevação é uma ferramenta bastante comum em geoprocessamento, e propicia a modelagem numérica tridimensional do terreno.

Para o mapa de risco, primeiramente, foram definidas as categorias a serem analisadas, no que se refere à mineração, destacando: método de lavra quanto à Recuperação de Pilares (RP); Sobreposição de Áreas Mineradas (SAM); e, Espessura de Capeamento das áreas mineradas (EC).

As variáveis acima foram categorizadas quantitativamente, seguindo critérios subjetivos, em escalas entre 1 a 10, sob forma crescente de risco de danos patrimoniais e estruturais conforme o Quadro 02.

Quadro 2 – Notas atribuídas de acordo com o potencial de causar danos estruturais e patrimoniais à superfície de áreas mineradas, conforme as fragilidades das minas de subsolo

Sobreposição de áreas mineradas – SAM	NOTA
Sim	10
Não	2,5
Lavra com recuperação de pilares – RP	NOTA
Sim	2,5
Não	10
Sem Informação	5
Espessura de Capeamento – EC (m)	NOTA
0 – 30	10
30 – 60	5
> 60	2,5

Fonte: Dos autores

A análise ocorreu de forma subjetiva e embasada em referências técnicas. Assim, obteve-se a razão de consistência de 0,016, e os pesos identificados para cada parâmetro culminaram na equação:

$$Risco\ de\ Ocupação = (SAM \times 0,769) + (RP \times 0,14) + (EC \times 0,084)$$

MAPA DE CONFLITOS

O mapa de conflitos entre o grau de ocupação urbana segundo o zoneamento do plano diretor, e o risco da ocupação urbana sobre áreas mineradas em subsolo, apresenta o resultado final das análises. Dessa maneira, tem-se uma projeção da potencialidade ou minimização do

risco de ocupação sobre as áreas mineradas, em função do plano diretor recentemente aprovado. Esse resultou da sobreposição das bases geradas anteriormente.

Por meio da análise hierárquica, foram obtidos os valores correspondentes ao risco de danos estruturais e patrimoniais associados a cada polígono, bem como, o grau de ocupação. Ambos foram classificados em cinco categorias, que variaram de acordo com as notas: 0 a 2 (muito baixo); 2 a 4 (baixo); 4 a 6 (médio); 6 a 8 (alto); e, por fim, 8 a 10 (muito alto) (Quadro 03).

Quadro 3 – Potencial de conflito interpretado a partir do cruzamento entre o grau de ocupação urbana e o risco de danos estruturais e patrimoniais proveniente da mineração

Grau de Ocupação	Risco de Mineração				
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto	Médio
Alto	Muito Alto	Alto	Alto	Médio	Médio
Médio	Alto	Alto	Médio	Médio	Baixo
Baixo	Alto	Médio	Médio	Baixo	Muito Baixo
Muito Baixo	Médio	Médio	Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo

Fonte: Dos autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análise, a mancha de ocupação urbana atual do Município Criciúma representa cerca de 60,11 km², do total de 235,71 km² dos quais dispõem o Município (IBGE, 2013). Logo, compreende-se que os 192.308 habitantes da cidade (IBGE, 2010) estão distribuídos, basicamente, em uma área de apenas 60,11 km², ou seja, a densidade demográfica, praticamente, equivale a 815,87 habitantes por km². É de se esperar que essa concentração populacional venha a gerar conflitos de uso do solo, e consequências ao meio ambiente.

Portanto, pode-se concluir que o Município de Criciúma é essencialmente urbano, o que tende a agravar os conflitos resultantes da existência de áreas mineradas em subsolo, já que as movimentações do solo são sentidas nas edificações, resultando principalmente em rachaduras, rebaixamento de pisos, e demais patologias. Em alguns casos de subsidência, a edificação acaba comprometida, a ponto de ser interdita. O resultado dessa situação é percebido pelo número de denúncias recebidas pelos órgãos fiscalizadores, principalmente, MPF, SIECESC e DNPM.

O zoneamento do plano diretor municipal apresenta as divisões de zonas, onde cada uma delas dispõe de usos pré-determinados, ou seja, há parâmetros urbanísticos associados, que são responsáveis pela maior ou menor permissividade de ocupação urbana. Logo, tem-se que as zonas residenciais e mistas estão concentradas na área central, oeste e noroeste do Município. Sendo que, na região oeste coincide área urbana com locais onde houve minas de subsolo. Do contrário, ao sul de Criciúma, ocorreram várias minas, no entanto, o uso proposto para essa região é Z-APA.

Quanto às áreas mineradas em subsolo, pode-se concluir que, aproximadamente 87,15 km² do Município de Criciúma foi minerado. Além disso, do total, cerca de 83,44 km² foram na camada Barro Branco, 3,49 km² na camada Irupuí e 0,22 km² na camada Bonito.

A pesquisa relacionada à espessura de capeamento, das áreas mineradas em subsolo, permitiu identificar que os locais com menor espessura ocorrem nos bairros Nossa Senhora da Salete, São Cristóvão, Progresso, Mina União, Cidade Mineira Nova, Cidade Mineira Velha, Vila Macarini, Rio Maina, Catarinense, Vila Visconde, Metropol, Vila São José, Nossa Senhora do Carmo, Wosocris, Distrito Industrial, Vila Isabel, Vila São Sebastião, Sangão, correspondentes às regiões centro-leste, oeste e sudoeste, densamente ocupadas.

Ainda, cabe destacar que, apesar de não terem sido encontrados dados da CPRM relativos à parte da cidade, sabe-se por meio do aparecimento de galerias em propriedades particulares, que a espessura de capeamento nos bairros Pio Corrêa, Santo Antônio, Operária Nova, São Luiz e Santa Augusta, também é bastante pequena. Por outro lado, os locais onde a camada de carvão encontra-se em maiores profundidades correspondem aos bairros Verdinho, Quarta Linha e São Roque. Todavia, esse fato não anula os riscos oriundos das demais características geológicas locais. Ressalta-se que em uma modelagem de previsão de riscos de subsidência, é ideal se dispor de informações relativas à constituição litológica, grau de fraturamento do material, dimensões de galeria, além da espessura de capeamento da camada de carvão.

Os métodos de lavra para a extração de carvão em subsolo foram divididos em três categorias: com recuperação de pilares, sem recuperação de pilares, e, sem informação, representando 8%, 24% e 68%, respectivamente. Os dados evidenciam a ausência de informações relativas às minas de subsuperfície em Criciúma, o que configura um fator agravante de risco para ocupação urbana.

As minas onde não houve recuperação de pilares representam, atualmente, risco maior à população do que aquelas nas quais foi realizada a remoção dos pilares, uma vez que, seus pilares de sustentação estão expostos a contatos com água ou oxigênio, agentes que podem diminuir o tempo de vida útil dessas estruturas. Portanto, mesmo que essas minas disponham de pilares de sustentação, não se sabe qual o estado de integridade desses, podendo haver colapso de pilares a qualquer momento. Ainda, a ocorrência de construções sobre as áreas mineradas acaba por agregar maior peso a ser sustentado pelos pilares da mina, que ficam com sobrecarga, se comparada com aquela para qual foram projetados a suportar. As minas com recuperação de pilares concentraram-se na região centro-oeste da cidade, onde as lavras datam de épocas mais antigas, enquanto que nas minas mais recentes, como aquelas localizadas ao sul, não houve retirada dos pilares.

A imagem 02 mostra um exemplo de dano, pois ao realizar escavação para construção da escadaria que daria acesso à residência, encontrou-se uma galeria, no bairro Operária Nova. Além disso, a imagem evidencia a baixa espessura de capeamento da mina, lavrada pela CBCA. O local está situado sobre Zona Residencial, que permite construções de até dois pavimentos, o que agrega peso maior aos pilares de sustentação da mina, favorecendo a ocorrência de colapsos.

Imagem 2 – Galeria de mina de extração de carvão, na camada Barro Branco, encontrada durante a construção de uma residência em Criciúma, SC.



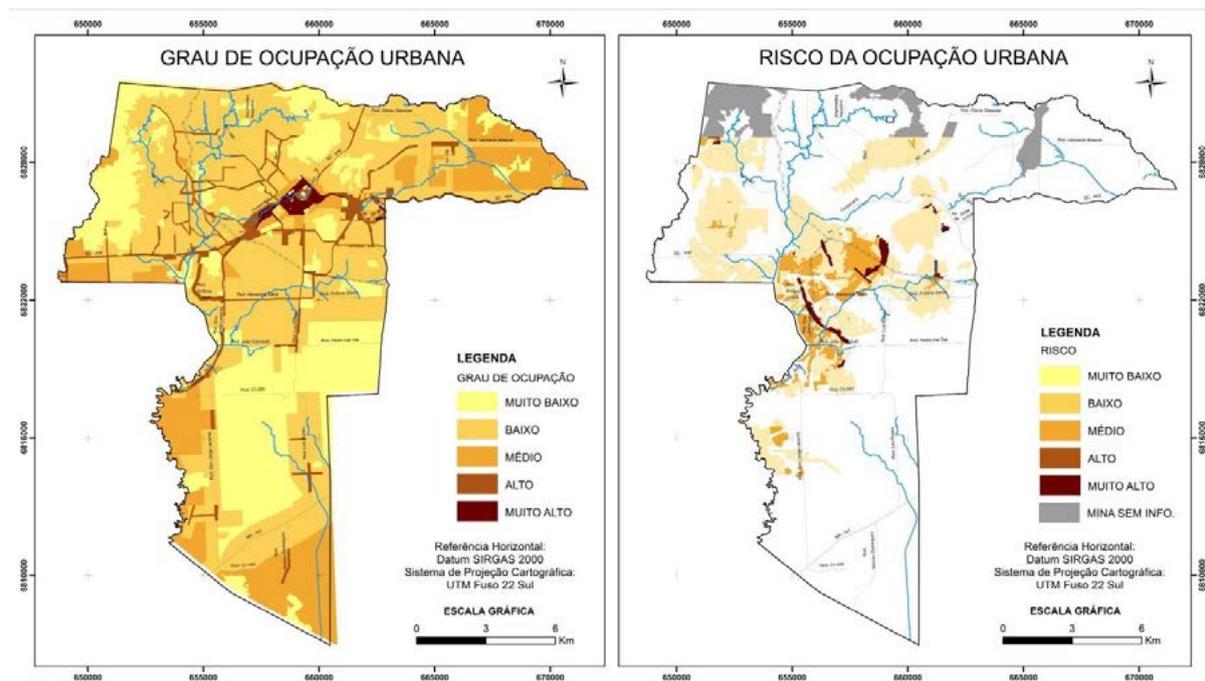
Fonte: arquivo pessoal dos autores.

Além disso, é importante informar que os conflitos tendem a ocorrer, também, nas áreas de recuperação ambiental, onde se teve a disposição de rejeitos piritosos, os quais estão sendo isolados em cápsulas de argila. Assim, visando evitar que haja o contato com água e oxigênio. No entanto, o plano diretor não considera uso futuro restrito para essas áreas, o que coloca em risco a integridade dessas cápsulas. Conforme a atividade proposta, pode haver o retorno da exposição dos rejeitos piritosos à água e ao oxigênio, o que vem a gerar novamente drenagem ácida, juntamente com todos os impactos causados pela lixiviação de metais.

Ao comparar o grau de ocupação urbana proposto pelo plano diretor municipal, obtido pelo método de suporte à decisão AHP, com o mapa de áreas mineradas em subsolo, nota-se que estão sobrepostas áreas de densa ocupação permitida, com áreas mineradas. O fato caracteriza a existência de zonas de risco, onde é mais provável que ocorram problemas futuros, como nos bairros, Pinheirinho, Jardim Angélica, Pio Corrêa, Santo Antônio, Operária Nova, Ana Maria, Vila Macarini, entre outros.

O mapa de Risco da Ocupação Urbana Sobre Áreas Mineradas em Subsolo (Imagem 03) apresenta as áreas com risco de ocupação urbana, devido à ocorrência de antigas lavras de carvão em subsolo no Município de Criciúma, sob uma escala que varia dentro de cinco classes de risco: muito baixo; baixo; médio; alto; e, muito alto.

Imagem 3 – Mapa Risco da Ocupação Urbana Sobre Áreas Mineradas em Subsolo



Fonte: Dos autores.

Através do mapa, pode-se constatar que do total de áreas mineradas do Município, cerca de 23% encontra-se sob área urbanizada, com casas, edifícios e comércios instalados. Esse dado expõe a potencialidade da ferramenta aplicada para o planejamento urbano adequado de Criciúma, que permitiu a ocupação de 20,10 km² de áreas de risco. Além disso, a maior parte das áreas mineradas está dentro do perímetro urbano do Município.

Analisando os resultados obtidos no mapa, nota-se que o risco baixo foi predominante no município, compondo 80% das áreas mineradas, o que significa 41,91 km², seguido do risco médio representado por 17%, com 8,73 km², muito alto com 3%, ou seja, 1,82 km², muito baixo com 0,05 km², e alto, que não possui área.

O fato de que 80% das áreas mineradas foram consideradas de baixo risco é um ponto positivo a se destacar. Todavia, o risco ainda é presente. O argumento justifica-se no registro de subsidências, que tiveram reflexos na superfície, mesmo em mina com espessura de capeamento de 110 metros, considerada risco baixo. O caso foi registrado na localidade de Sangão, área da antiga Mina A, da Carbonífera Próspera.

As áreas de risco muito alto dizem respeito, principalmente, aos locais onde existem mais de uma camada de carvão minerada. Com destaque para os bairros Sangão, Recanto Verde, Pinheirinho, Ana Maria, Próspera, Jardim Maristela, Ceará, Primeira Linha, Fábio Silva, Universitário e São Luiz, já ocupados.

É imprescindível que esses locais sejam restringidos de ocupação urbana, principalmente residencial, comercial e industrial. Pois, as construções localizadas sobre essas áreas, tornam-se expostas a riscos bastante altos de sofrerem danos, como rachaduras e rebaixamento de pisos, podendo comprometer a integridade civil da obra.

Enfatiza-se a necessidade de evitar a instalação de edifícios com mais pavimentos, tendo em vista que, quanto mais alta a construção, maiores são os impactos sofridos, além de prejudicar um número maior de pessoas. Os autores Krebs, Dias e Viero (1994) relatam que quanto maior o

número de pavimentos da edificação, maior é o comprometimento da construção civil, ou seja, os impactos da ocorrência de subsidências são sentidos com maior intensidade.

Destaca-se a presença de um posto de combustível em área de muito alto risco. Tendo em vista que, os postos possuem tanque de armazenamento subterrâneo, há que se preocupar, pois uma movimentação do terreno poderia resultar na deformação dos tanques, e permitir o vazamento do produto, altamente contaminante, botando em risco à qualidade das águas subterâneas. Logo, essa atividade deveria ser evitada sobre essas áreas.

O ideal é que seja limitado o uso superficial dessas áreas, a atividades às quais não sejam afetadas de forma significativa pela ocorrência de uma possível subsidência. Como as áreas de muito alto risco, correspondem a apenas 1,82 km², verifica-se a viabilidade em restringir usos nesses locais, e por a área ser pequena, facilita a implantação de medidas cautelares.

Já o risco médio, atinge áreas menos urbanizadas, concentrando-se próximas ao limite centro-oeste do Município.

As áreas de baixo risco são identificadas nos bairros Pinheirinho e Arquimedes Naspolini. Identifica-se que as ocupações sobrepostas às áreas de baixo risco constituem-se em urbanização horizontal, composta por residências, em sua maioria, de um, dois e três pavimentos. E, no caso do Morro Cechinel, a ocupação é limitada por ser uma área de proteção ambiental, além de contar com lotes de tamanho maior, dispondo de poucas construções instaladas.

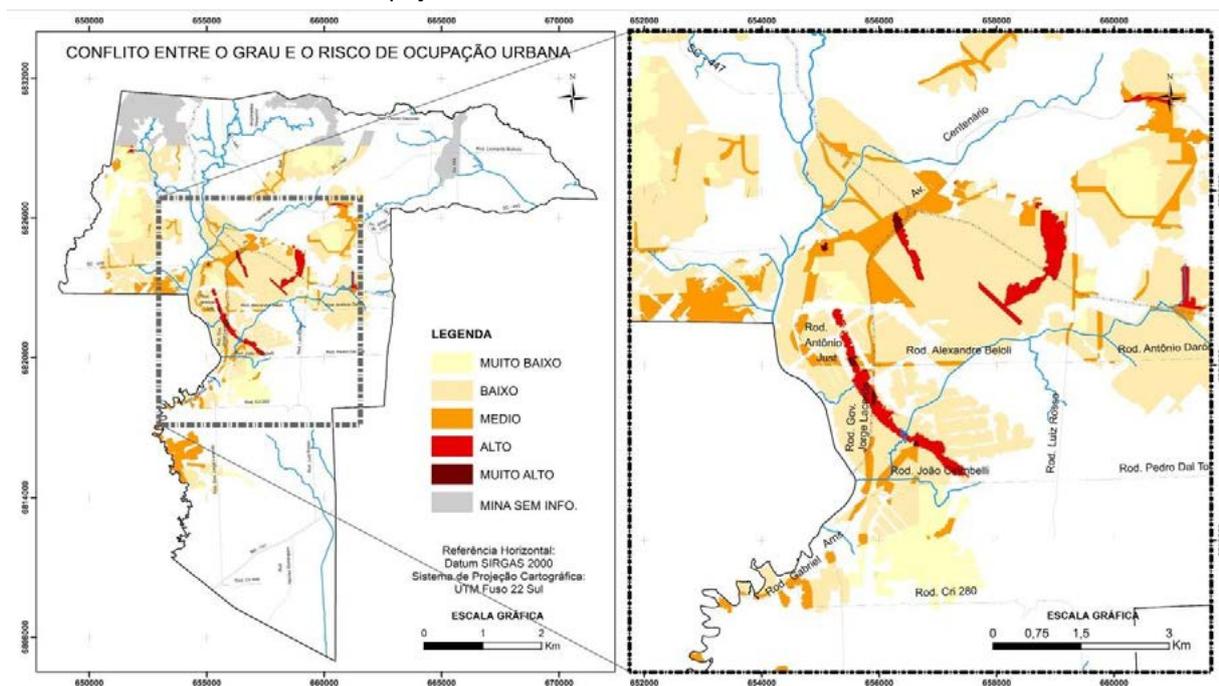
Apenas uma área foi classificada como de muito baixo risco, situada no bairro Vila Macarini. O local recebeu essa classificação por ter sido realizada lavra com recuperação de pilares em subsolo, e já haver acontecido o caimento, ou seja, a subsidência já ocorreu, e as condições geológicas do terreno já estão estáveis, logo, pode ser utilizada para diversas finalidades, e voltar a ser ocupada.

O ideal seria a adoção de medidas de mitigação, tratamento e reabilitação, para que as atividades humanas, desenvolvidas em superfície, não fiquem sujeitas à instabilidade dos solos ou a outros riscos que afetem à segurança pública, associados às atividades de mineração. Conforme as sugestões feitas por Krebs (2013), alternativas para evitar e minimizar danos vão desde a incorporação de membranas à prova de gás dentro de edificações, evitando a contaminação por metano, até o tratamento de forma mais criteriosa das questões estruturais de minas de carvão pouco profundas, a fim de garantir a estabilidade do solo e das rochas.

O resultado do mapa serve de base para projetos de planejamento físico-territorial do Município, a fim de constituir mais uma fonte de informações fundamentais para determinação dos locais menos adequados ao desenvolvimento da cidade. Além disso, serve como ferramenta de consulta para empreendimentos que desejam se instalar no Município, já que, expõe dados que facilitam a escolha dos locais mais adequados para o uso urbano.

O mapa de conflitos entre o grau de ocupação urbana proposto pelo plano diretor municipal e o risco de ocupação urbana sobre áreas mineradas em subsolo (Imagem 04), evidencia a ausência de comprometimento do plano diretor municipal, com os fatores de risco de ocupação urbana para Criciúma, ao incentivar a ocupação em áreas sujeitas a riscos resultantes de subsidências.

Imagem 4 – Mapa de Conflitos Entre o Grau de Ocupação Urbana Proposto pelo Plano Diretor Municipal e o Risco de Ocupação Urbana Sobre Áreas Mineradas em Subsolo



Fonte: Dos autores

Esse mapa contrasta os riscos provenientes das áreas mineradas em subsolo, com a ocupação futura, proposta conforme os parâmetros urbanísticos do plano diretor municipal. Dessa forma, o mapa apresenta a localização das áreas, onde tende a ocorrer mais problemas futuramente, com vista à alta taxa de ocupação proposta e existente nessas áreas, sobre zonas de riscos oriundos da mineração de subsuperfície.

A escala de risco de conflitos, aplicada ao Município de Criciúma, apresentou risco muito baixo em 9,26 km² (18%); baixo em 33,98 km² (65%); médio em 7,67 km² (14%); alto em 1,51 km² (3%); e, muito alto em 0,11 km².

Deve-se destacar que, a grande maioria das áreas foram consideradas de baixo risco de conflito, devido à ocupação proposta pelo plano diretor para essas áreas, determinar construções horizontalizadas, de baixos pavimentos, que dispõe de menores riscos associados. Além disso, os locais onde a lavra mineral em subsolo ocorreu a profundidades maiores, também ficaram enquadrados na escala de baixo risco.

Também as áreas onde o risco foi considerado muito baixo, nota-se que ocorreram principalmente sobre Z-APA, ou seja, onde o plano já prevê a ocupação bastante restrita dessas áreas, uma vez que, tratam-se de zonas de proteção ambiental. A restrição de ocupação dessas áreas ocorre pelo apelo de preservar recursos hídricos e florestais. No entanto, ao ter sido minerada em subsolo, essas regiões correm o risco de apresentarem rebaixamento do lençol freático, já que as deformações resultantes de subsidências e instabilidades geológicas formam passagens preferenciais para a água subterrânea, e podem direcioná-las para o interior das minas. Portanto, verifica-se que o risco ambiental permanece existindo, ainda que sem a ocorrência de ocupações urbanas.

As áreas onde se identificou risco médio de conflito correspondem principalmente, às áreas marginais a rodovias, avenidas, e vias de importância do Município, onde o zoneamento permite a construção de edifícios mais altos, e densa ocupação demográfica sobre áreas mineradas. O



fato agrava o risco de conflito, pois quando o dano ocorre em áreas com maior incidência populacional, acaba atingindo um número maior de pessoas.

O risco alto de conflito foi atribuído às áreas onde houve sobreposição de camadas mineradas, bem como, onde o plano diretor permite ocupação industrial e residencial, de dois, quatro, oito, dez e até dezesseis pavimentos sobre áreas mineradas. O risco alto se manifesta principalmente nos bairros Ana Maria, Recanto Verde, Fábio Silva, São Luiz, Primeira Linha, Pinheirinho, Jardim Angélica, Sangão, Morro Estevão e Nossa Senhora do Carmo. Com destaque para a área próxima ao Parque das Nações e ao Criciúma Shopping, que apesar de não ter sido classificada como de risco muito alto, trata-se da região mais conflitante, pois permite a construção de edifícios de até dezesseis pavimentos, sobre áreas onde houve mineração em subsolo.

O mesmo ocorre para as áreas de muito alto risco de conflito, uma vez que, são permitidos até cinco pavimentos sobre áreas mineradas. O risco é considerado maior para essas áreas, pois tiveram duas camadas de carvão lavradas. Ou seja, o risco é agravado, pois a instabilidade geológica associada é maior.

Caso uma subsidência, em sua curvatura, atinja um pilar de fundação de um prédio, este pode ter toda a sua extensão comprometida. O resultado pode ser a interdição do edifício, gerando prejuízos aos moradores, além de uma série de processos judiciais, tanto contra a própria prefeitura, como também, contra a empresa construtora da obra, e a empresa mineradora.

Os usos permitidos sobre áreas mineradas devem ser restritos a atividades que não sofram tanto impacto, caso aconteça uma subsidência. Esses usos devem priorizar a atribuição de pouco peso às estruturas mineiras em subsolo. Outra opção, viável apenas para as regiões onde a lavra foi próxima à superfície, é fazer as fundações de construções abaixo das galerias, garantindo a estabilidade da edificação.

Com esse mapa, fica evidente a necessidade de realização de furos de sondagem, para que se verifique a existência de galerias, bem como, sua profundidade. É fundamental a realização de amostragens, anteriormente ao início das obras de construção, principalmente de edifícios com número maior de pavimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do SIG mostrou-se uma ferramenta bastante eficiente, automatizando tarefas que, antigamente, eram realizadas manualmente, bem como facilitando a realização de análises complexas, por meio da integração de dados oriundos de diversas fontes. Trata-se de um instrumento eficaz para estudos na área de planejamento ambiental. Por sua vez, o método de suporte à decisão por análise hierárquica de variáveis, também se mostrou bastante útil e adequado a processos de planejamento, pois transforma em números, condições que antes eram qualitativas. A vantagem da sua aplicação está em quantificar elementos de forma a subsidiar análises e modelagens.

A integração de dados geoespaciais em ambiente SIG, para subsídio a processos de planejamento e análise de risco, é uma técnica bastante satisfatória, já que permite a espacialização e hierarquização dos riscos associados. Desta forma, permite a inclusão da abordagem territorial na tomada de ação.

Os conflitos mapeados visam auxiliar planejadores, gestores públicos, sociedade civil, empreendedores e órgãos fiscalizadores, uma vez que, permite identificar os locais minerados, com potenciais riscos associado. Logo, constatou-se a necessidade de incluir a espacialização dos



riscos provenientes da existência de minas subterrâneas, como requisito essencial no planejamento urbano de Criciúma.

É fundamental que seja definida uma faixa de segurança ao entorno das áreas mineradas, de modo a promover seu uso restrito, devido à possibilidade de ocorrência de subsidência. Em um estudo realizado por Krebs, Dias e Viero (1994), apontam que a faixa de segurança deve ser calculada a partir de um ângulo de 45º, visto que, a zona de influência sujeita à subsidência é oblíqua, o que expande as áreas sujeitas a riscos além dos limites cartografados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. 157 p. Dissertação (Mestrado) – Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos, 1997.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRICIÚMA. Lei complementar nº 095, 28 de dezembro de 2012. Institui o Plano Diretor Participativo do Município – PDPM, e dá outras Providências. **Paço Municipal Marcos Rovaris**, Criciúma, SC, 28 dez 2012.

DUARTE, Paulo Araújo. **Cartografia temática**. Florianópolis: UFSC, 1991. 145 p.

IBGE. **Resolução nº 01, de 25 de fevereiro de 2005. Altera a caracterização do sistema geodésico brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/projeto_mudanca_referencial_geodesico/legislacao/rpr_01_25fev2005.pdf>. Acesso em: 21 ago 2013.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Criciúma. 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=420460&search=santa-catarinalcriciumalinfograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. Acesso em: 28 out 2013.

IBGE. **Cartografia**. Área Territorial Oficial: Criciúma. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.php?nome=Crici%FAma&codigo=&submit.y=6>>. Acesso em: 28 out 2013.

JFSC (Justiça Federal de Santa Catarina), IPAT (Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas). **Diagnóstico socioambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão para a gestão integrada de bacias hidrográficas e unidades de conservação**: aplicação na interface formada pela área de Proteção Ambiental da Baleia Franca e a Bacia Hidrografia do Rio Urussanga. Projeto Convênio. Disponível em: <<http://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/2011/GTA-Estudo-do-Papel-dos-Sedimentos/GTA-Estudo-do-Papel-dos-Sedimentos-pdf-Relatorio-Final-MPF.htm>>. Acesso em: 05 ago 2013.

KREBS, Antonio Silva Jornada; DIAS, Adalberto A.; VIERO, Ana Cláudia. **Áreas mineradas para carvão no município de Criciúma – SC**. 2 ed. Porto Alegre: CPRM, 1994. 31p.

KREBS, Eduardo Pereira. **Metodologia para análise de riscos ambientais em minas de carvão em subsolo utilizando integração de dados em ambiente SIG**: estudo de caso Mina C, Maracajá, SC. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, 2013.



LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo. **Espaço Urbano Sustentável**: planejamento, gestão territorial, tecnologia e inovação. Florianópolis: Insular, 2012. 264 p.

LOCH, Ruth E. Nogueira. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: UFSC, 2006. 314 p.

MILIOLI, Geraldo. A indústria de mineração de carvão no Brasil - Ideias para o futuro: o caso de Santa Catarina. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson Dos; CITADIN-ZANETTE, Vanilde. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina**: uma abordagem interdisciplinar. Curitiba: Juruá, 2009. Seção 3, p. 275-302.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 425p.

SAATY, T. L. **Multicriteria decision making** - The analytical hierarchy process, Pittsburg: RWS Publications, 1992.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira. **Modelagem de dados espaciais**. Belo Horizonte: UFMG. 2000.