



ANÁLISE MULTITEMPORAL DA DINÂMICA DE USO DO SOLO SOB A PERSPECTIVA DE ATIVIDADES MINERADORAS: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO AURÁ, BELÉM – PA

Gabriel Guaruglia Perez^(a), João Vitor Roque Guerrero^(b), Marcilene Dantas Ferreira^(c)

^(a) Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, E-mail: gerez.18@gmail.com

^(b) Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, E-mail: joaovitorguerrero@yahoo.com.br

^(c) Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, E-mail: mdantas@ufscar.br

Eixo: GEOTECNOLOGIAS E MODELAGEM ESPACIAL EM GEOGRAFIA FÍSICA

Resumo

A mineração é uma atividade essencial para o desenvolvimento da sociedade, mas também é uma das que mais causa impactos negativos ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho é uma análise multitemporal do uso do solo e cobertura vegetal com o intuito de identificar como se deram as alterações da paisagem pelas atividades antrópicas relacionando-as com os processos de mineração na bacia do Aurá, em Belém – PA. Portanto, foram obtidas duas imagens (1969 e 2015), das quais forneceram subsídio para elaboração de duas cartas de uso e cobertura do solo, que por sua vez auxiliaram nas análises das mudanças no uso e da situação do licenciamento dos empreendimentos de mineração em 2015. Os resultados evidenciam uma diminuição na atividade de mineração de 1969 para 2015, com aumento na quantidade de área urbana e nas áreas de mineração ativas que não estão devidamente licenciadas. Conclui-se que as atividades mineradoras cedem lugar a outros usos.

Palavras-chaves: Multitemporal, Mineração, Aurá

1. Introdução

As principais forças motrizes para as alterações nos padrões de uso do solo nos municípios brasileiros estão relacionadas a atividades antrópicas, tais como a expansão urbana, as atividades agropecuárias e de mineração. Porém, são atividades que trazem relativo benefício econômico, fazendo com que tais transformações da paisagem sejam ponderadas em relação aos seus impactos socioambientais (YUAN, et al., COSTA, 2012 - SBSR)

A exploração de recursos minerais é de extrema importância para a sociedade, sendo junto com a agricultura uma das atividades base de toda a economia mundial, mas também é uma das que mais causa impactos negativos ao meio ambiente (SILVA, 2007). Atividades de mineração podem causar diversos problemas ambientais como perda de solo, desmatamento, mudança de relevo, contaminação de águas, produção de resíduos sólidos, poluição do ar, dentre outros (ALENCAR, et al., 2015; AREENDRAN, et al., 2013; BEZERRA, 2015; SCALCO; FERREIRA, 2013).



Empreendimentos de mineração também podem causar problemas sociais afetando a saúde de trabalhadores envolvidos diretamente no empreendimento e até mesmo de moradores vivendo em áreas próximas a essas atividades (HENDRYX; AHEM, 2008; HERMANUS, 2007).

A tendência futura é que a exploração de minerais se torne cada vez mais difícil devido ao esgotamento das jazidas naturais, já que constituem um recurso finito. A quantidade de material reaproveitado deverá crescer, diminuindo a necessidade de extrair material novo da terra e, conseqüentemente, o interesse econômico por atividades de mineração (AYRES, 1997). A mineração ainda é essencial para a sociedade nos aspectos econômicos e sociais e frear sua atuação por completo pode causar reflexos negativos em tais áreas. O que pode ser feito é conduzir empreendimentos desse tipo de maneira responsável, respeitando pelo menos os limites impostos pela legislação vigente, de modo a reduzir a quantidade de impactos que estes podem causar.

Através de imagens orbitais de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento é possível avaliar e monitorar áreas potencialmente degradadas e suas dinâmicas socioambientais, com o intuito de sanar a problemática da falta de diagnósticos.

Um parâmetro importante no uso de dados de sensoriamento remoto é a resolução espacial das imagens, que deve ser condizente com o objeto de estudo. Para o monitoramento ambiental de bacias hidrográficas, com ênfase nos processos de mineração, é necessária uma resolução espacial relativamente alta. Imagens gratuitas como as Landsat, com resolução espacial de 30m (pixels representando 900m²), podem não ser suficientes para a realização de um monitoramento com precisão suficiente. Como imagens de alta resolução espacial são geralmente caras e só são vendidas cobrindo áreas muito grandes, uma boa alternativa é a utilização de imagens do Google Earth, que podem ser usadas para esse propósito se passarem por um processamento adequado (HU et al; 2013).

Diante das informações anteriormente expostas, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise multitemporal do uso do solo e cobertura vegetal para identificar as alterações da paisagem pelas atividades antrópicas, relacionando-as com os processos de mineração ali existentes, por meio da obtenção e processamento de imagens orbitais do Google Earth.

A área de análise correspondeu à bacia hidrográfica do Aurá, localizado no município de Belém - PA, devido à relação conflituosa entre a expansão urbana e os processos mineradores pré-existentes, o que torna a região suscetível aos impactos socioambientais irreversíveis que necessitam de diagnóstico para uma gestão eficiente.



2. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Aurá está localizada no Sul do município de Belém (FIGURA 1), entre as latitudes 9838000 e 9847000 e longitudes 788000 e 794000. A bacia apresenta uma área total de aproximadamente 22 km², dentro da área metropolitana.

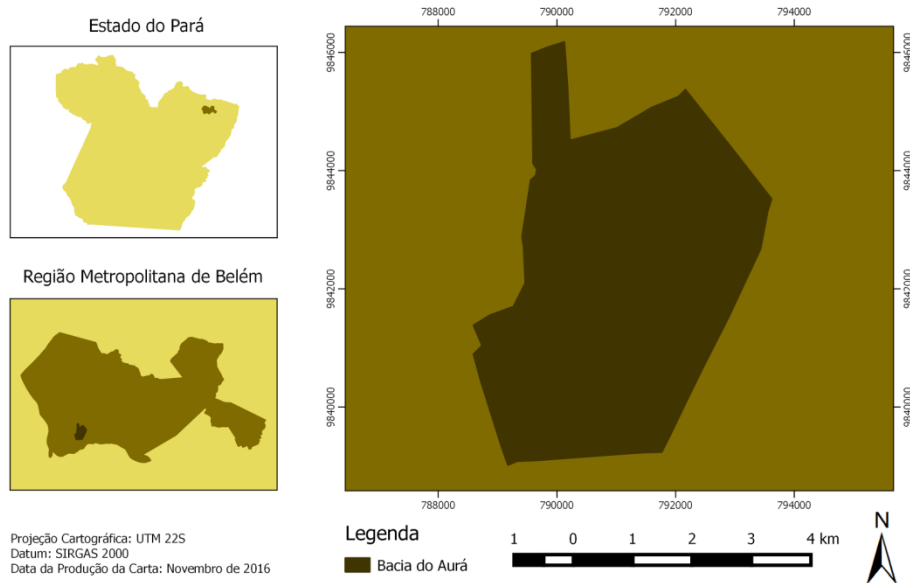


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

A concentração populacional ocorre predominantemente nas áreas continentais com altitude média de 4 metros, conhecidas como “baixadas”, sofrendo interferência de 14 diferentes bacias hidrográficas, fazendo com que estas áreas sejam alagadas ou sujeitas a alagamentos periódicos (PMB, 2016).

De acordo com a classificação de Koppen, o clima local é o equatorial, graças à influência exercida pela floresta amazônica. Este tipo climático implica em altas temperaturas, chuvas abundantes e elevada umidade relativa do ar durante todo o ano.

Quanto aos solos, a região apresenta concrecionários lateríticos de textura indiscriminada, latossolos amarelos distróficos com textura média, além de solos aluviais eutróficos de texturas indiscriminadas (BELÉM, 2011).

A geologia local é constituída por algumas áreas da formação Barreiras e terrenos quaternários. Como reflexos, a geomorfologia é composta por baixos platôs e planícies litorâneas, sendo partes



da unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado do Amazonas. Com isso, a topografia é bastante rebaixada, tendo altitude máxima de 25 metros na Ilha de Mosqueiro (BELÉM, 2011).

A cobertura vegetal de Belém é composta primordialmente por florestas secundárias ou capoeiras, substitutas das vegetações primárias e densas de baixos platôs. Outro tipo vegetacional que se destaca são os mangues, que acompanham porções fluviais semi-litorâneas. Por fim, as florestas ombrófilas localizam-se próximas aos cursos d'água e baixadas (BELÉM, 2011).

Por fim, a economia de Belém baseia-se em atividades de comércio e serviços, porém a mineração nas áreas metropolitanas também apresenta destaque.

3. Metodologia

Inicialmente foi feito a revisão bibliográfica de estudos gerais com os quais envolveram o tema mineração em área urbana; em seguida promoveu a síntese de estudos sobre mineração levantados na região metropolitana de Belém. Posteriormente, foram feitas os procedimentos de geoprocessamento para obtenção das cartas temáticas, descritas a seguir:

3.1 Aquisição, processamento e classificação das imagens

O primeiro procedimento realizado foi a aquisição das imagens de satélite dos anos 1969 e 2015. Este procedimento foi realizado gratuitamente no software Google Earth Pró, sendo selecionado um retângulo envolvente que contemplasse uma extensão além do limite da bacia, para que as imagens não tivessem nenhum corte na área de interesse.

Após a aquisição, foi realizado um pré-processamento nas imagens com a intenção de realizar a correção de possíveis distorções geométricas e efeitos incorretos de brilho provenientes da exportação do ambiente Google Earth para o ArcGis. Os procedimentos para a realização de tais correções foram baseadas no trabalho de Hu et al; (2013), que testou e comprovou a eficácia destas imagens de alta resolução em estudos que contemplem as ciências ambientais.

Com o intuito de utilizar a unidade métrica no mapeamento e facilitar o cálculo das áreas, foi realizada uma reprojeção dos dados, sendo atribuído o datum SIRGAS 2000 e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).



A próxima etapa consistiu em classificar as imagens. Este processo pode ser considerado o procedimento realizado para extrair informações de imagens para reconhecer padrões e identificar quais são as classes de interesse presentes (INPE, 2016). Para este trabalho foi realizada uma classificação visual dos atributos do meio físico, onde foram desenhados polígonos que representassem cada objeto identificado na imagem. Dessa maneira, conseguiu-se identificar 5 tipos de cobertura: Corpo Hídrico, Cobertura Vegetal, Mineração, Campo Aberto e Área Urbanizada,

3.2 Caracterização das áreas de mineração presentes na Bacia

Com o objetivo de caracterizar e avaliar os processos de mineração presentes na bacia, foram utilizados dados do SIGMINE (O Sistema de Informações Geográficas da Mineração). Este tem como objetivo disponibilizar informações atualizadas dos processos de mineração devidamente cadastrados no Departamento Nacional de Produção Mineral, delimitando espacialmente os dados em arquivos shape file. Sendo assim, os dados cadastrais sobre processos de mineração da área de estudo foram adquiridos gratuitamente no formato shp através do site da instituição: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>.

Estes dados foram integrados e espacializados no software ArcGis 10.3.1 na projeção cartográfica UTM, fuso 22 Sul e datum Sirgas 2000, identificando 11 fases de processos: Autorização de Pesquisa, Concessão de lavra, Disponibilidade, Lavra garimpeira, Licenciamento, Registro de Extração e Requerimentos de Lavra, lavra Garimpeira, Licenciamento, Pesquisa e Registro de Extração.

3.3 Integração e Análise dos dados

Após a aquisição, pré-processamento e classificação da imagem Google Earth foi realizada a integração com os dados do SigMine.

Esta integração foi realizada através da sobreposição de mapas, onde os dados cadastrais do SIGMINE sobrepuseram o mapa de uso do solo e cobertura vegetal, com as quais permitiram verificar se as mineradoras respeitam a legislação vigente e as áreas a que tem direito de explorarem.



3.4 Carta de Mudanças de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

A carta de Mudanças de Uso do Solo e Cobertura Vegetal permite analisar quais áreas sofreram alterações e que tipos de mudanças ocorreram na bacia. O primeiro passo para a realização destas é atribuir valores para cada tipo de uso do solo do ano de 1969 e 2015. Em seguida é necessário transformar os dados de polígono para raster, com o objetivo de permitir as operações entre mapas, através da ferramenta *PolygontoRaster* no ArcGis.

Após este procedimento, foi necessário fazer uma soma de mapas (layers) na ferramenta *RasterCalculator*, tendo como resultados um raster com o valor de soma dos valores que foram atribuídos anteriormente. Para a apresentação dos mapas e também permitir os cálculos de área, este mapa Raster foi convertido em polígono.

4. Resultados e Discussão

4.1 Cartas de uso do solo

A partir da aplicação dos procedimentos metodológicos acima citados, foram produzidas duas cartas de uso do solo e cobertura vegetal, com o intuito de analisar a dinâmica das atividades antrópicas na bacia. Os resultados quanto à quantidade de áreas relacionadas a cada tipo de uso do solo são mostrados na tabela abaixo (Tabela I):

Tabela I: Área ocupada por cada tipo de cobertura do solo nos anos de 1969 e 2015

| Tipo de Uso | Área (km ²) 1969 | Área (%) 1969 | Área (km ²) 2015 | Área (%) 2015 |
|-------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| Corpo Hídrico | 0,26 | 1,17 | 0,26 | 1,17 |
| Cobertura Vegetal | 14,86 | 67,65 | 15,2 | 69,21 |
| Mineração | 3,81 | 17,34 | 1,74 | 7,94 |
| Campo Aberto | 0,40 | 1,83 | 1,16 | 5,28 |
| Área Urbanizada | 2,64 | 12,02 | 3,60 | 16,41 |

4.2 Carta de uso do solo e cobertura vegetal 1969



Na carta de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 1969 (Figura 2) já é possível identificar grandes áreas de mineração, o que mostra que essa é uma atividade consolidada na bacia há décadas. Essas áreas cobrem cerca de 17% da região e reiteram a grande preocupação acerca do risco que a atividade representa para a bacia quanto aos aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Como pode ser visto na referida carta, o tipo de uso mais predominante em 1969 era a cobertura vegetal de mata com característica bastante densa que na época recobria aproximadamente 68% da área da bacia. Já os campos abertos tinham pouca representatividade na área, cuja ocupação representava 1,8% da extensão.

Observou-se, também, ao norte da bacia que já existia na época uma área urbana consolidada, que recobria uma área de 2,64 km², demonstrando que a ocupação urbana na bacia é bastante antiga.

A cobertura de corpos hídricos representa uma porcentagem bastante pequena da área (cerca de 1,2%), mas é o suficiente para ser facilmente visível na carta. A vegetação presente no entorno do corpo d'água principal indica que pelo menos a área de preservação permanente (APP) desse rio estava sendo respeitada na época.

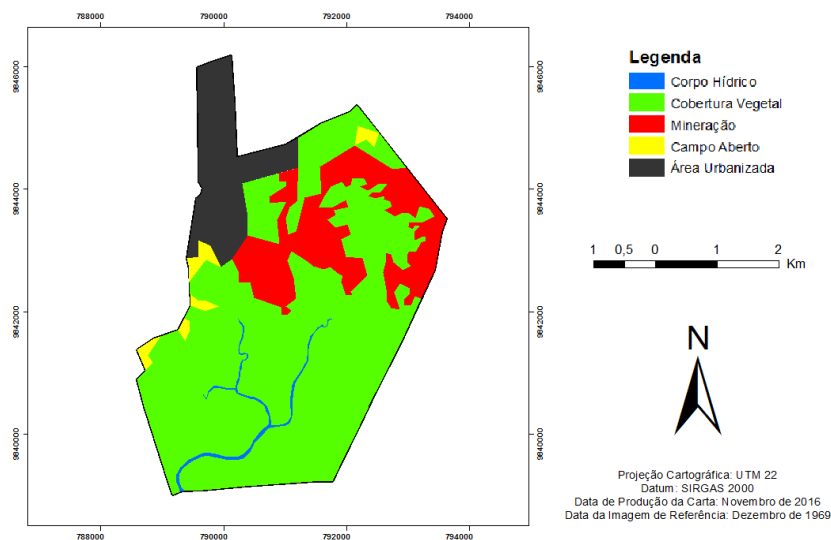


Figura 2: Uso e cobertura do solo na bacia do Aurá em 1969.

4.3 Carta de uso do solo e cobertura vegetal 2015



Quanto à carta de uso do solo e cobertura vegetal de 2015 (Figura 3), pode-se afirmar que o tipo de uso predominante na bacia ainda é a cobertura vegetal derivada de mata. É interessante observar que este tipo de uso teve um pequeno aumento em relação a 1969, passando de 67% para 69%.

Quanto às áreas de mineração, foi mostrado que na década de 1960 já estavam muito consolidadas. Diante das informações da carta de uso do solo e cobertura vegetal de 2015, pode-se afirmar que a atividade de mineração apresenta redução da força dentro da bacia, com várias áreas encerrando seus processos produtivos, com uma diminuição de 18 km² em 1969 para apenas 8 km² em 2015.

Um fator que gera preocupação quanto ao bem estar socioambiental local é o aumento das áreas urbanizadas, no qual apresenta um vetor de crescimento em direção às antigas áreas de mineração. Este crescimento relaciona-se à falta de planejamento do processo de expansão urbano na bacia, já que as áreas que outrora foram utilizadas para mineração são instáveis e pode apresentar potencialmente riscos relacionados à contaminação, à saúde e bem estar da população desses locais.

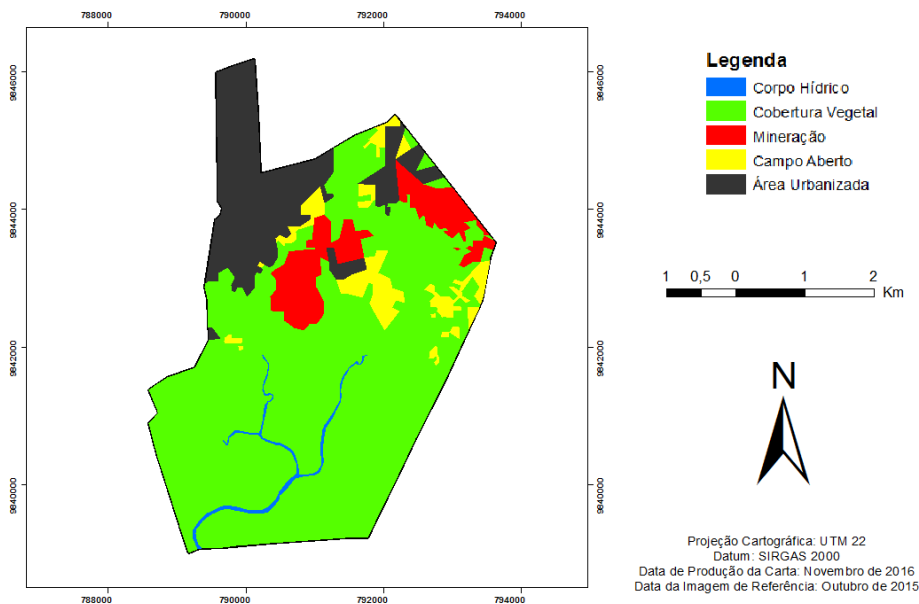


Figura 3: Uso e cobertura do solo na bacia do Aurá em 2015.

Por fim, identifica-se um aumento significativo de áreas de campo aberto, equivalente ao dobro da quantidade de áreas pertencentes a este tipo de uso. Grande parte desse tipo de cobertura



existente atualmente está presente onde eram áreas de mineração, o que indica que após a ocorrência desta atividade tais locais foram abandonados ou viraram áreas utilizadas para pastagem.

4.4 Caracterização das áreas de mineração

A partir da carta de uso do solo e cobertura vegetal de 2015 e dos dados disponibilizados no Sigmime foi possível a caracterização das áreas de mineração da bacia do Aurá (Figura 4).

Foi diagnosticado que existem áreas de mineração onde não existe nenhuma fase de processo minerário cadastrado. Este fato não significa que as minerações identificadas sejam irregulares, pois estas se estabeleceram provavelmente antes da legislação minerária vigente entrar em vigor.

Na região noroeste da bacia foi identificada uma área de mineração com um processo de licenciamento ainda vigente, porém a dinâmica temporal gerada sugere que esta mineração está estabilizada. Por fim, existe uma área a leste da bacia onde também existe um processo de licenciamento vigente, porém ainda não existe nenhuma atividade mineradora em operação no local.

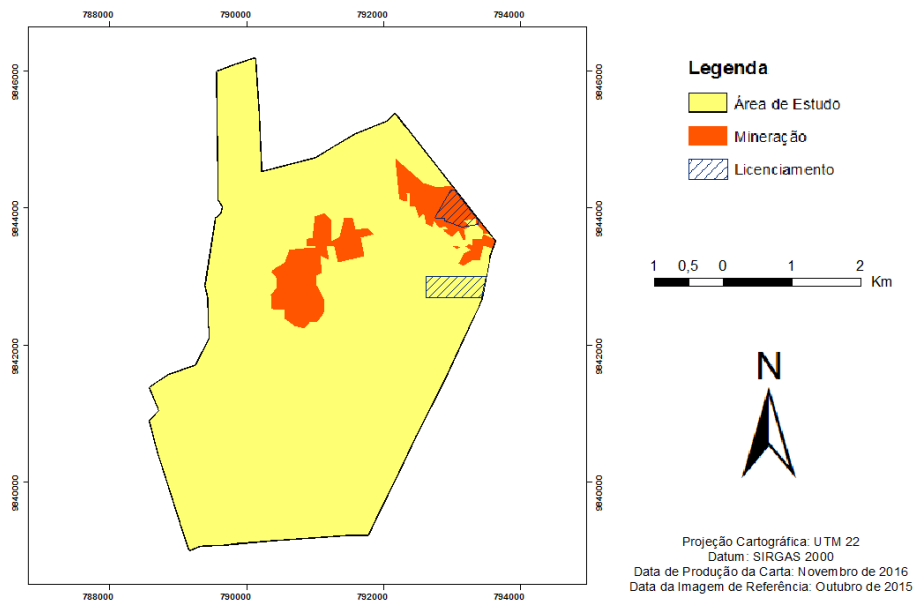


Figura 4: Carta de sobreposição das áreas de mineração e dados do Sigmime



4.5 Carta de mudança no uso do solo e cobertura vegetal

A carta de mudança do uso do solo (figura 5) permitiu identificar as áreas de maior alteração antrópica da bacia do Aurá, da qual procurou entender a dinâmica da ocupação em relação às atividades de mineração ali existentes. As alterações basearam-se principalmente na diminuição das áreas de mineração, surgimento de diversas áreas de campo aberto e aumento da área urbanizada.

As áreas de campo aberto representam uma preocupação, já que substituíram áreas de mata nativa na região e, portanto, são resultados de grandes desmatamentos.

O foco nas áreas mineradoras permitiu identificar que o fim das operações de algumas destas permitiu o avanço de áreas urbanizadas, principalmente de população de baixa renda. As áreas mineradoras não alteradas representam alguns problemas para a região: o primeiro é que estes processos geram perigo de acidentes para a população que reside nas imediações. Outro problema constatado é o impacto ambiental que minerações (principalmente as que não têm licenças de operação) podem causar.

Carta de comparação entre o uso e cobertura de 1969 e 2015

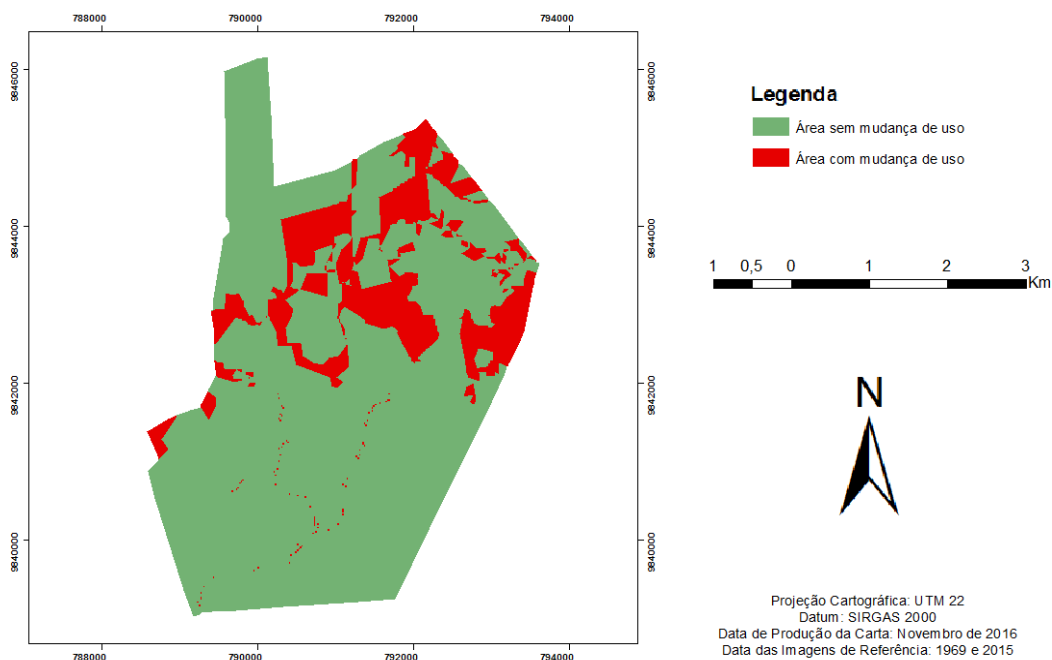


Figura 5: Carta de Comparação entre o uso e cobertura de 1969 e 2015



5. Conclusão

A análise multitemporal de uso do solo e cobertura vegetal para os anos de 1969 e 2015 demonstrou que a relação entre a dinâmica das atividades mineradoras não mais exploradas certamente vai de encontro à expansão urbana, principalmente de classes sociais mais baixas. Estas são áreas geralmente com baixo valor imobiliário fazendo com que sejam disponibilizadas para pessoas de rendas mais baixas.

O perigo nestas ações de crescimento urbano é que estas áreas são ambientalmente mais frágeis, potencialmente contaminadas e que geram diversos riscos ainda mais quando aliados à precariedade construtiva das residências.

Apesar do incremento de vegetação natural na bacia, pode-se considerar que esta é frágil quanto às suas relações de meio natural com as atividades antrópicas, por apresentar atividades mineradoras que nunca foram recuperadas próximas a grandes mananciais de água doce.

Ressalta-se que ainda há a possibilidade de reativação ou aumento da produção mineral na área, já que existem licenciamentos ativos na região, o que aliado à dinâmica de ocupação da área (principalmente pela grande urbanização que vem enfrentando) pode causar graves problemas sociais, econômicos e ambientais.

Conclui-se, também, que é imprescindível analisar as bacias hidrográficas urbanas quanto às suas interferências antrópicas, ainda mais quando há conflitos de uso tão potencialmente perigosos ao bem estar humano.

Por fim, pode-se afirmar que as geotecnologias são ferramentas imprescindíveis a estes estudos, por permitirem análises do panorama geral da bacia e como se deu sua ocupação ao longo do tempo, com eficácia comprovada e baixo custo relativo na obtenção dos dados e na execução dos procedimentos. Nesse sentido, imagens do Google Earth se mostraram como fontes de informações muito úteis e confiáveis para a realização de estudos desse tipo.

6. Bibliografia

ALENCAR, A. C. A. B.; COSTA, T. P. G. DA; ALVES, C. S.; LINHARES, F. M. **Diagnóstico espaço-temporal das áreas impactadas pela MPL - Mineração Pedra Lavrada (Santa Luzia-PB), na extração de vermiculita.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 2, n. 2, p. 25–36, 2015.



AREENDRAN, G.; RAO, P.; RAJ, K.; MAZUMDAR, S.; PURI, K. **Land use / land cover change dynamics analysis in mining areas of Singrauli district in Madhya Pradesh , India.** *Tropical Ecology*, v. 54, n. 2, p. 239–250, 2013.

AYRES, R. U. **Metals recycling: economic & environmental implications.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 21, n. 3, p. 145–173, 1997. Disponível em: <https://flora.insead.edu/fichiersti_wp/inseadwp1997/97-59.pdf>. .

BARUAH, J.; BARUAH, B. K.; KALITA, S.; CHOUDHURY, S. K. **Impact Analysis of Open Cast Coal Mining on Land Use / Land Cover using Remote Sensing and GIS Technique in Ledo- Margherita Region of Assam , India.** *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, v. 2, n. 8, p. 671–676, 2016. Disponível em: <<http://www.onlinejournal.in/IJIRV2I8/110.pdf>>. .

BELÉM, PREFEITURA MUNICIPAL DE. **Anuário estatístico do Município de Belém: Caracterização do território.** Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/1_01_Caracterizacao%20do%20Territorio.pdf Acesso em 12/09/2016 às 20h10min.

BELÉM, PREFEITURA MUNICIPAL DE. **Revisão do plano diretor municipal.** Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor/paginas/brasao.php> Acesso em 12/09/2016 às 7h55min.

BEZERRA, L. M. A. **Análise dos impactos socioambientais decorrentes da mineração na chapada do araripe-nova olinda/ceará.** *Geosaberes*, v. 6, n. 2, p. 79–89, 2015.

BRASIL. **Decreto Nº 62.934**, de 2 de julho de 1968.

BRASIL. **PL 5807/2013**, de 19 de julho de 2013.

HENDRYX, M.; AHM, M. M. **Relations Between Health Indicators and Residential Proximity to Coal Mining in West Virginia.** *American Journal of Public Health*, v. 98, n. 4, p. 669–672, 2008. Disponível em: <https://www.kftc.org/sites/default/files/docs/resources/health_impacts_study_wv_2008.pdf>. .

HERMANUS, M. A. **Occupational health and safety in mining — status , new developments , and concerns.** *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 107, p. 531–538, 2007. Disponível em: <<https://www.saimm.co.za/Journal/v107n08p531.pdf>>. .

LOCH, R. E. N. **Estruturação de dados geográficos para a gestão de áreas degradadas.** 2000. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/35098>>. .



SCALCO, J. P.; FERREIRA, G. C. **Impactos Ambientais da mineração de argila para cerâmica vermelha na sub-bacia do ribeirão jacutinga – rio claro e corumbataí (SP)**. Geociências, v. 32, n. 4, p. 760–769, 2013.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. REVISTA ESPAÇO DA SOPHIA, v. 1, n. 8, p. 13, 2007. Disponível em: <<http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>>.