

Avaliação da degradação ambiental em áreas mineradas: um método quantitativo alternativo

Jainer Diogo Vieira Matos¹
Antonio Nilson Zamuner Filho²

Marília Gabriela Alencar
de Morais³

Resumo: A Constituição Federal impõe àquele que explorar recursos minerais o dever de recuperar os danos ambientais causados. Assim, o setor de agregados, importante por estar associado à construção civil, deve ser explorado de forma sustentável. Em Catalão-GO, esta operação é realizada por pequenas e médias indústrias e pela indústria informal, o que contribui para a degradação ambiental no município. Este estudo propõe o desenvolvimento do método denominado Avaliação da Degradação Ambiental em Áreas Mineradas para quantificar danos, utilizando cinco indicadores: área desprovida de vegetação, declividade média, processos erosivos, APP degradada e área degradada além da poligonal aprovada pelo DNPM; com posterior aplicação em uma área de 4,78 ha, requerida para extração de cascalho. O IDAM calculado foi de 0,687, alta degradação, o que pressupõe que as atividades de recuperação não foram executadas corretamente após a exploração. O método foi considerado aplicável no âmbito de operações de extração mineral.¹²³

Palavras-chave: Mineração. Meio ambiente. Impacto Ambiental.

-
- 1 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Sociais Aplicadas. Contato: jainerdiogo@gmail.com
 - 2 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia. Contato: antoniozamuner@ufg.br.
 - 3 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia. Contato: mariliagabriela_am@hotmail.com

Introdução

As atividades de mineração são caracterizadas por serem fortemente agressivas ao meio ambiente. Desmatam e movimentam uma grande quantidade de solo superficial durante a fase de decapeamento da área e utilizam máquinas e equipamentos pesados que, na maioria das vezes, são movidos a base de combustíveis fósseis. Necessitam, ainda, de complexos industriais para concentrar os minerais de interesse, gerando rejeitos que não podem ser depositados aleatoriamente e, de acordo com a própria natureza da atividade, exploram recursos minerais não renováveis em sua grande maioria. Como são consideradas altamente degradantes, as atividades de mineração são obrigadas a passar por um processo rigoroso de licenciamento ambiental para início de suas atividades. Segundo a legislação brasileira, deve ser apresentado e aprovado durante a fase de licenciamento ambiental o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), que tem como objetivo a recuperação do sítio degradado proporcionando uma nova forma de utilização para a área, visando à obtenção de uma estabilidade ambiental. A extração de agregados minerais possibilita a geração de produtos como a brita, a areia e o cascalho, em granulometrias variadas, segundo as especificações de uso e mercado. Esses bens minerais são imprescindíveis ao desenvolvimento da sociedade moderna, pois possibilitam a construção de moradias e de toda infraestrutura necessária ao completo desenvolvimento de uma determinada localidade. Geralmente, a extração de agregados ocupa um espaço restrito e por tempo determinado, delimitado conforme processo administrativo dirigido ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Os processos de extração e produção de agregados geralmente não utilizam substâncias químicas e o rejeito gerado nas etapas de processamento não oferece risco de contaminação, sendo constituído por material inerte e partículas finas. Assim, os principais impactos provocados ao meio ambiente são de ordem física e paisagística, sendo necessária a recuperação ambiental da área. Uma tendência que vem se consagrando na avaliação dos impactos ambientais gerados é a utilização de indicadores de degradação, geralmente correlacionados à atividade degradadora. A utilização de métodos numéricos facilita a interpretação de resultados e padroniza a avaliação, permitindo que cada área de estudo possa ser enquadrada em uma classificação contínua, de acordo com o resultado obtido. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo desenvolver um método capaz de avaliar a degradação ambiental de áreas licenciadas para extração e produção de agregados minerais que estão em fase de desativação ou já desativadas, reafirmando a importância do processo de recuperação de áreas degradadas para o setor de mineração. Soma-se a isso, a necessidade de uma ferramenta de fiscalização mais intensa, de modo a enfatizar a necessidade de um melhor processo de acompanhamento e fiscalização destas atividades.

1 Desenvolvimento

O termo “agregado” é descrito como um material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassa e concreto (ABNT - NBR 9.935, 2011), sendo destinado à construção de moradias, saneamento básico, pavimentação, dentre outros. Este segmento é caracterizado pelo baixo valor unitário dos bens extraídos, grande número de ocorrências e versatilidade quanto ao aproveitamento de diferentes tipos de minerais e rochas no emprego de uma mesma função (ALMEIDA e LUZ, 2009).

Segundo IBRAM (2012), o indicador nacional para o consumo de agregados em 2011 foi de 3,50 t/hab. O consumo per capita brasileiro evoluiu de 3,3 t/hab em 2010 para 3,5 t/hab em 2011, ou seja, um incremento de 6%. Comparativamente aos países desenvolvidos, o Brasil ainda está muito distante do valor médio histórico de 6 a 7 t/hab ano (por exemplo, Estados Unidos). Segundo o autor, as estimativas de produção nacional para 2022 são de 807 milhões de toneladas desta matéria-prima.

O município de Catalão está localizado no sudeste de Goiás a uma distância de, aproximadamente, 260 km da capital (Goiânia), possui 3.281,463 km² de área superficial, com uma população de, aproximadamente, 100.000 habitantes (IBGE, 2013). Segundo a Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento (SEGPLAN, 2016), em 2012 foram produzidas da ordem de 27 mil toneladas de agregados, destinados principalmente à construção civil.

A extração de agregados minerais tem como principais aspectos o emprego de métodos simples, pouco onerosos e plenamente difundidos por todo país. As rochas para brita e os depósitos residuais de areia e cascalho são geralmente extraídos por métodos superficiais baseados no desmonte mecânico e no desmonte por explosivos, enquanto que os depósitos aluvionares e em leito de rio são geralmente explorados por métodos de dragagem. Geralmente a extração ocupa um espaço restrito e por tempo determinado devido à taxa de produção, as exigências de mercado e ao baixo conhecimento geológico da jazida mineral.

As principais alterações provocadas ao meio ambiente pela exploração de agregados são de ordem física e paisagística, sendo passível e necessária a recuperação da área (QUARESMA, 2009). Cabe ressaltar que a Constituição Federal Brasileira (BRASIL, 1988), em seu Art. 23, define a competência comum da União, dos Estados, Distrito Federal e dos Municípios, quanto à proteção do meio ambiente.

Uma tendência que vem sendo observada nos últimos anos é a utilização de indicadores para o diagnóstico e o acompanhamento da realidade de uma área em seus vários aspectos. Inseridos no contexto de gestão dos recursos ambientais, os indicadores são utilizados como instrumentos de análise e acompanhamento dos

processos de degradação ou recuperação ambiental, podendo ser utilizados para formulação de políticas públicas (CUNHA, 2003).

O desenvolvimento de indicadores de degradação e conseqüentemente a utilização de métodos numéricos, que possam quantificar a degradação ambiental de uma área específica, facilitam a interpretação de resultados e padronizam a avaliação, podendo cada área de estudo ser enquadrada em uma classificação contínua, de acordo com o resultado obtido. Além disso, apresentam a vantagem de ser facilmente aplicáveis, não exigindo necessariamente vasta experiência na área permitindo assim, a avaliação por diferentes profissionais em diversos níveis de formação (FERREIRA et al, 2008).

2 Metodologia

Denominada de Avaliação da Degradação Ambiental em Áreas Mineradas (ADAM), este método foi desenvolvido com base nos estudos de Ferreira et al. (2008). A avaliação por este método tem por objetivo a geração de um resultado numérico capaz de quantificar a degradação ambiental de uma área minerada, através da interação entre cinco indicadores: área desprovida de cobertura vegetal (SV), declividade média da área degradada (D), processos erosivos (PE), área de preservação permanente (APP) degradada (DAPP) e área degradada por extração mineral fora da poligonal demarcada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (ADF), em que o resultado mensurado em cada indicador varia entre zero e um (0 – 1). A seguir serão demonstradas as particularidades de cada indicador ambiental, bem como as formas e equações utilizadas para sua determinação.

Área desprovida de cobertura vegetal (SV): é fruto do processo de extração mineral na qual a vegetação e as camadas superficiais de solo são retiradas para acesso ao bem mineral a ser extraído. No método, este indicador é calculado através da razão entra a área sem cobertura vegetal e a área total requerida para extração mineral junto ao DNPM (área da poligonal requerida ao DNPM). O indicador pode ser calculado pela eq. (1).

$$SV = \frac{A_{SV}}{A_{POL}} \quad (1)$$

Onde:

SV = Indicador referente à área desprovida de cobertura vegetal;

A_{SV} = Área sem cobertura vegetal localizada dentro dos limites da área requerida ao DNPM (m²); e

A_{POL} = Área total requerida ao DNPM (m²).

Declividade média da área (D): a declividade é entendida como a inclinação do relevo em relação ao horizonte (VALERIANO, 2008). A declividade está diretamente ligada à velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, ou seja, quanto mais acentuada a declividade, maior é a velocidade das massas de água e, conseqüentemente, a sua capacidade de transporte (CREPANI et al., 2001).

Em alguns métodos de extração mineral podem ser criadas superfícies inclinadas, que contribuem para o transporte de sedimentos, acelerando a geração de processos erosivos e o assoreamento de cursos d'água, além da possível formação de áreas instáveis susceptíveis a deslizamentos e movimentos de massa. Esse indicador é determinado a partir do ângulo de inclinação média, medido em toda a área degradada. A Tabela 9.1 apresenta os valores a serem atribuídos ao indicador D, segundo Crepani et al. (2001).

Tabela 9.1 Valores de D segundo a declividade medida da área degradada.

Declividade (%)	Valores de D
<2	0
2 – 6	0,25
6 – 20	0,50
20 – 50	0,75
> 50	1,00

Fonte: Adaptado de CREPANI et al. (2001).

Processos erosivos (PE): em muitas áreas mineradas pode ocorrer o aparecimento de processos erosivos, principalmente associados à exposição do solo, à ação das chuvas e dos cursos hídricos. Os processos mais comuns são erosão laminar, em sulcos, ravinas e voçorocas; que podem provocar danos ambientais severos e de recuperação onerosa. O indicador PE é calculado através da razão entre o somatório dos comprimentos dos processos erosivos identificados por toda a área degradada e a metade do perímetro da poligonal requerida ao DNPM. Devem ser contabilizados apenas os processos mais marcantes e de fácil identificação como erosões em sulcos, ravinas e voçorocas, não levando em consideração a gravidade dos danos, mas apenas a sua continuidade e abrangência ao longo da área. O indicador é determinado conforme eq. (2).

$$PE = \frac{\sum_1^R LE}{\frac{1}{2} P_{POL}} \quad (2)$$

Onde:

PE = Indicador referente aos processos erosivos;

LE = Comprimento total dos processos erosivos identificados na área degradada (m); e

P_{POL} = Perímetro da área da poligonal requerida ao DNPM (m).

Área de APP degradada (DAPP): a remoção das áreas de APP durante o processo de exploração mineral constitui-se como um grave dano ambiental, modificando o fluxo hídrico local, destruindo ecossistemas e expulsando espécies de seu habitat. Entretanto, alguns tipos de extração são comuns em áreas de APP, como a extração de cascalho, de areia e de argila empregada na fabricação de cerâmica vermelha. Para aplicação do método ADAM, as áreas de APP serão delimitadas de acordo com a Lei n° 12.651 (BRASIL, 2012), que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa. A determinação deste indicador se dará através da razão entre o somatório das áreas de APP degradadas por processos de extração mineral e as áreas de APP inseridas dentro da área da poligonal aprovada pelo DNPM, de acordo com a eq. (3).

$$DAPP = \frac{\sum_1^R AD_{APP}}{APP_{POL}} \quad (3)$$

Onde:

DAPP = Indicador referente às áreas de APP degradadas;

AD_{APP} = Área de APP degradada pelo processo de extração (m²); e

APP_{POL} = Área de APP inseridas dentro da poligonal aprovada pelo DNPM (m²).

É relevante observar que segundo as eq. (2) e (3) é possível obter resultados acima do valor máximo estabelecido para determinação de qualquer um dos indicadores, isto é, maior que um (1). Neste caso, se o valor calculado superar o máximo pré-determinado, deve-se desconsiderar o valor calculado e atribuir ao indicador o valor máximo pré-estabelecido pelo método.

Área degradada fora da poligonal aprovada pelo DNPM (ADF): a poligonal definida pelo DNPM é a base para regular as atividades de extração mineral, além de ser utilizada para regular a área máxima a ser requerida, de acordo com cada regime de aproveitamento. Os processos de extração mineral realizados fora da poligonal são tidos como clandestinos, sendo passíveis da aplicação de diversas sanções administrativas e penais.

O valor deste indicador será calculado através da razão entre a medida da área degradada fora da poligonal aprovada pelo DNPM e a própria área da poligonal, multiplicando o resultado por 100, (porcentagem), sendo posteriormente comparado aos valores de tolerância máxima, estabelecidos segundo a Tabela 9.2.

Tabela 9.2 Valores de Tolerância à degradação fora da poligonal DNPM.

Área da poligonal DNPM (1.000 m ²)	Tolerância máxima (%)
< 10	7,00
10 – 100	2,50
100 – 200	1,60
200 – 300	1,25
300 – 400	1,00
400 – 500	0,80

Fonte: Autoria própria.

Os valores de tolerância máxima foram definidos de maneira dedutiva, levando em consideração a degradação que pode ser gerada durante a execução de operações auxiliares à extração mineral, tais como: abertura de acessos e estradas para transporte do bem mineral, construção de alojamentos, construção de terraços para evitar o alagamento da área, dentre outras. Neste caso, se a área degradada fora da poligonal exceder o limite máximo tolerável, o indicador receberá o valor máximo, caso contrário o indicador receberá o valor calculado.

O cálculo do indicador ADF é apresentada pela eq. (4).

$$ADF = \left(\frac{AF_{POL}}{A_{POL}} \right) * 100 \quad (4)$$

Onde:

ADF = Indicador referente à área degradada fora da poligonal (%);

AF_{POL} = Área degradada fora da poligonal DNPM (m²); e

A_{POL} = Área total da poligonal requerida ao DNPM (m²).

Para a determinação dos pesos relativos de cada indicador, utilizou-se o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) (SAATY, 1991). Na Tabela 9.3 são apresentados os critérios de importância relativos à análise de cada par de indicadores.

Tabela 9.3 Análise pareada dos indicadores de degradação ambiental.

Indicadores	Importância relativa	Indicadores
Processos erosivos (PE)	2	Área degradada fora da poligonal (ADF)
Processos erosivos (PE)	2	Área de APP degradada (DAPP)

Continua

Tabela 9.3 Análise pareada dos indicadores de degradação ambiental. (Continuação)

Indicadores	Importância relativa	Indicadores
Processos erosivos (PE)	3	Área sem cobertura vegetal (SV)
Processos erosivos (PE)	5	Declividade média (D)
Área degradada fora da poligonal (ADF)	2	Área de APP degradada (DAPP)
Área degradada fora da poligonal (ADF)	3	Área sem cobertura vegetal (SV)
Área degradada fora da poligonal (ADF)	4	Declividade média (D)
Área de APP degradada (DAPP)	3	Área sem cobertura vegetal (SV)
Área de APP degradada (DAPP)	4	Declividade média (D)
Área sem cobertura vegetal (SV)	3	Declividade média (D)

Fonte: Autoria própria.

De posse dos resultados obtidos pela análise paritária entre indicadores, desenvolveu-se a matriz pareada conforme o Método *AHP*. Na Tabela 9.4 são apresentados os pesos calculados para cada indicador ambiental, os quais representam a contribuição de cada indicador para a avaliação da degradação da área minerada.

Tabela 9.4 Pesos calculados pelo método *AHP*.

Indicador	Peso calculado
Processos erosivos (PE)	0,365
Área degradada fora da poligonal (ADF)	0,265
Área de APP degradada (DAPP)	0,205
Área sem cobertura vegetal (SV)	0,109
Declividade média (D)	0,055

Fonte: Autoria própria.

Utilizando-se os resultados dos pesos obtidos para cada um dos cinco indicadores de degradação ambiental, pode-se determinar o Índice de Degradação da Área Minerada (IDAM), o qual pode ser calculado através da eq. (5).

$$\text{IDAM} = 0,365\text{PE} + 0,265\text{ADF} + 0,205\text{DAPP} + 0,109\text{SV} + 0,055\text{D} \quad (5)$$

Onde:

IDAM = Índice de Degradação da Área Minerada (0 – 1,0).

Após calculado, deve-se comparar o resultado obtido com os valores apresentados na Tabela 9.5, que associa o IDAM com o nível de degradação ambiental da área. Esta tabela foi desenvolvida para classificar a degradação, permitindo que o resultado seja relacionado com o tempo (avaliação a longo prazo) ou a comparação entre áreas distintas. Foram criadas cinco classes de degradação ambiental variando entre degradação muito baixa até degradação muito alta.

Tabela 9.5 Classificação da degradação ambiental de áreas mineradas.

Valor do IDAM	Classificação
0 – 0,2	Degradação muito baixa
0,2 – 0,4	Degradação baixa
0,4 – 0,6	Degradação média
0,6 – 0,8	Degradação alta
0,8 – 1,0	Degradação muito alta

Fonte: Autoria própria.

O método ADAM possui como uma das principais vantagens a possibilidade de se utilizar dados adquiridos de diversas formas para o cálculo dos indicadores, como por exemplo: medições em campo através de equipamentos topográficos manuais, automatizados e/ou GPS; análise de imagens de satélite ou radar; análise de relatórios do desenvolvimento e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD); dentre outros; o que o torna simples e eficiente.

Dentre as diversas áreas utilizadas para extração de agregados minerais do município de Catalão, identificou-se uma requerida ao DNPM para extração de cascalho, distante, aproximadamente, 6,5 km do centro urbano. A área possui 4,78 ha e está localizada a noroeste de Catalão apresentando as coordenadas geográficas: 7.994.088,094 m S e 184.707,751 m E, que representam o centroide da área. De acordo com registros encontrados no site do DNPM, o licenciamento foi autorizado em 06/10/2011, entretanto, relatos de moradores próximos à área indicam que as atividades de extração só se iniciaram em meados de julho de 2012 e se encerraram por volta de maio de 2013.

Os dados utilizados para calcular a degradação ambiental pelo método ADAM foram coletados em duas etapas: visitas de campo e aquisição de dados geográficos via *download* pelo website do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) e ao website do DNPM.

Durante a fase de coleta de dados realizaram-se duas visitas. A primeira foi dedicada ao reconhecimento da área e à criação de um registro fotográfico, apontando principalmente os impactos ambientais identificados. Durante a segunda visita foram demarcados 75 pontos de coordenadas geográficas com o auxílio de um aparelho GPS da marca Garmin®, modelo GPSMAP 60CSx. Os pontos foram demarcados ao redor de toda área degradada e também ao longo dos processos erosivos identificados. Os arquivos foram processados no *software* Arcgis® 10.1 e a partir dos pontos demarcados foi gerado o polígono referente à área sem cobertura vegetal e as linhas referentes aos processos erosivos.

Os dados referentes aos cursos d'água de todo território goiano foram importados do *website* do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás e, após geoprocessamento, foram geradas as áreas de APP próximas à área experimental.

Os dados de altimetria da área foram inferidos através do *software* Google Earth®. Foram adicionados 80 marcadores, em forma de malha, espalhados por toda a área degradada objetivando uma amostra representativa para a determinação da declividade média da área. Os dados coletados foram exportados para o *software* Datamine Studio 3D®, no qual se gerou um modelo de superfície digital (DTM). A partir deste, criou-se curvas de nível a cada 0,5 m.

Na sequência, foi gerado o mapa de sobreposição. As variáveis necessárias para o cálculo dos indicadores ambientais SV, PE e ADF foram determinadas utilizando a ferramenta *Calculate Geometry* (Arcgis® 10.1) aplicada à tabela de atributos de cada arquivo vetorial. Para calcular a declividade média da área degradada, utilizou-se a ferramenta *Querylines* (Datamine Studio 3D®), ao longo do modelo de curvas de nível gerado a partir de pontos demarcados no Google Earth®.

Aplicando-se os valores dos parâmetros nas eq. (1), (2), (3) e (4) e comparando o resultado calculado de D com a Tabela 9.1 e o resultado de ADF com a Tabela 9.2, determinou-se o resultado de cada indicador de degradação ambiental referente à área experimental em estudo.

3 Discussão e resultados

O mapa contendo a área sem cobertura vegetal e as linhas referentes aos processos erosivos pode ser visualizado na Fig. 9.1. A altimetria e o modelo digital do terreno podem ser observados nas Fig. 9.2A e 9.2B.

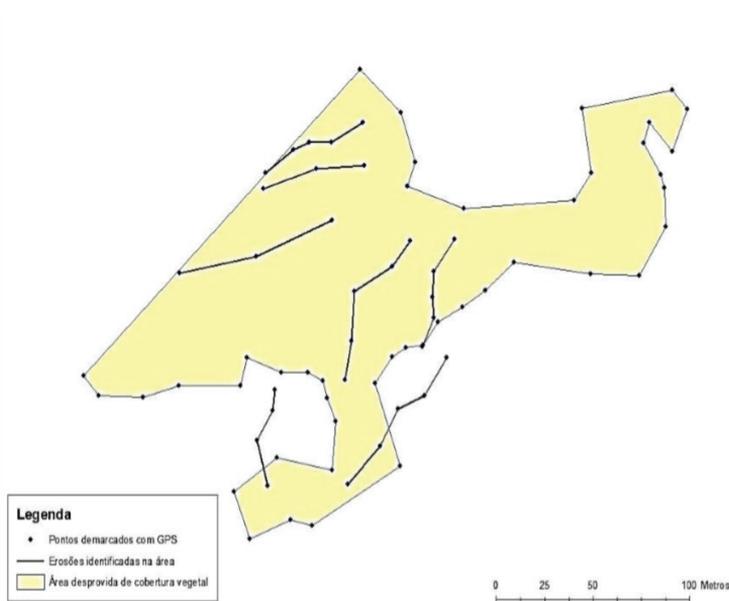


Figura 9.1 Mapa gerado a partir dos dados processados.

Fonte: Autoria própria.

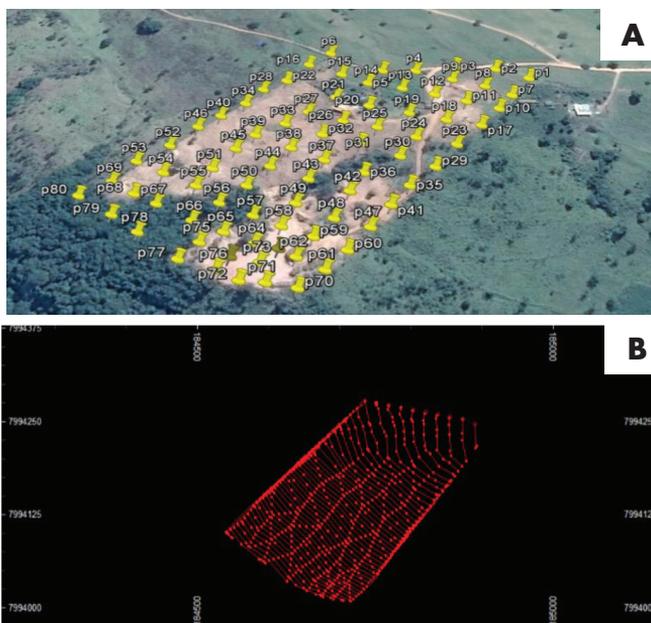


Figura 9.2 Altimetria e modelo digital do local de estudo.

Fonte: Autoria própria.

A declividade média calculada da área de estudo é de 6,92% e quando comparada com a Tabela 9.1, se refere a um valor de D de 0,50.

O mapa de sobreposição, com o indicador ambiental DA_{APP} , resultou em zero, pois constatou-se que as áreas de APP não foram degradadas.

Na Tabela 9.6 são apresentados os resultados dos parâmetros utilizados no cálculo dos indicadores do método ADAM.

Tabela 9.6 Valores dos parâmetros do método ADAM.

Parâmetro	Valor
A_{POL} (m ²)	47.802,69
P_{POL} (m)	906,36
A_{SV} (m ²)	14.739,99
LE (m)	447,37
DA_{APP} (m ²)	0,00
AF_{POL} (m ²)	8.132,53
APP_{POL} (m ²)	2.056,15

Fonte: Autoria própria.

Analisando a Tabela 9.6, nota-se que aproximadamente 31% do total da área encontra-se sem nenhum tipo de cobertura vegetal, justificando os mais de 440 m lineares de processos erosivos. Ainda, a área degradada fora da poligonal DNPM representa, aproximadamente, 17% reforçando a necessidade de uma fiscalização mais atuante.

Na Tabela 9.7 são apresentados os resultados dos indicadores do método ADAM.

Tabela 9.7 Valores dos Indicadores de Degradação Ambiental.

Indicador	Valor
Processos erosivos (PE)	0,99
Área degradada fora da poligonal (ADF)	1,00
Área de APP degradada (DAPP)	0,00
Área sem cobertura vegetal (SV)	0,31
Declividade média (D)	0,50

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados apresentados pela Tabela 9.7, nota-se que os processos de degradação ambiental mais atuantes na área se devem aos processos de extração mineral fora da área da poligonal aprovada pelo DNPM (ADF) e aos processos erosivos (PE), respectivamente.

Aplicando a eq. (5), obteve-se um valor de IDAM igual a 0,687. Dessa forma, aplicando a Tabela 9.5, a área de estudo foi classificada em “Degradação Alta”, evidenciando que as atividades de recuperação ambiental da área não foram executadas de maneira satisfatória.

Por se tratar de uma área próxima ao centro urbano, acredita-se que o processo de gestão ambiental público foi insatisfatório, principalmente quanto à fiscalização da implantação e da execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), o qual seria responsável por proporcionar o controle dos danos ambientais gerados durante a atividade de extração mineral.

Ainda, através da aplicação do método, identificou-se que as operações de extração mineral de cascalho excederam uma vasta área além daquela regulamentada e delimitada para exercício dessas atividades, evidenciando uma inconformidade grave, a qual deveria ser observada tanto pelo órgão ambiental competente quanto pelo DNPM.

Considerações finais

O método desenvolvido para avaliar a degradação ambiental ocasionada pela extração mineral, denominado ADAM, demonstrou-se ser eficaz. Entre as vantagens observadas durante a aplicação do método, destacam-se: a facilidade de aplicação; a facilidade durante a aquisição de dados; a possibilidade de se utilizar dados coletados através de diferentes mecanismos; o resultado padronizado, possibilitando a avaliação isolada de áreas degradadas em relação ao tempo e em relação a outras áreas; e foco quantitativo na avaliação dos impactos ambientais.

Os resultados obtidos com a aplicação do método podem ser utilizados durante as fases de planejamento, execução e fiscalização do PRAD, apontando a evolução da recuperação da área em estudo. Além de facilitar a identificação dos principais impactos, auxilia no desenvolvimento de ações para neutralizá-los. Este tipo de ferramenta pode assessorar a gestão pública ambiental e territorial, que demandam tempo e recursos financeiros para serem controlados e mitigados.

A área estudada apresentou um Índice de Degradação da Área Minerada igual a 0,687, correspondendo a uma degradação ambiental alta. Sabendo que as análises foram realizadas após o término da exploração, constata-se que as atividades de recuperação ambiental não apresentaram resultados satisfatórios ou que o processo de fiscalização ambiental, quanto à execução do PRAD, não garantiu a sua recuperação.

Referências

- ABNT. NBR 9935: **Agregados – terminologia**. Rio de Janeiro, 2011. 12p.
- ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. (Ed.). **Manual de agregados para construção civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 245p.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. 292p.
- BRASIL. **Lei nº 12.651/2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. 34p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 103p.
- CUNHA F. L. S. J. **O uso de indicadores de sustentabilidade ambiental no monitoramento do desenvolvimento agrícola**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2003. 85p.
- FERREIRA. C. J.; BROLLO. M. J.; UMMUS. M. E.; NERY. T. D. Indicadores e quantificação da degradação ambiental em áreas mineradas, Ubatuba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, volume 38, 2008. 12p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Populacional 2013**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso: 10 de agosto de 2016.
- IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da economia mineral brasileira**. 7ª ed. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2012. 68p.
- QUARESMA. L. F. **Agregados para construção civil. Perfil de areia para construção civil**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2009. 33p.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGrawHill_Makron, 1991. (Versão ampliada e revisada por Wainer da Silveira e Silva, do original em inglês *The Analytic Hierarquic Process*, Pittsburg, USA: R WS Publications, 1980).

SEGPLAN. **Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento**. Disponível em: www.segplan.go.gov.br. Acesso em: 15 ago. de 2016.

