

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

Guilherme Braga Brandani

**MODELAGEM ESPACIAL PARA ANÁLISE DA RESTRIÇÃO AMBIENTAL PARA
A EXPANSÃO URBANA EM ITABIRA/MG**

Belo Horizonte
2018

Guilherme Braga Brandani

**MODELAGEM ESPACIAL PARA ANÁLISE DA RESTRIÇÃO AMBIENTAL PARA
A EXPANSÃO URBANA EM ITABIRA/MG**

Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia
da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção ao título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Organização do Espaço

Orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Ferreira Lobo

Coorientador: Prof. Dr. Bráulio Fonseca Magalhães

Belo Horizonte

2018

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa à Deus e à minha Família, em especial à minha avó Anália Braga de Souza.

AGRADECIMENTOS

À DEUS.

Agradeço minha mãe, Margareth, meus irmãos, meu pai, Hamilton, e minha companheira de crescimento Gabriela. A paciência e o apoio de vocês foram fundamentais. Aproveito esta oportunidade para homenagear minha querida avó Anália Braga de Souza. Agradeço o amor, as orações, os ensinamentos. Obrigado por tudo!

Ao meu orientador Prof. Carlos Fernando Ferreira Lobo, pela paciência e pelos ensinamentos nestes dois anos de pesquisa árdua. Ao meu co-orientador e amigo Prof. Bráulio Fonseca Magalhães, por toda a paciência, teoria, amizade e ensinamentos.

Aos colegas e professores do Programa de Pós-graduação em Geografia e do Programa de Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da UFMG.

Ao meu amigo Fabiano Érico Vieira de Souza por me auxiliar durante as etapas do mestrado.

“Todo grande progresso da ciência resultou de uma nova audácia da imaginação”.

John Dewey

IV

RESUMO

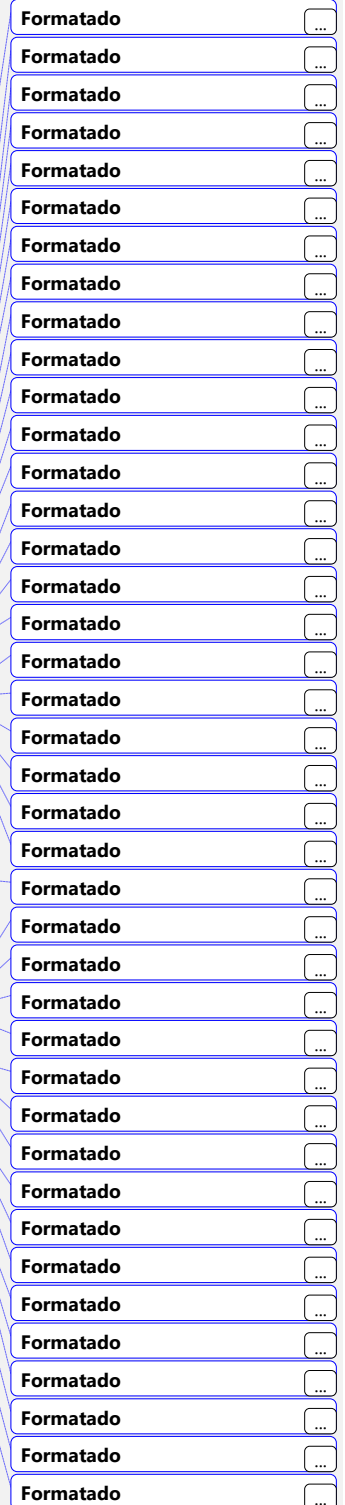
Na atualidade verifica-se, cada vez mais, a necessidade de ponderar fatores que influenciem no processo de ocupação do espaço, e que, não raro, são descartados pelas leis de licenciamento ou por falta de estudos mais aprofundados no que se refere a identificação de áreas restritas à expansão urbana. No Brasil, a expansão urbana acelerada tem gerado conflitos socioambientais de diversas ordens. Por isso, com o intuito de aprofundar esta temática, desenvolveu-se este trabalho que tem como objetivo propor um método, com base na Análise de Incerteza (AI), na Análise de Sensibilidade (AS) e de uma avaliação multicritério, capaz de avaliar os níveis de restrição ambiental à expansão urbana no município de Itabira-MG. As análises de incerteza e de sensibilidade tem por finalidade avaliar a robustez dos resultados obtidos nas avaliações de multicritério; com isso, este tipo de análise permite identificar o quanto cada critério interfere na incerteza dos resultados. O procedimento metodológico adotado baseou-se nas seguintes etapas: definição do objeto de estudo; seleção das variáveis; tratamento; classificação e ponderação das variáveis; utilização do método de Delphi; utilização do método de análise hierárquica de pesos (AHP); descrição e comparação das vantagens e desvantagens dos métodos; análise multicritério; método de Monte Carlo e proposição do modelo. Foi possível, com o resultado do modelo, identificar os níveis de restrição ambiental à expansão urbana no município. Foram identificadas áreas que possuem nível de restrição *Alto*, mas com *Baixa* incerteza do resultado, indicando que não é de interesse a ocupação urbana nestas áreas. Foram identificadas, também, áreas que possuem nível de restrição *Alto* e com *Alta* incerteza no resultado, indicando que para uma melhor resposta do modelo, nestas áreas, seria importante fazer novas investigações e, se preciso, alterações no modelo, como por exemplo, inserir ou trocar variáveis na análise. Foram identificadas, ainda, áreas que possuem nível de restrição *Baixo*, mas com *Alta* incerteza do resultado, são áreas consideradas menos restritivas. Por fim, foram observadas áreas que possuem níveis de restrição *Baixa* e com *Baixa* incerteza do resultado, significando que, nestas áreas, não há dúvida no resultado e elas podem ser consideradas as mais aptas a expansão urbana, conforme os conceitos e métodos abordados neste trabalho. Com isso, associado ao estudo das políticas públicas, formuladas e já implementadas, a metodologia de representação proposta mostra-se uma ferramenta útil para auxiliar as políticas de gestão e planejamento urbano, com

propósito de prevenir e mitigar as situações de risco e vulnerabilidade do espaço no município de Itabira-MG.

Palavras-chave: Análise de Incerteza, Análise de Sensibilidade, Simulação de Monte Carlo, Análise de Multicritérios.

ABSTRACT

Nowadays, there is a growing need to consider the various factors that influence the process of occupation of space, which are often discarded by permitting laws or through the lack of in-depth studies on the identification of areas restricted to urban expansion. In Brazil, accelerated urban expansion has generated various orders of socioenvironmental conflict and, in order to delve deeper into this issue, this paper aims to propose a method, based on Uncertainty Analysis (UA) and Sensitivity Analysis (SA), that allows for a multicriteria evaluation of the levels of environmental restriction to urban expansion in the municipality of Itabira, Minas Gerais. The uncertainty and sensitivity analyses aim to assess the robustness of the results from the multicriterial evaluations, which, in turn, makes it possible to identify how much each criterion interfered in the uncertainty of the results. The method was based on the following steps: defining the object of study, selecting variables, treatment, classifying and weighting the variables, using the Delphi method, using the hierarchical weight analysis method (WAM), describing and comparing the advantages and disadvantages of the different methods, multicriteria analysis, the Monte Carlo method, and proposing the model. With the result of the model, it was then possible to identify the levels of environmental restriction to urban expansion in the municipality. Areas with a *high* restriction level were identified, but with *low* uncertainty of the result, indicating that urban occupancy in these areas is not of interest. Areas with a *high* restriction level and *high* uncertainty in the result were also identified, indicating that in order to better respond to the model in these areas, it would be important to carry out additional investigations and, if necessary, makes changes in the model, such as inserting or changing variables in the analysis. Areas with a *low* restriction level, but a *high* uncertainty of the result, are considered considered less restrictive areas. Lastly, areas with *low* levels of restriction and a *low* uncertainty of the result were identified, meaning that there is no doubt in the result in these areas; thus, these areas can be considered the most suitable for urban expansion, considering the concepts and methods addressed in this study. With that in mind, in addition to the study of public policies that have been formulated and already implemented, the proposed representation method is a useful tool to assist urban planning and management policies, aimed at preventing and mitigating risk situations and the vulnerability of space in Itabira.



Key words: Uncertainty Analysis, Sensitivity Analysis, Monte Carlo Simulation, Multicriteria Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Limites do município e área urbana de Itabira/MG

Figura 2: Limites dos distritos e área urbana de Itabira/MG

Figura 3: População Economicamente Ativa (PEA), rural e urbana, no município de Itabira/MG, 1970 a 2000

Figura 4: Participação do PIB do Município e do PIB da Microrregião.

Figura 5: Distribuição percentual do PIB do município de Itabira, conforme setores de atividade econômica (medido em mil R\$) – 1999 a 2009

Figura 6: Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) em Minas Gerais e no município de Itabira/MG

Figura 7: Tipos de Solos no município de Itabira – MG

Figura 8: Condições ambientais dos domicílios urbanos distrito Sede no município Itabira/MG

Figura 9: Resumo metodológico

Figura 10: Mapa de APP's Total no município de Itabira/MG

Figura 11: Mapa de Unidades de Conservação no município de Itabira/MG

Figura 12: Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Itabira/MG (Landsat 8)

Figura 13: Esquema demonstrando o cálculo de RDE

Figura 14: Estimador de intensidade de Kernel

Figura 15: Fluxograma de Obtenção do ICR e do Índice de HACK

Figura 16: Mapa de Geomorfologia, conforme Índice de Hack + ICR no município de Itabira/MG

Figura 17: Mapa de Geologia do município de Itabira/MG

Figura 18: Tabela de AHP

Figura 19: Variáveis Analisadas Normalizadas

Figura 20: Níveis de restrição ambiental para à expansão urbana em Itabira/MG - Método Delphi

Figura 21: Nível de restrição ambiental para a expansão urbana em Itabira/MG - Método de AHP

Figura 22: Análise de multicritérios para avaliação da Restrição Ambiental à Expansão Urbana no município de Itabira/MG

Figura 23: Nível de restrição ambiental, conforme a análise de multicritérios, à baixo o resultado da análise de incerteza

Figura 24: Análise de incerteza associada à avaliação da Restrição Ambiental à Expansão Urbana

TABELAS

TABELA 1: Participação do PIB municipal, comparado ao PIB da microrregião

TABELA 2: Pesos Finais - Método Delphi e Método de AHP

TABELA 3: Pesos atribuídos durante a aplicação do questionário Delphi

TABELA 4: Análise de sensibilidade da

TABELA 5: Sugestão final

TABELA 6: Análise quantitativa da restrição ambiental à expansão urbana

TABELA 7: Cotejo Simplificado do Rank STD & Rank AVG

TABELA 8: Análise quantitativa da Incerteza da Restrição Ambiental à Expansão Urbana

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Conceitos básicos na análise de multicritério

QUADRO 2: Origem dos Entrevistados – Método Delphi

QUADRO 3: Formação dos Entrevistados – Método Delphi

QUADRO 4: Matriz de comparações paritárias

QUADRO 5: Escala Fundamental de Saaty

QUADRO 6: Matriz de Comparações Paritárias

QUADRO 7: Razão de Consistência

QUADRO 8: Vantagens e Desvantagens do Método Delphi

QUADRO 9: Vantagens e Desvantagens do Método de AHP

QUADRO 10: Associação dos valores das Análises de Multicritérios e de Incerteza

LISTA DE ABREVIATURAS

APA - Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

AMC - Análise de Multicritério

AHP - Análise Hierárquica de Pesos

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CVDR - Companhia Vale do Rio Doce

CPDS - Câmara de Políticas dos Recursos Naturais do Conselho de Governo, a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DPP - Domicílios Particulares Permanente

EFMV - Estrada de ferro de Minas-Vitória

FNMA - Fundo Nacional do Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF - Instituto Estadual de Florestas

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA - Índice de Qualidade das Águas

MMA - Ministério do Meio Ambiente

ONG - Organização Não Governamental

PEA - População Economicamente Ativa

PIB - Produto Interno Bruto

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIG - Sistema de Informação Geográfica

UPGRH - Unidades de Planejamento a Gestão de Recursos Hídricos

UFLA - Universidade Federal de Lavras

ZPA - Zona de Adensamento Preferencial

AI – Análise de Incerteza

AS - Análise de Sensibilidade

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

1 A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E A EXPANSÃO URBANA: DILEMAS E CONTRADIÇÕES NA ATUALIDADE	5
1.1 O CRESCIMENTO URBANO E A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: A REALIDADE E O DISCURSO	10
1.2 O PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO: ANTIGOS E NOVOS DESAFIOS	12
2 - O MUNICÍPIO DE ITABIRA/MG: DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	<u>16</u> <u>15</u>
2.1 AS CONDIÇÕES NATURAIS E O ESPAÇO URBANO DE ITABIRA/MG	<u>26</u> <u>25</u>
3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: VARIÁVEIS E MÉTODOS UTILIZADOS	<u>33</u> <u>32</u>
3.1 SELEÇÃO, TRATAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	<u>35</u> <u>34</u>
3.1.1 Processos de Geração e individualização das categorias de APP's.....	<u>36</u> <u>35</u>
3.1.2 Unidades de Conservação.....	<u>39</u> <u>38</u>
3.1.3 Uso e ocupação do solo.....	<u>39</u> <u>38</u>
3.1.4 Geomorfologia: parâmetros geomorfométricos (Índice de Hack e ICR)	<u>44</u> <u>43</u>
3.1.5 Geologia.....	<u>49</u> <u>48</u>
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITERIAL	<u>51</u> <u>50</u>
3.2.1 Método Delphi	<u>52</u> <u>51</u>
3.2.2 Método de Análise Hierárquica	<u>56</u> <u>55</u>
3.2.3 Análise de Incerteza (AI) e Análise de Sensibilidade (AS)	<u>63</u> <u>61</u>
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	<u>69</u> <u>67</u>
4.1 MODELOS DE RESTRIÇÃO AMBIENTAL: DELPHI E AHP	<u>69</u> <u>67</u>
4.2 MODELOS DE ANÁLISE DE INCERTEZAS E SENSIBILIDADE: RESULTADOS DA SMC	<u>73</u> <u>71</u>
4.3 Avaliação das incertezas e da sensibilidade, associados às análises de multicritérios	<u>77</u> <u>75</u>
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	<u>82</u> <u>80</u>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	<u>84</u> <u>82</u>
APÊNDICE 01 – QUESTIONÁRIO DELPHI	<u>92</u> <u>90</u>
APÊNDICE 2 - MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS	<u>93</u> <u>91</u>

INTRODUÇÃO

Desde o início da atividade humana, os impactos sobre o meio ambiente fazem parte da nossa história. Com os processos de industrialização e urbanização, os problemas ambientais tomaram proporções cada vez maiores e, conseqüentemente, a preocupação com a qualidade de vida nas cidades também aumentou, tornando assim, de grande valia o estudo aprofundado e o entendimento das relações entre a problemática ambiental e a expansão urbana. O espaço urbano tem como característica marcante a crise ambiental. Acreditou-se, por um longo tempo, que o crescimento das cidades e das atividades industriais proporcionaria à humanidade melhores condições de vida. Contudo, junto a esse crescimento, resultado dos avanços tecnológicos e da globalização, ocorreram uma série de problemas ambientais. Então, desde a Revolução Industrial, ainda que o crescimento urbano tenha trazido diversos benefícios econômicos, persistem inúmeras conseqüências ambientais.

Segundo Sposito (1997), o processo de urbanização pode ser entendido como uma transformação na estrutura da sociedade capitalista, caracterizada pela transformação de áreas naturais e rurais em espaços urbanos, em função de toda a infraestrutura social, política e econômica. Portanto, está encravada, na origem da cidade, a complexidade da organização social, possível apenas com a divisão técnica do trabalho e, conseqüentemente, a diferenciação social.

A ocupação do espaço, de forma mal planejada, continua provocando discussões em como conseguir um equilíbrio entre as ações praticadas pela sociedade e o espaço natural. O fenômeno urbano, composto por sucessivos procedimentos de mudança na estrutura da sociedade capitalista, seria resultado das modificações antrópicas sobre o meio físico no transcorrer dos anos, tornando-se, desse modo, objeto de estudo de vários pesquisadores, na tentativa de aferir, diagnosticar, compreender e prevenir as implicações dessa ocupação humana sobre o espaço natural, assim como sua dinâmica temporal (GONÇALVES; GUERRA, 2009). Desta forma, os problemas socioambientais crescem na mesma dimensão que a concentração populacional, o que cria uma apertada associação entre as questões ambientais e a expansão do tecido urbano. O crescimento da população urbana é um dos principais problemas que envolve o crescimento das cidades, a desigualdade social e a problemática ambiental, que se torna

inerente ao sistema econômico e à deficiência de ações sociais, políticas e econômicas planejadas.

No caso da urbanização no Brasil, a população urbana passou de 19 milhões para 138 milhões na segunda metade do século 20, multiplicando-se 7,3 vezes, com uma taxa média anual de crescimento de 4,1%. Há uma estimativa populacional que, a cada ano, nessa última metade de século, 2.378.291 habitantes foram acrescentados à população urbana (IBGE, 2017). Parte do crescimento demográfico urbano brasileiro é explicada pelo intenso fluxo migratório do tipo rural-urbano. Essa maciça redistribuição da população, favorável às cidades (principalmente às cidades metropolitanas), contribuiu para definir um novo perfil de ocupação do território brasileiro. A falta de planejamento das políticas públicas, no que se refere à criação de medidas de ordenamento no processo de ocupação, resulta em uma série de problemas de caráter socioambiental (IBGE, 2017).

A expansão urbana apresenta, em geral, uma relação direta com os problemas relacionados ao meio ambiente. Quanto maior a população, considerados os diferentes padrões de produção e consumo, maior tende a ser a produção de resíduos gerados. Deste modo, tem-se um maior nível potencial de degradação ambiental, devido à redução da capacidade do meio ambiente em assimilar a imensa carga de resíduos nele lançados. É importante destacar, contudo, que as políticas públicas que visam a conscientização e a preservação do meio ambiente também são fundamentais, embora inúteis quando não são acompanhadas de medidas fiscalizadoras.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como OBJETIVO propor uma metodologia/modelo, com base nos conceitos de Análise de Incerteza (AI) e Análise de Sensibilidade (AS) associados à técnica de Análise Multicriterial (AM), capaz de estimar/avaliar os níveis de restrição ambiental à expansão urbana no município de Itabira-MG. Para tanto, foi selecionado um conjunto de cinco variáveis: (1) APP TOTAL (APP Topo de Morro, APP Hídrica e APP de Nascente), (2) Unidade de Conservação de Proteção Integral e (3) Uso e Ocupação do Solo, (4) Geomorfologia (representada pelo índice HACK-ICR) e (5) Geologia, cuja análise agregada permitiu a composição de indicadores do nível de restrição ambiental. Com base nessas variáveis, a metodologia proposta fundou-se nas seguintes etapas: definição do objeto de estudo; seleção das variáveis; tratamento; classificação e ponderação das variáveis; utilização

do método de Delphi; utilização do método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP); descrição e comparação das vantagens e desvantagens dos métodos; análise multicriterial; método de Monte Carlo e proposição do modelo. Para atingir esse objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar, mapear e analisar as variáveis ambientais que permitem caracterizar as condições ambientais nas regiões de restrição à expansão urbana, utilizando técnicas de geoprocessamento;

- Elaborar e aplicar o questionário Delphi para ponderar cada variável de entrada para a elaboração do modelo;

- Elaborar e aplicar método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP);

- Utilizar da álgebra de mapas (Análise Multicriterial), por meio dos métodos de Delphi e de AHP, para agregar as informações específicas de cada variável;

- Analisar comparativamente os resultados para avaliar as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos (Delphi e AHP);

- Estimar os parâmetros dos modelos que representem as áreas de maior e menor restrição à expansão urbana no município de Itabira-MG;

- Utilizar método de Monte Carlo para avaliação do nível de sensibilidade e incerteza de cada variável utilizada.

Justificativa importante para a proposta desse trabalho refere-se a necessidade de aprimoramento metodológico, representado pelas superfícies geradas pelo método de Delphi e o método de AHP, as quais possibilitam uma análise mais adequada e apurada de um conjunto de indicadores capazes de avaliar os graus de restrição à expansão urbana. Os resultados deste trabalho também podem ser úteis nos seguintes aspectos:

(1) ferramenta de auxílio na tomada de decisões públicas e dos órgãos de planejamento urbano, visando a minimização da ocupação urbana em áreas inadequadas pelas limitações naturais e legais;

(2) a disponibilidade de um acervo de dados georreferenciados e de análises que podem ser objeto de reflexão acadêmica;

(3) a obtenção de uma base de dados na orientação de processos futuros de planejamento de expansão territorial no município.

Ao avaliar os limites ambientais, mesmo que restritos a um conjunto de variáveis, referentes a uma realidade espacial e história específicas, é possível apresentar indicadores capazes de auxiliar o planejamento ambiental urbano, dado esperado processo de crescimento do tecido urbano observado. O fenômeno de expansão das cidades, em geral, apresenta forte associação com os problemas relacionados ao meio ambiente. Situação está explicada pelo maior nível potencial de degradação ambiental em função da redução da capacidade do meio ambiente em assimilar a imensa carga representada pelas necessidades de produção e consumo, bem como pelos resíduos das diversas atividades humanas. Nesse aspecto, é importante destacar a necessidade de políticas públicas que visam a conscientização e a preservação do meio ambiente, bem como a necessária existência de medidas fiscalizadoras.

1 A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E A EXPANSÃO URBANA: DILEMAS E CONTRADIÇÕES NA ATUALIDADE

Ao longo da evolução humana, observa-se que as alterações na natureza decorrentes da ação antrópica têm causado danos recorrentes ao meio ambiente. O processo de degradação do meio ambiente se confunde, portanto, com a própria origem do homem. Contudo, as ações mais agressivas ganharam maior impacto a partir da revolução industrial (século XVIII), quando o processo de degradação da natureza se intensificou e a atividade produtiva ganhou nova dimensão. Com isso, as descobertas científicas e tecnológicas, no século XIX, proporcionaram ao homem possibilidades mais amplas de exploração da natureza (CARVALHO, 2003).

Como forma de resposta social e política surgem no século XIX as primeiras organizações ambientalistas. Em 1865 na Grã-Bretanha, seguida pelos Estados Unidos e África do Sul em 1883. Depois, no século XX, surge a Pro Natura, na Suíça, em 1909. No mesmo ano, os europeus criaram a Comissão Consultiva para a Proteção Internacional da Natureza, assinada por 17 países. Contudo, com o começo da Primeira (ou Segunda) Guerra, a comissão foi esquecida (McCORMICK, 1992). Desde então, a sociedade tem sido surpreendida por vários problemas socioambientais de dimensões cada vez maiores, devido à falta de prevenção e a má conduta estabelecida pelos seres humanos. No entanto, somente no período pós-guerra, em meados do século XX, a conscientização da proteção ao meio ambiente espalhou-se pelo mundo, por via das entidades não governamentais. (PRESAS, 2012)

De acordo com McCormick (1992), na década de 50 surge o movimento ambientalista dos cientistas que se preocupavam com a poluição dos rios, gerada por indústrias. Em meados de 1960, o movimento ambientalista das ONG's começou a ganhar notoriedade pelo grande número de obras literárias que divulgavam a preocupação com a degradação da natureza, e também, pelas frequentes manifestações estudantis em defesa da natureza, na Europa e nos Estados Unidos. Na década de 70, no Brasil, a sociedade e o Estado eram os dois atores envolvidos no movimento ambientalista. Nos anos 80, o movimento passa a ser multissetorial, com a participação de diversos setores da sociedade, como empresas multinacionais, a sociedade civil, organizações não-governamentais (ONG's) e o Estado (PRESAS, 2012). Nesse

momento, foram criadas legislações para auxiliar o meio ambiente, dentre elas, a Lei Federal de nº 6.902 de 1981, que concede aos Estados a autoridade de criar áreas de Proteção Ambiental (APA's) e zonas de proteção ambiental (ZPA's).

Para conseguir um equilíbrio entre os processos de preservação ambiental e o desenvolvimento econômico, inúmeras possibilidades passaram a ser defendidas mundialmente, destacando-se na sociedade o conceito de desenvolvimento sustentável. A expressão “desenvolvimento sustentável” ganhou maior evidência no “Relatório de Brundtland”, divulgado em 1987 e elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas. De acordo com o texto do próprio relatório,

No mínimo, o desenvolvimento sustentável não deve pôr em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra: a atmosfera, as águas, os solos e os seres vivos. Na sua essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas (BRUNDTLAND, 1987).

O relatório de Brundtland acordava uma série de metas a serem seguidas por todas as nações, visando a preservação ambiental e o equilíbrio climático. Ao se implementar ações priorizadas pelo desenvolvimento sustentável, busca-se harmonia entre todas as partes no meio físico, sendo importante observar algumas regras, nacionais e internacionais, destacando também, a importância da participação política e social neste contexto. (PRESAS, 2012)

Considerando a evolução do ambientalismo no Brasil, a década de 90 foi importante para os brasileiros. Até então, os movimentos voltados para a preservação do meio ambiente se preocupavam com os problemas ecológicos, mas não os conectavam com a questão do desenvolvimento socioeconômico. Porém, com a consolidação de desenvolvimento sustentável, advindo do relatório de Brundtland, surge a Constituição Federal, de 5 de outubro de 1988, que representa um marco na legislação ambiental. A Constituição possibilitou um importante avanço para que acontecesse a reformulação das políticas e da legislação ambiental. Nessa Constituição, a primeira a tratar do meio ambiente, foi dispensado um capítulo inteiro para a proteção do meio ambiente, que foi o capítulo VI do Título VIII, com o artigo 225, seus parágrafos e incisos. Consagra-se o

direito a um meio ambiente saudável, equilibrado e íntegro para as gerações atual e futuras. (PRESAS, 2012)

A criação das leis federais e estaduais foi outro marco na questão ambiental no país. Entretanto, por si só, não resolvem os problemas ambientais. Políticas que conscientizem a população também vêm sendo cada vez mais expressivas, acentuando que a educação ambiental é importante nesta temática. Para se obter melhores resultados, é preciso repensar o planejamento do desenvolvimento econômico, dando ênfase a atender às necessidades básicas de toda a população e orientando os setores produtivos da economia a utilizarem tecnologias mais harmônicas, que garantam a preservação ambiental.

A sociedade moderna vem, então, criando tecnologias e ferramentas para explorar a natureza. Em teoria, todos os recursos deveriam ser utilizados de forma consciente, mas, infelizmente, não é o que acontece. O que se vê, na prática, é uma visão desagregada do ambiente. Os vários problemas, que afetam as populações em diversas partes do mundo, são, em sua maioria, causados pelo próprio homem. Considerando que a ordem ambiental pode ser definida como um evento transnacional, uma vez que pode ultrapassar as fronteiras nacionais, o sistema ambiental torna-se, dessa forma, um “problema” de todos. Logo, o agravamento dos problemas ambientais pode ser definido pelos seguintes fatores: o crescimento demográfico acelerado e de forma desordenada, a urbanização que se dá de forma irregular e não planejada, emissão de gases prejudiciais à atmosfera, exploração excessiva de recursos naturais, contaminação do ambiente por produtos tóxicos e utilização de técnicas e mecanismos mais agressivos ao meio ambiente. (PRESAS, 2012)

Diante disso, observa-se, cada vez mais, a importância da produção de conhecimento e a proposição de planejamento eficaz das atividades antrópicas no meio ambiente. Conforme destaca Monteiro (2008, p.3) “nas cidades, o que importa, acima de tudo, é considerar o volume e intensidade das mudanças que têm ocorrido nos últimos anos, de tal modo revestidas de complexidade, o que faz com que a necessidade de ‘planejamento’ seja levada em consideração apesar de suas inegáveis limitações e dificuldades”.

Conclui-se, portanto, que o planejamento é um importante meio para mitigar e prevenir ações antrópicas que prejudiquem o meio ambiente. Contudo, este

“planejamento” deve ser feito em duas etapas relacionadas: a primeira etapa é o planejamento prévio, realizado anterior a qualquer intervenção no meio ambiente; a segunda etapa é o monitoramento em que é verificado se as atividades propostas no planejamento prévio estão sendo satisfatórias, ou seja, além de planejar é importante também monitorar as atividades que envolvem este planejamento, podendo assim ter mais eficácia nas medidas de prevenção estabelecidas. Monteiro (2008) também destaca que “os espaços urbanizados cresceram em tamanho e complexidade”. Sendo assim, quanto maior a expansão das cidades, se não houver o planejamento, maior a tendência de que ocorram mais problemas socioambientais.

A evolução do pensamento ambientalista no Brasil ganha novo patamar com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) em 1992. A difusão dos princípios do chamado desenvolvimento sustentável pelo Brasil, nos anos seguintes à conferência, “parece ter sido a incorporação, pelo poder público local em vários municípios e estados da federação, de novos conceitos de desenvolvimento” (CORDANI *et al.*, 1997), neste caso, da concepção de desenvolvimento sustentável.

Após a CNUMAD tem-se a Agenda 21, resultado da chamada Rio-92 que, segundo Born (2004, p. 87), configurou “um acordo que não cria vínculos legais que tornam sua implementação mandatória para os atores (países) que a assinaram”. Logo após a Rio-92 foram fundados inúmeros processos de implantação de Agendas 21 pelo mundo. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Agenda 21 pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis. Este instrumento pode ser analisado em diferentes bases geográficas, que compõe métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica. É visto como um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do país e para consolidá-lo foi feita uma intensa consulta à população brasileira. Quando é implementada a Agenda 21 em um determinado território, ocorre ali um fórum que é constituído por representantes do governo e da sociedade civil, responsável pela construção de um Plano Local de Desenvolvimento Sustentável, que estrutura as prioridades da região por meio de projetos e ações de curto, médio e longo prazos. No fórum são definidas as responsabilidades, do governo e da sociedade civil local, na implementação, acompanhamento e revisão desses projetos e ações.

Após a realização da conferência, oito cidades brasileiras já haviam implantado as conjecturas da Agenda 21: São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Angra dos Reis, Porto Alegre, Vitória e Santos (RABELO, 2003). Em 2002, totalizavam 225 experiências, entre as municipais, estaduais e regionais. Atualmente, esses números foram atualizados pela Coordenação da Agenda 21, que evidenciou, até então, 544 iniciativas, o que indica um aumento do número catalogado até 2002, e 68 vezes mais que no ano de 1996. Na atualização destes números estão incluídos os 64 projetos aprovados pelo Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), em 2003, que estão em processo de assinatura de convênio para sua implementação (RABELO, 2003).

Assim, podemos destacar que o processo de construção da Agenda 21 brasileira teve início em 1996 e foi concluído em 2002, contando com a contribuição de quase 40.000 pessoas (SILVA, 2009). Segundo Born (2004) sua implementação coincidiu com o início da presidência de Luís Inácio Lula da Silva, que firmou o decreto presidencial, no âmbito da Câmara de Políticas dos Recursos Naturais do Conselho de Governo, a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS), que deveria acompanhar a implantação do Desenvolvimento Sustentável em escala nacional. Nesse aspecto, a Conferência do Rio de Janeiro se tornou um processo de gestão ambiental e a Agenda 21 se consolidou como o documento básico para a política ambiental no país. Para sua implantação os investimentos considerados pela secretaria da conferência foram estimados em cerca de US\$ 600 bilhões anuais entre 1993 e 2000, mas não se materializaram (ELLIOTT, 2006). Segundo Rattner (2002), os esforços gastos entre 1992 e 2002, quando ocorreu a Cúpula de Joanesburgo, para a efetivação dos avanços reais no cumprimento das metas da Agenda 21 não foram satisfatórios. A Cúpula se consolidou globalmente como modelo para a construção do desenvolvimento sustentável, de forma multiescalar, reafirmando sua condição de ideologia.

Como destaca Lobo (2011), ao romper com o conflito existente entre os desenvolvimentistas e os ecologistas, o conceito de desenvolvimento sustentável logrou alcançar uma suposta obviedade: a de desenvolver e preservar. Com isso, esse conceito assume um papel de adaptador das novas condições do crescimento econômico, amoldando-se às novas condições ecológicas e sociais. Desta forma, as estratégias apresentadas baseiam-se exatamente na reprodução dos modelos recentes de desenvolvimento, centrados em padrões econômicos que reproduzem as condições de desigualdade social e degradação ambiental.

Contudo, o desenvolvimento sustentável favorece um discurso aparentemente amigável, que ao desbancar as discussões acadêmicas e as formulações políticas dos desenvolvimentistas, apresenta uma tentativa de harmonizar desenvolvimento econômico com preservação ambiental (COSTA, 1994). Segundo Guimarães (1993), neste momento, ainda não havia avanços na busca por soluções definitivas para solucionar os chamados “problemas ambientais”. Apesar dos evidentes esforços na tentativa de implementação das chamadas políticas de desenvolvimento sustentável, poucos destes resultados eram considerados realmente eficazes.

De forma geral, as políticas ambientais ainda são bem limitadas e exclusivas, deixam de lado os conflitos e as contradições presentes na sociedade moderna, pois “o desenvolvimento sustentável requer mais do que a preservação ambiental” (LOBO, 2011). Dessa forma, não se deve apenas focar na preservação do meio ambiente, as vidas humanas devem ser revalorizadas e incluídas nesta temática, possibilitando novas e melhores perspectivas futuras.

1.1 O CRESCIMENTO URBANO E A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: A REALIDADE E O DISCURSO

Nos dias atuais, a expansão urbana assume novos caminhos provenientes de mudanças importantes na vida cotidiana, e coloca novos desafios para o planejamento urbano e regional. No Brasil, a partir da segunda metade do século XX, uma rápida transição urbana transformou rapidamente um país rural e agrícola em um país urbano e metropolitano, no qual grande parte da população passou a residir em cidades grandes. As cidades adotaram diferentes papéis na rede urbana: as cidades maiores assumiram o papel de centro decisório e as cidades de porte médio eram os elos com os pequenos centros. A produção em larga escala levou a construção da sociedade de consumo em massa (SPOSITO, 2001).

Atualmente, a valorização do meio ambiente na esfera das ações sociais é relevante, pois a questão ambiental passou a ser entendida como causa e efeito das decisões que orientam as transformações do ambiente urbano. Se por um lado, temos uma demanda crescente pelas melhores condições e qualidade de vida, por outro lado, temos um crescente aumento na pressão sobre o consumo do espaço urbano. No país, as

alterações nas políticas urbanas tiveram destaque entre as décadas de 1970 a 1990, devido a expansão da economia e do processo de industrialização. Neste contexto, as áreas caracterizadas como urbanas tornaram-se o centro econômico e social da sociedade.

Nas cidades, a expansão das áreas urbanas possui uma relação direta com a mobilidade urbana. Segundo o Ministério das Cidades, a mobilidade urbana pode ser definida como a facilidade com que o deslocamento de pessoas e bens são realizados no interior do espaço urbano. Assim, para que estes deslocamentos possam ocorrer, há a intensa e cotidiana utilização de toda uma infraestrutura necessária a eles, como veículos, vias e o espaço urbano como um todo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005). Portanto, a mobilidade urbana envolve, não só os chamados meios de transporte, como também, a interação de pessoas e bens com o próprio espaço físico e simbólico existente nas cidades.

A mobilidade residencial (deslocamento dos locais de moradia da população) e a mobilidade urbana cotidiana (os longos percursos da moradia até os locais de trabalho, estudo, lazer e comércio) está relacionada entre si, tornando-se formas de dominação. Tal como o crescimento descentralizado e, muitas vezes, desordenado, a centralização de atividades de comércio, locais de trabalho e lazer geram diversos problemas ao desenvolvimento e dinâmica das cidades modernas. Tais processos, fazem com que os novos bairros se distanciem ainda mais dos centros urbanos, gerando uma crescente demanda pela construção de novas ruas e avenidas que interliguem essas regiões, bem como a necessidade de deslocamento diário dos moradores, os quais, na maioria dos casos, percorrem grandes distâncias e desperdiçam grande parte do seu tempo diariamente. (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005). Com isso, as capitais brasileiras têm enfrentado diversos problemas relacionados a expansão urbana. E isso tem acontecido porque, há muito tempo, nossas cidades crescem sem que exista uma política para a expansão urbana, que pense no interesse dos cidadãos e não privilegie apenas as grandes indústrias e os interesses capitalistas.

O ciclo de expansão da urbanização pode ser compreendido a partir da década de 70. A urbanização e o termo urbano devem ser analisados através da combinação dos fatores econômicos, políticos, sociais e culturais, cujas transformações geram a configuração do espaço urbano. Desta maneira, a cidade se tornou uma forma de

organização social, de especialização do trabalho e de atividades econômicas. É necessário analisar as características e as relações econômicas, sociais e ambientais, seja de um estado, de um município ou de uma região, para que se possa compreender sua dinâmica de crescimento e sua repercussão no processo de urbanização e no tamanho das cidades (COSTA e BRAGA, 2004).

Portanto, os desafios, nos dias atuais, são que as cidades criem condições de vida considerada “aceitável”, não intervindo negativamente no meio ambiente e agindo preventivamente para evitar a continuidade do nível de degradação. Trata-se de uma realidade complicada e heterogênea, na qual as cidades coexistem, simultaneamente, com os problemas que caracterizam uma realidade de pobreza. Ocupações irregulares de áreas ambientalmente frágeis, problemas relacionados com padrões elevados de consumo, poluição do ar e aumento do volume de resíduos sólidos são alguns desses problemas (COSTA e BRAGA, 2004). Sendo assim, torna-se cada vez mais urgente reflexões e ações para transformar nossas cidades mais sustentáveis ambientalmente. Segundo Jacobi (1999), a noção de sustentabilidade implica uma necessária inter-relação entre justiça social, qualidade de vida, equilíbrio ambiental e a necessidade de desenvolvimento. Isto representa a possibilidade de garantir mudanças sociopolíticas que não comprometam os sistemas ecológicos e sociais, nos quais se sustentam as comunidades. É evidente a complexidade desse processo de modificação de cenário urbano, diretamente afetado por riscos e agravos socioambientais.

1.2 O PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO: ANTIGOS E NOVOS DESAFIOS

Atualmente, devido os efeitos da expansão urbana e suas consequências relacionadas as questões ambientais, o planejamento ambiental tem adquirido maior relevância e as soluções de curto prazo, não raro, ao invés de resolver o problema, terminam por contribuir para seu agravamento. Ressalta-se, dessa forma, a importância do Planejamento Urbano e Ambiental junto à Gestão Municipal. Para Di Sarno (2004) o planejamento é instrumento necessário à adequada ordenação do espaço urbano, sendo que:

[...] o planejamento urbanístico deve traduzir metas para o setor público e privado, pretendendo a transformação dos espaços, ou o estímulo a certas atividades, ou a manutenção de determinadas áreas para que, vista no conjunto, a cidade se equilibre nas suas múltiplas funções (DI SARNO, 2004, p. 55).

Logo, o planejamento urbano tem como objetivo: ordenar, articular e equipar o espaço de maneira racional, direcionando a malha urbana, assim como suas áreas ou zonas, a determinados usos e funções. Além disso, ele se baseia na compreensão de que somente ocorre de forma correta se houver todas as fases de desenvolvimento técnico: levantamentos e diretrizes, projeto, execução e reanálise. (PHILIPPI *et al.*, 2004)

Acsegrad *et al.* (2002) afirmam que “a aplicação da noção de sustentabilidade ao debate sobre o desenvolvimento das cidades exprime um duplo movimento de ‘ambientalização’ das políticas urbanas e de introdução das questões urbanas no debate ambiental”. O crescimento e a expansão das áreas urbanizadas no Brasil têm desconsiderado aspectos como a prevenção dos riscos geológicos e hidrológicos, o que tem gerado transtornos à sociedade e ao meio ambiente (BAPTISTA *et al.*, 2005, p.02). Para evitar tais transtornos, o planejamento tem que contemplar a interdisciplinaridade do meio urbano e a perspectiva de soluções em longo prazo.

Por isso, o planejamento urbano ambiental é processo importante para os centros urbanos atualmente, auxiliando na ocupação racional e no equilíbrio ambiental. Não deve ser desvinculado das políticas de desenvolvimento, pois está diretamente relacionado à qualidade de vida. Recentemente, o uso das geotecnologias assume relevância crescente ao planejamento ambiental urbano, configurando como uma ferramenta indispensável na produção de informações geoespacializadas. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) permitem criar uma base de dados espaciais, trabalhar com informações de variadas fontes e integrar dados que apresentam diferentes escalas (SILVA, 2012). Os SIG's representam um conjunto de ferramentas de grande valia para aquisição, gerenciamento e manipulação de dados referentes ao espaço, possibilitando assim, uma maneira mais eficaz e detalhada para se fazer a análise urbana e ambiental. Autores como Pereira e Silva (2001) enfatizam que:

A maior parte das tomadas de decisões por órgãos de planejamento e gestão urbana envolve um componente geográfico diretamente ou por implicação, daí a importância que as tecnologias de Geoprocessamento adquirem para a moderna gestão da cidade. (PEREIRA e SILVA, 2001, p. 105)

Posto isso, o presente trabalho apresenta um estudo para identificar áreas com restrição à expansão urbana no município de Itabira-MG, baseado na Análise Multicriterial, por meio de cinco variáveis “chaves” para mapeamento da restrição à expansão urbana, que são: *geomorfologia, uso e ocupação do solo, geologia, APP Total (Hidrográfica, Nascente e Topo de Morro) e unidades de conservação de proteção integral*.

O município de Itabira, localizado na porção centro-oeste do estado de Minas Gerais, tem como carro chefe da economia a atividade minerária. Considerando que a mineração é uma das atividades econômicas mais antigas e que sua exploração tem expressivos impactos no meio, o planejamento ambiental deve assumir notoriedade na gestão pública municipal desse recurso. Os conflitos gerados pela mineração exigem um constante monitoramento na condução das atividades e exploração, a fim de que sejam evitadas situações de impasse (Silva, 2001). Segundo Calaes *et al.* (2008), “o aumento dessas situações de conflitos, efetivos e potenciais, confirma a necessidade de se ter um planejamento estratégico efetivo e comprometido com a sustentabilidade ambiental, de forma a fornecer todos os ajustes para as políticas públicas de Ordenamento Territorial, para o aperfeiçoamento da exploração e o bom emprego dos recursos minerais”.

No caso da empresa mineradora Companhia Vale do Rio Doce (CVDR), conhecida como Vale S.A, parece improvável que aconteça exploração sem provocar alterações nos recursos naturais, sendo, portanto, necessário o controle total da área para mitigar essas alterações. Além disso, é necessário destacar todas as partes interessadas (social, econômica, cultural e histórica) que são atingidas pela exploração dos recursos. Como ressalta Raffestin (1993), “o território é a essência da disputa, ou seja, controlar o território significa mais que usar o recurso, significa dominar determinada área geográfica, recursos e indivíduos ali presentes”. Essa disputa territorial pode ser observada na necessidade de exploração da atividade minerária. Os conflitos sociais e territoriais, no entorno da mineração, se intensificam nos períodos de expansão da extração, quando as corporações reivindicam mais espaço, iniciando um novo processo de negociação (COELHO *et al.*, 2001). As mineradoras que são apoiadas pelo Estado, defendem a expansão da exploração para novas áreas, enquanto os grupos atingidos (com o apoio do sindicato, ONGs e ambientalistas) reivindicam posições e decisões

mais eficazes que possam viabilizar uma justa compensação das perdas e ameaças ao meio ambiente.

Quando o assunto é a apropriação do espaço urbano, pode-se destacar várias contradições em nível prático e social, principalmente nas necessidades de mercado que conduzem as relações sociais e de produção. Em Itabira são evidentes essas contradições sucedidas pela atividade minerária. Sendo assim, é de grande importância avaliar em que medida o espaço urbano do município pode ser fragilizado.

2 - O MUNICÍPIO DE ITABIRA/MG: DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Itabira/MG localiza-se na porção centro-oeste do estado de Minas Gerais (Figura 1), inserido na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e na microrregião de Itabira, conforme regionalização do IBGE. Seus limites territoriais estão enquadrados no retângulo geográfico definido pelas longitudes 43° 33' 47"W a oeste e 43° 04' 07"W a leste e pelas latitudes 19° 37' 47"S a sul e 19° 34' 39"S a norte. A área total do município é de 1.254,49 km², sendo composta por três distritos: o distrito sede que possui uma área de 705,82 Km², o distrito de Senhora do Carmo (área de 285,21 Km²) e o distrito de Ipoema (área de 262,65 Km²) (Figura 2). As principais vias de acesso ao município são as rodovias BR-120 e a MG-129 (esta última como acesso à BR-381). Itabira tem limites com os municípios de João Monlevade, Bela Vista de Minas, Nova Era, Bom Jesus do Amparo, Nova União, Jaboticatubas, Itambé do Mato Dentro, Santa Maria de Itabira e São Gonçalo do Rio Abaixo; Itabira se situa a, aproximadamente, 104 quilômetros de Belo Horizonte. Está inserida dentro da formação geológica do Quadrilátero Ferrífero, que envolve uma área de 7.000 km², na zona centro-meridional do Estado de Minas Gerais.

Em sua origem, o município pertencia à Comarca de Vila Rica. Foi descrito, pela primeira vez, com a chegada do padre Manoel do Rosário e de João Teixeira. A origem do povoamento aconteceu por volta de 1720, quando os primeiros a circularem na cidade eram bandeirantes que se instalaram nos arredores do Ribeirão da Penha e passaram a explorar ouro. Neste período, foram construídas as primeiras habitações do povoado. Embora haja registros da existência de atividades manufatureiras em Itabira desde os primeiros anos do povoamento, somente no final do século XIX e início do século XX, instalaram-se na cidade duas fábricas de tecidos: Gabiroba (1897) e Pedreira (1917), cuja produção era vendida na região, potencializando, de certo modo, a economia do município (SOUZA E SILVA, 2004). Contudo, somente em fins do século XVIII é que foram descobertas as minas de ouro de Conceição, Itabira e Santana, que deram nova vida à povoação e atraíram garimpeiros. Itabira se torna independente e é elevada a categoria de cidade, com a Lei provincial nº 374, de 1848. A partir do século

XIX, a estrutura urbana de Itabira era semelhante à de outras cidades mineiras nascidas durante o ciclo do ouro em Minas Gerais.

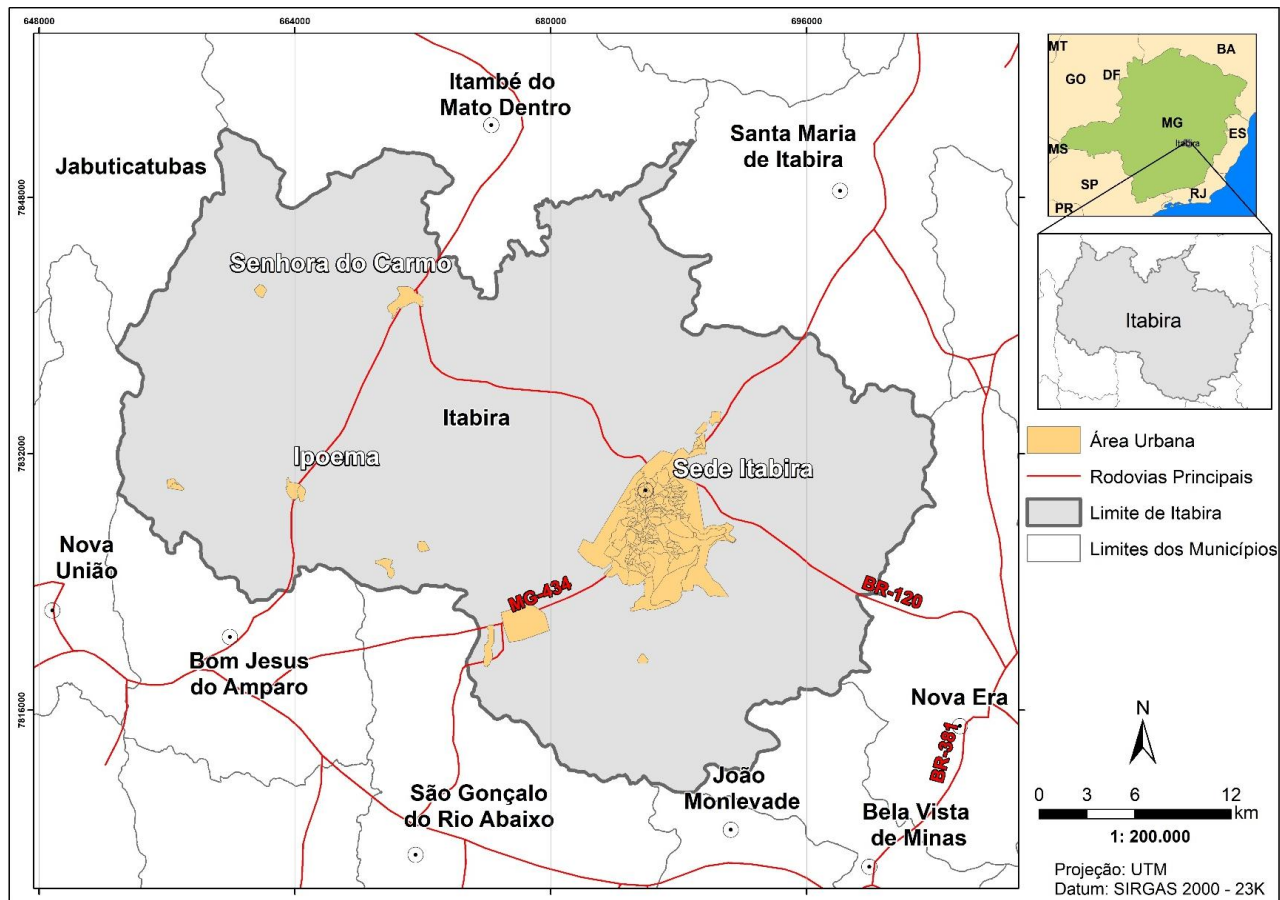


Figura 1: Limites do município e área urbana de Itabira/MG

Fonte: IBGE, 2010

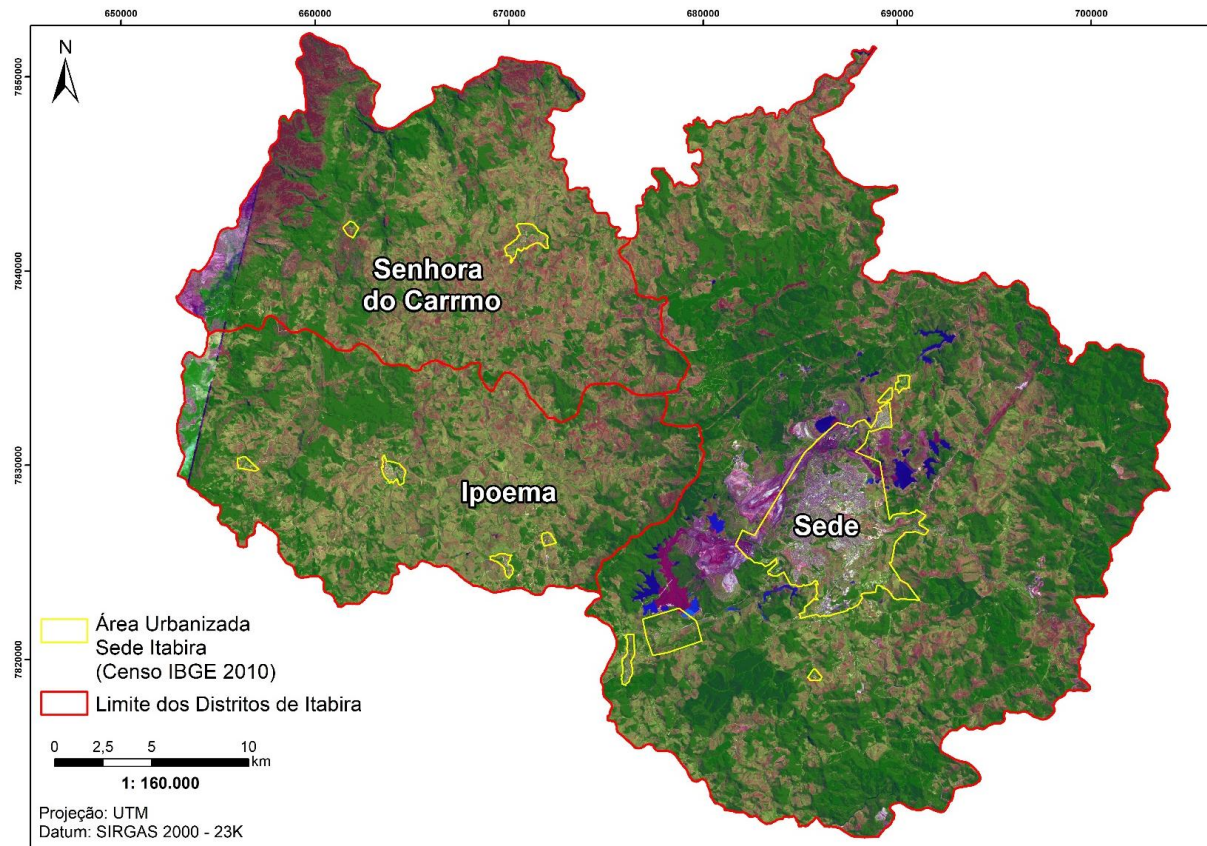


Figura 2: Limites dos distritos e área urbana de Itabira/MG
Fonte: IBGE, 2010

A existência do minério de ferro na região de Itabira foi apresentada no Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, no Congresso Internacional de Geologia, realizado em Estocolmo em 1910 (PIMENTA, 1981). Após o congresso em Estocolmo, o interesse pelas jazidas minerais da região cresceu. Com isso, grupos de empresários ingleses, com o auxílio de técnicos brasileiros, compraram as jazidas de ferro na região, que garantia aos proprietários do solo, a posse das minas existentes no subsolo, fossem eles brasileiros ou estrangeiros.

Em Itabira, com o processo de instalação da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), a partir de 1942, o interesse de agentes econômicos aumentou de forma significativa, o que representou forte incremento na demanda de novas vagas de empregos para trabalhar na mineração. Dessa forma, as estruturas política, socioeconômica e urbana sofreram adaptações e se transformaram de acordo com as necessidades geradas pelo funcionamento da empresa mineradora. Com isso, a CVRD passou a exercer uma posição central no funcionamento do território e da economia em Itabira (SOUZA E SILVA, 2004). Todavia, a instalação da mineradora trouxe consigo o enfraquecimento da economia local, que nesta época era baseada na confecção de tecidos de algodão, na agricultura e na pecuária. Além disso, como os interesses da mineradora estavam voltados ao mercado internacional, a sua instalação significou também a reativação da estrada de ferro de Minas-Vitória (EFMV).

Com o aumento da capacidade de exploração da mineradora, a partir da década de 70, novos ramais foram construídos. E com a implantação de novas tecnologias de tráfego automatizadas, a EFMV se tornou uma das mais modernas linhas de ferro do mundo. Junto a estes fenômenos, com o início da exploração feita pela CVRD, as consequências no meio ambiente começaram a aparecer. Caracterizado como um dos símbolos da cidade, o Pico do Cauê foi completamente destruído (SOUZA e SILVA, 2004). Vale destacar, que em outros países do mundo a preocupação com os danos ao meio ambiente já era evidente, principalmente após o ano de 1972, quando aconteceu em Estocolmo, na Suécia, a primeira Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente; onde representantes de diversos órgãos, ambientais e políticos, estabeleceram paradigmas e parâmetros ambientais a serem seguidos.

Mediante os problemas ambientais, cada vez mais evidentes, entre as décadas de 80 e 90, e com o aumento da pressão da sociedade civil, foram ajuizadas duas ações civis públicas contra a mineradora, por “poluição atmosférica, degradação do meio ambiente e danos paisagísticos à cidade” (SOUZA e SILVA, 2004 p.130). A existência destas ações judiciais prejudicou a imagem da empresa, não só junto à população da cidade, mas também frente ao mercado internacional. A deteriorização da imagem pública da CVRD, em decorrência destas

ações civis, muda a postura da empresa em relação as questões ambientais, conforme explicam Tubino, Delvin e Yap (2011) “frente a uma pressão social, a CVRD procura manter uma imagem positiva”.

É importante ressaltar que nos anos 50 a CVRD já havia implantado os primeiros bairros no município, dando início ao processo de segregação e hierarquização espacial. A configuração estabelecida era a seguinte: os bairros que abrigavam empregados de menor qualificação profissional foram instalados nas proximidades das áreas de mineração e aqueles bairros destinados aos funcionários de nível técnico e superior, localizavam-se distante dessas áreas de mineração. Com o passar dos anos e com o aumento da demanda minerária na região próxima as minas, os bairros que antes estavam nas proximidades da mineradora foram destruídos, com o intuito de construir novas instalação de equipamentos industriais, construção de estradas e áreas destinadas para depósito de rejeito do processo minerário. (SOUZA E SILVA, 2004)

A relação adotada entre os municípios minerários e a cidade trazem mudanças importantes no espaço urbano. Seguindo a lógica da produção industrial capitalista estas mudanças vão sendo construídas e transformadas ao longo do tempo. As serras e picos do município acabam sendo desconfigurados pela atividade minerária, enquanto isso o espaço urbano das cidades é modificado em função das necessidades da mineradora. No município de Itabira essa realidade não foi diferente. Vários conjuntos habitacionais foram construídos pela CVRD, o que definiu o efeito da ação direta da mineradora na produção do espaço, bem como provimento de infraestrutura, de equipamentos urbanos e de serviços necessários ao seu funcionamento. O espaço urbano passou a ser produzido pela mineradora e em função de suas necessidades econômicas. Ele representa, para a mineração, não só o espaço físico da produção, mas constitui-se como uma das forças essenciais de produção. Como afirma Minayo “para a Itabira do ferro, o espaço é antes de tudo um componente fundamental”. (1986, p. 117)

Com o crescimento demográfico, a princípio, a política adotada pela mineradora era de construir os bairros operários e fixar a mão-de-obra diretamente empregada na cidade, mas com a demanda dos empregos terceirizados isso se tornou desnecessário. Como avalia Torres (2000) as empresas tendem a desfazer de seus imóveis, deixando de construir imóveis particulares e destruindo os outros que são desfavoráveis para a indústria. Com isso em Itabira bairros inteiros foram extintos.

Esse processo de compressão da malha urbana localizada próximo às minas, por meio da extinção de bairros, se deu de duas maneiras distintas: a primeira foi a destruição de três bairros operários: Vila Sagrado Coração de Jesus, na década de 1970; a Vila Conceição de Cima e um bairro operário adquirido da ACESITA e a Vila Cento e Cinco, na década de 1990 (SOUZA E SILVA, 2004). A segunda maneira foi a extinção de bairros da “cidade pública”, desapareceram parte da Vila Paciência e o Aglomerado da Camarinha, na década de 80. As estratégias e os efeitos dos dois modos de destruição de bairros diferenciaram-se em função da natureza da propriedade dos imóveis.

Mediante isso, conclui-se que a extração mineral possui, portanto, relação direta com a expansão da área urbana, tanto pela proximidade da lavra com a área construída, quanto pela história que está relacionada com a exploração econômica desse bem. Esse contexto traz consigo a sensação de inconveniência e desconforto para a população local. Há muito tempo a mineração causa danos ao meio ambiente e à população que, invariavelmente, é afetada pelos efeitos do processo minerário. Deste modo, o processo do desenvolvimento capitalista produz impactos positivos e negativos que afetam áreas distintas nos municípios. No caso do município de Itabira, em geral, as regiões e bairros localizados próximos à mineração foram afetados por efeitos negativos da atividade minerária, como a poluição dos rios e do ar e a degradação ambiental em geral.

Sendo assim, em Itabira essa degradação ambiental se fez presente desde o início da exploração mineral pela CVRD em 1942. Entretanto, como em outras regiões não havia na época a preocupação de harmonizar atividade econômica com a qualidade ambiental. Desta forma, como ocorria na maioria das empresas no Brasil até a década de 1970, a mineradora não possuía nenhum tipo de política ambiental voltada para a prevenção e a mitigação dos danos causados pela atividade minerária. Somente a partir da década de 70 a VALE inseriu programas de controle ambiental em suas minas, por pressão da sociedade civil e de empresas internacionais para as quais exportava sua produção. (SOUZA e SILVA, 2004)

Nesse mesmo período intensificou-se a expansão da malha urbana do município e iniciou-se a sua retração próxima às áreas a serem mineradas. Souza e Silva (2004) esclarecem que na década de 1970 ocorreu um “boom” da mineração provocando significativa expansão da ocupação urbana e com o aumento da preocupação com o meio ambiente, a partir da década de 80, a CVRD teve maior cuidado com os danos relacionadas ao meio ambiente da cidade, já que a empresa sofria cada vez mais a pressão da sociedade civil e de outros atores sociais.

Nos anos 80, a Vale modernizou suas instalações no setor minerário e a partir deste momento foi estabelecido o projeto programado de demissões voluntárias, não voluntárias e os incentivos a aposentadorias por tempo de serviço. Assim, o quadro de empregados da mineradora foi bastante reduzido. Ao mesmo tempo ocorreu a terceirização dos serviços, com resultado na redução de empregos, de salários e de investimentos no município. Foi grande a sensação de incerteza dos funcionários, a qual estavam acostumados, anteriormente, com uma situação de segurança e privilégios (SOUZA e SILVA, 2004). Nesta época, os impactos e os riscos se tornam cada vez mais evidentes, chamando a atenção não apenas da sociedade civil do município, mas também do Ministério Público, dos órgãos Estaduais e da imprensa.

É importante destacar, ainda, que o município de Itabira não saiu ileso da crise internacional de 2008, quando caiu a demanda internacional do minério de ferro. A mineradora se viu obrigada a cancelar a maioria dos contratos com suas maiores prestadoras de serviços. Todavia, atualmente, dada a demanda crescente da China por minério de ferro, a exploração mineral tornou-se viável novamente para a empresa Vale no município. Ela tornou-se uma das maiores mineradoras do mundo e suas atividades abrangem 38 países.

Faz-se necessário, ainda, apresentar outros dados sobre Itabira para compreender um pouco mais do município. A Figura 3 é referente à População Economicamente Ativa (PEA) do município. Observa-se que as áreas urbanas possuem mais trabalhadores que as áreas rurais, com diferenças em 1970 de 7.639, 1980 de 15.140, 1991 de 22.855 e em 2000 de 37.647 pessoas, evidenciando, assim, que o município tem aumentado, cada vez mais, a concentração de mão-de-obra em áreas urbanas.

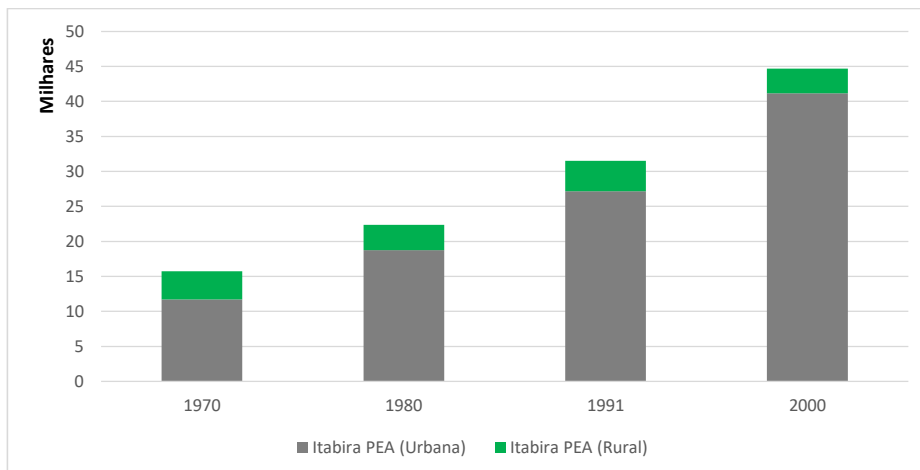


Figura 3: População Economicamente Ativa (PEA), rural e urbana, no município de Itabira/MG, 1970 a 2000

Fonte: IPEA data, 2010

A densidade demográfica do município de Itabira é de 87.57 habitantes por Km², apresentando uma extensão de 1.253,7 Km². Se comparado à extensão do estado de Minas Gerais (586.520,4 Km²) com densidade populacional de 33,41 habitantes por Km², Itabira é considerada um município de grande densidade populacional. (dados coletados no banco de tabelas estatísticas do IBGE, SIDRA, tabela 1301).

A Figura 4 permite observar o comportamento do PIB do município de 1999 até 2010. Nota-se que, no município de Itabira, o valor do PIB é crescente. Em 1999 com o valor de R\$ 997.132 e em 2009 com o valor de R\$ 3.415.340, segundo os dados do IBGE.

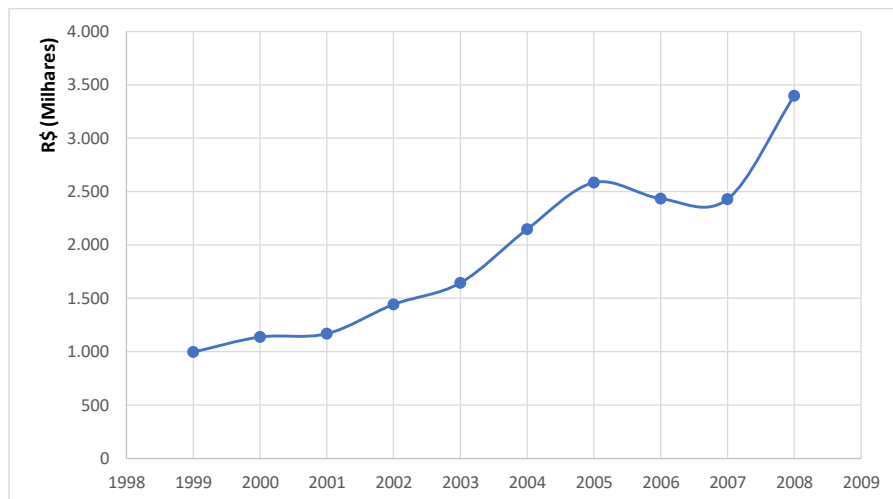


Figura 4: Produto Interno Bruto (PIB) do município de Itabira/MG, de 1998 à 2010

Fonte: IBGE, Censo Demográfico de 2010

Destaca-se ainda que a participação do PIB municipal, comparado ao PIB da microrregião representa, em média, 47,43% nos anos apresentados, conforme pode ser observado na Tabela 1.

TABELA 1: Participação do PIB municipal, comparado ao PIB da microrregião

Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Itabira (%)	48.88	47.99	47.28	49.39	48.63	47.36	49.11	45.85	42.82	44.80	49.63

Fonte: Pesquisa básica de municípios, IBGE, 2017

A Figura 5 mostra o PIB do município por setor de atividade econômica. Nos referentes 11 anos apresentados, as atividades agropecuárias não têm crescimento efetivo em Itabira, sendo que estas atividades são de subsistência para o abastecimento local. (PRESAS, 2012)

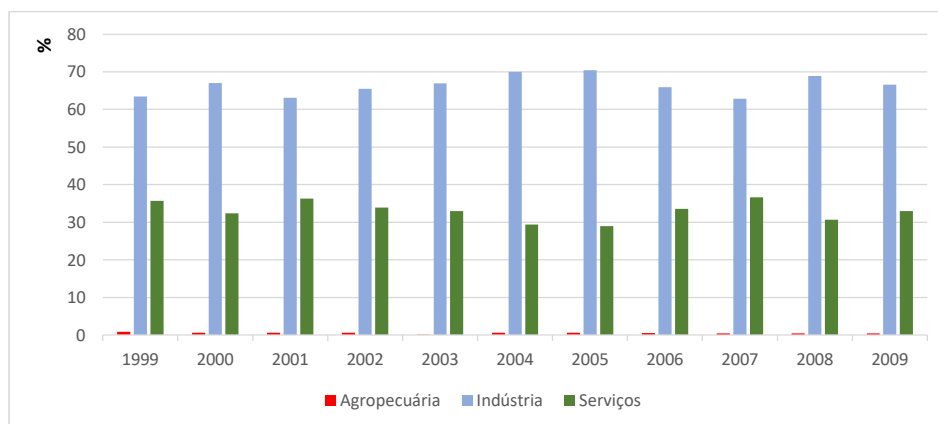


Figura 5: Distribuição percentual do PIB do município de Itabira, conforme setores de atividade econômica (medido em mil R\$) – 1999 a 2009

Fonte: Pesquisa básica de municípios, IBGE, 2017

Como foi possível observar, na Figura 6 acima, a indústria é o setor que possui o PIB mais alto no município, com crescimento de 363% de 1999 a 2009 e o maior aumento no setor industrial foi no período de 2007 (com o PIB de 1.469.699.53) para 2008 (com o PIB de 2.270.629.21.). O setor de serviços também se destaca na participação do PIB local do município, com crescimento de 363%, e valores de 857.143.56 no ano de 2007 e 1.011.141.70 em 2008. Este crescimento, nestes dois setores de atividades econômicas, evidencia a dependência dos serviços ao setor industrial, especialmente na indústria mineral.

Outro fator importante a ser destacado é o de que em 30 anos houve um aumento considerável da população urbana de Itabira, passando de 41.272 habitantes em 1970, para 89.703 habitantes. Atualmente, o município tem a maior população da microrregião, com 109.783 habitantes, conforme dados do último levantamento censitário do IBGE, em 2010. Desse contingente, 91,2% concentra-se em área urbana (IBGE, 2010). A densidade demográfica total em Itabira é de 87,4 habitantes por km².

2.1 AS CONDIÇÕES NATURAIS E O ESPAÇO URBANO DE ITABIRA/MG

O município de Itabira apresenta clima úmido, com precipitação média anual de 1.500 mm e temperatura média anual que oscila de 18° a 23° Celsius (CARVALHO *et al.*, 2008).

Está inserido na bacia hidrográfica do Rio Doce, que se divide em duas sub-bacias: a do rio Santo Antônio e a do rio Piracicaba. A bacia do rio Santo Antônio compreende 64% da área municipal; já a Bacia do rio Piracicaba representa 36% da área municipal (em destaque, temos o rio Santa Bárbara, que deságua no Rio Piracicaba). O município é cortado pelo córrego Água Santa, afluente do Rio do Peixe (MELO *et al.*, 1984). Na sub-bacia do rio do Peixe há expressiva concentração de cabeceiras de drenagens e nascentes, localizadas altimetricamente entre 1.000 a 1.200 m. Considerando a hierarquia da rede de drenagem, as sub-bacias atingem a quarta ordem. É importante destacar ainda, que o canal fluvial do rio Tanque que deságua no rio Santo Antônio está fora do limite municipal. Tendo como referência a base vetorial de Unidades de Planejamento à Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Itabira abrange áreas territoriais de duas bacias, a do Rio Piracicaba (D02) e a bacia do Rio Santo Antônio (D03), conforme representado na Figura 6.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba (D02) está localizada na Bacia do Médio Rio Doce. Possui uma população estimada de 687.851 habitantes e uma área de drenagem de 5.706 km², abrangendo 20 municípios mineiros. O Índice de Qualidade das Águas (IQA), considerando a sua média anual de 2005, foi classificado como *médio* em 100% das estações de amostragem do rio Piracicaba. Nos afluentes, predominou, igualmente, a tendência de IQA *Médio*. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba encontra-se em funcionamento (IGAM, 2005).

A bacia do Rio Santo Antônio (D03), que é um dos principais afluentes do rio Doce, possui uma área de drenagem de 10.798 km² e em torno de 187.976 habitantes, distribuídos em 29 municípios. Os principais cursos d'água que compõem essa bacia hidrográfica são: o rio Santo Antônio, o rio do Tanque, o rio Preto, o rio do Peixe e o rio Guanhães. A região noroeste da bacia caracteriza-se por apresentar fortes características de cerrado, podendo ser considerada como área de transição entre Mata Atlântica e cerrado. Ocorrem, também, campos rupestres e alguns tipos de campos limpos. O rio Santo Antônio, a montante da confluência com o rio Doce, apresentou em 2005 IQA no nível *Médio*. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio encontra-se em funcionamento. (IGAM, 2005)

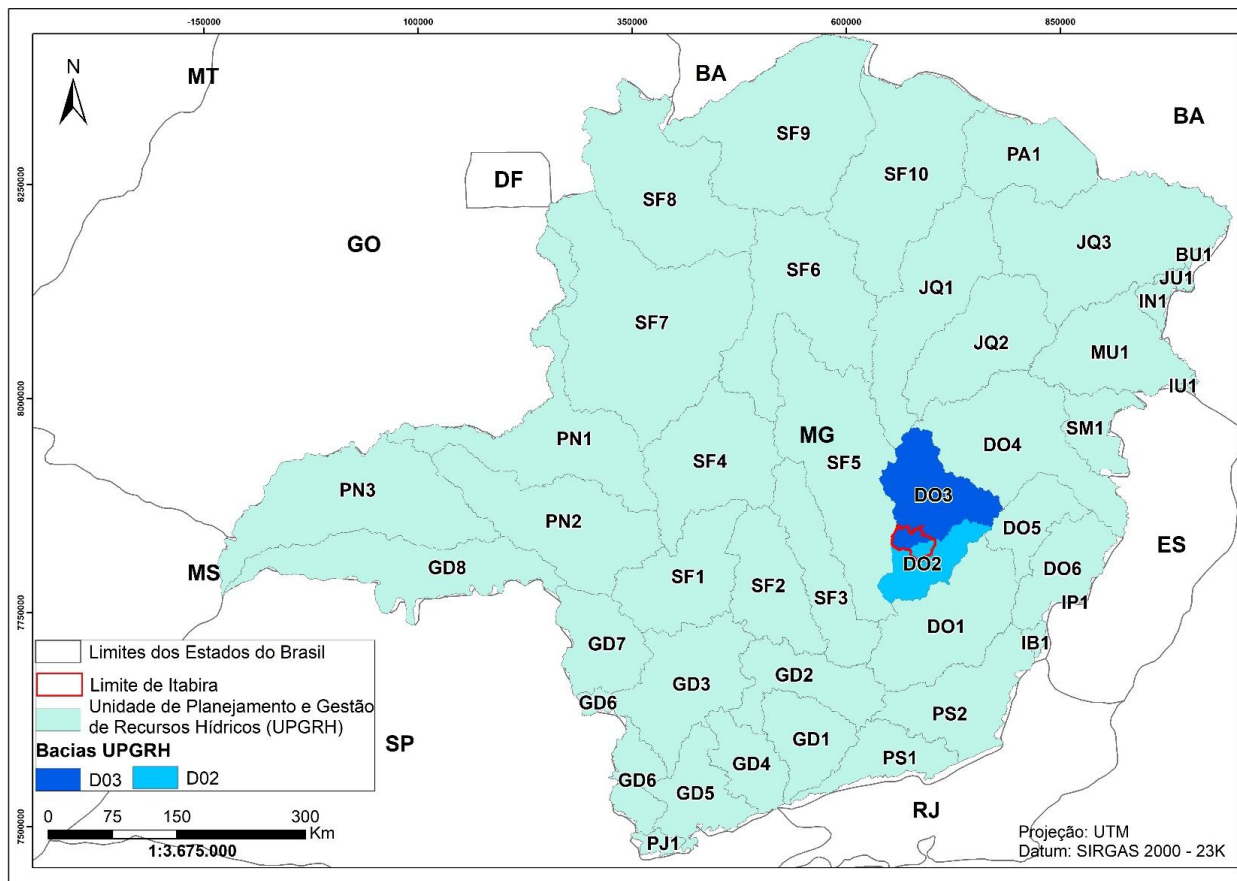


Figura 6: Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) em Minas Gerais e no município de Itabira/MG
 Fonte: Consulta base cartográfica UPGRH, 2017

Em Itabira encontram-se formações vegetais como: floresta estacional semidecidual, campos, campos rupestres, cerrado, áreas plantadas de eucalipto e pinus (IEF/UFLA, 2005). Em sua maior parte, a cobertura vegetal do município é originalmente revestida pela Mata Atlântica. Contudo, em sua porção oeste, próximo às encostas da Serra do Espinhaço, observa-se vegetação típica do cerrado, o que caracteriza esta faixa como uma zona de transição entre esses dois biomas (CARVALHO; BRASIL, 2009). Devido à dificuldade de acesso a algumas regiões do município ainda são encontradas importantes remanescentes florestais sobre as encostas de serras e nas diversas unidades de conservação que estão demarcadas na região (SILVA, 2007). Atualmente a cobertura vegetal do município é resultante da atuação humana sobre o meio ambiente, a cobertura vegetal original foi substituída pelas lavras de mineração, pelas pastagens e pelos reflorestamentos de eucaliptos. Conforme afirmam Silva *et al.* (2010) no município de Itabira, além da atividade minerária, há grande predomínio de pastagem, além de remanescentes florestais nativos e as plantações de eucalipto.

A base geológica do município, segundo Silva (2007, p. 42), está inserida no Quadrilátero Ferrífero, na província geotectônica do Cráton São Francisco, formada na era Paleoproterozóica, no período Sideriano do Supergrupo Minas. Envolve, também, o Surpergrupo Rio das Velhas, formado na era Meso a Neoarqueano. Lobato *et al.* (2005) esclarecem que responsáveis pelo mapeamento do Quadrilátero Ferrífero, na escala de 1:50.000, os terrenos do Paleoproterozóico apresentam granito, sienogranito, augen gnaisse granítico, filito, filito dolomítico, quartzito, dolomito impuro, filito grafitoso, itabirito dolomítico, metacalcário, metacalcário dolomítico, hematita compacta e friável. A era Mesoarqueano é representada pelas litologias ortognaisse, granodiorítico, granítico, entre outras. Nos terrenos Meso a Neoarqueano aparecem gnaisse, xisto anfibolítico, itabirito dolomítico, metacalcário, metacalcário dolomítico, filito, xisto metassedimentar, xisto metavulcânico.

Como representado na Figura 7, elaborado pela CPRM, em escala de 1:250.000, ocorrem no município de Itabira cinco principais tipos de solos. Cabe observar que as áreas onde se encontram as cavas de mineração estão localizadas na porção sudeste, caracterizadas como cambissolo ferrífero. Dentre as classes de solo, mapeadas pela CPRM no município, estão: afloramento de rocha, cambissolo ferrífero, latossolo roxo, latossolo vermelho-amarelo, latossolo vermelho-escuro, podzóico vermelho-amarelo e solos litólicos.

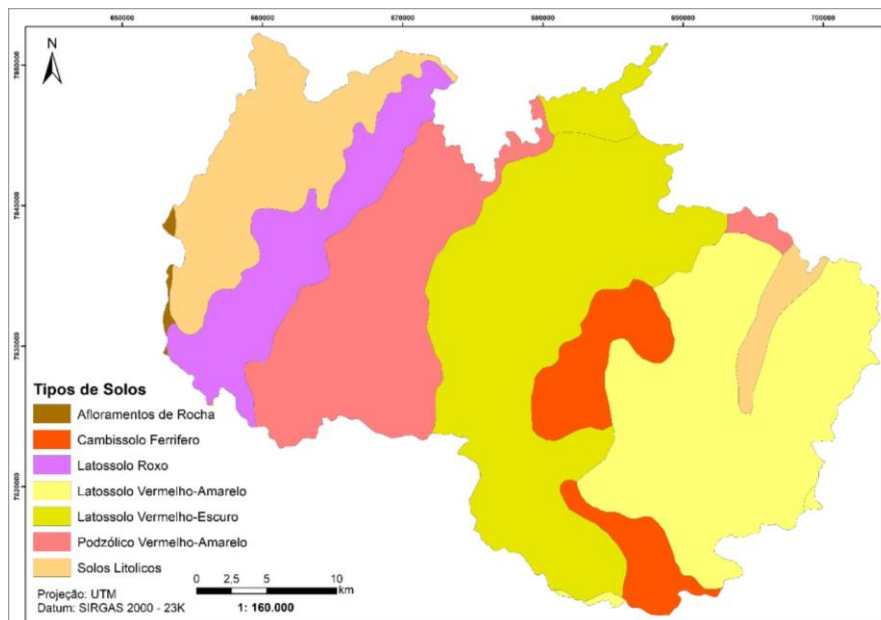


Figura 7: Tipos de Solos no município de Itabira – MG

Fonte: CPRM, 2008

Silva (2007) também esclarece que Itabira possui caracterização geomorfológica de paisagem serrana, representada pelas principais serras e morros que delimitam a região, como a Serra de Cauê. Porém, a intensa exploração mineral é responsável pela descaracterização de parte da serra. Conforme destacam Medina *et al.* (2005), “as vertentes na região do município adquirem forma retilínea nas escarpas ou levemente convexas a convexo-côncavas sobre os reversos estruturais típicos do Grupo Itabira”. É justamente nas áreas de maior declividade e elevação que se encontram os depósitos de minério de ferro.

Varajão *et al.* (1991) destacam que o relevo regional é constituído pela litoestrutura e por processos de erosão diferencial, sendo que as áreas de quartzitos e itabiritos são mais resistentes à erosão do que aquelas moldadas sobre xistos-filitos e granito-gnaisses. Grande parte desses solos é pouco desenvolvida, mas são classificados como Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos (SEMAD, 2009). Conforme os autores citados, essas formações ferríferas são constituídas por bandas ricas em quartzo, alternadas com bandas ricas em óxidos de ferro, hematita (principalmente) e magnetita (subordinadamente). No entanto, estas foram desenvolvidos a partir de materiais coluvionares, oriundos de perfis lateríticos.

Para retratar as condições sanitárias dos domicílios urbanos, a Figura 8, representa apenas o distrito Sede de Itabira, região mais urbanizada do município. Os dados, retirados da base de dados do Censo Demográfico de 2010, estão agregados por setor censitário. Nessa base são identificados o número de Domicílios Particulares Permanentes (DPP's) (variável V002), planilha "Domicilio01_MG", bem como aqueles DPP's com coleta de lixo, valores (variável V035), abastecimento de água da rede geral (variável V012) e abastecimento de água da rede geral de esgoto ou pluvial ((variável V017).

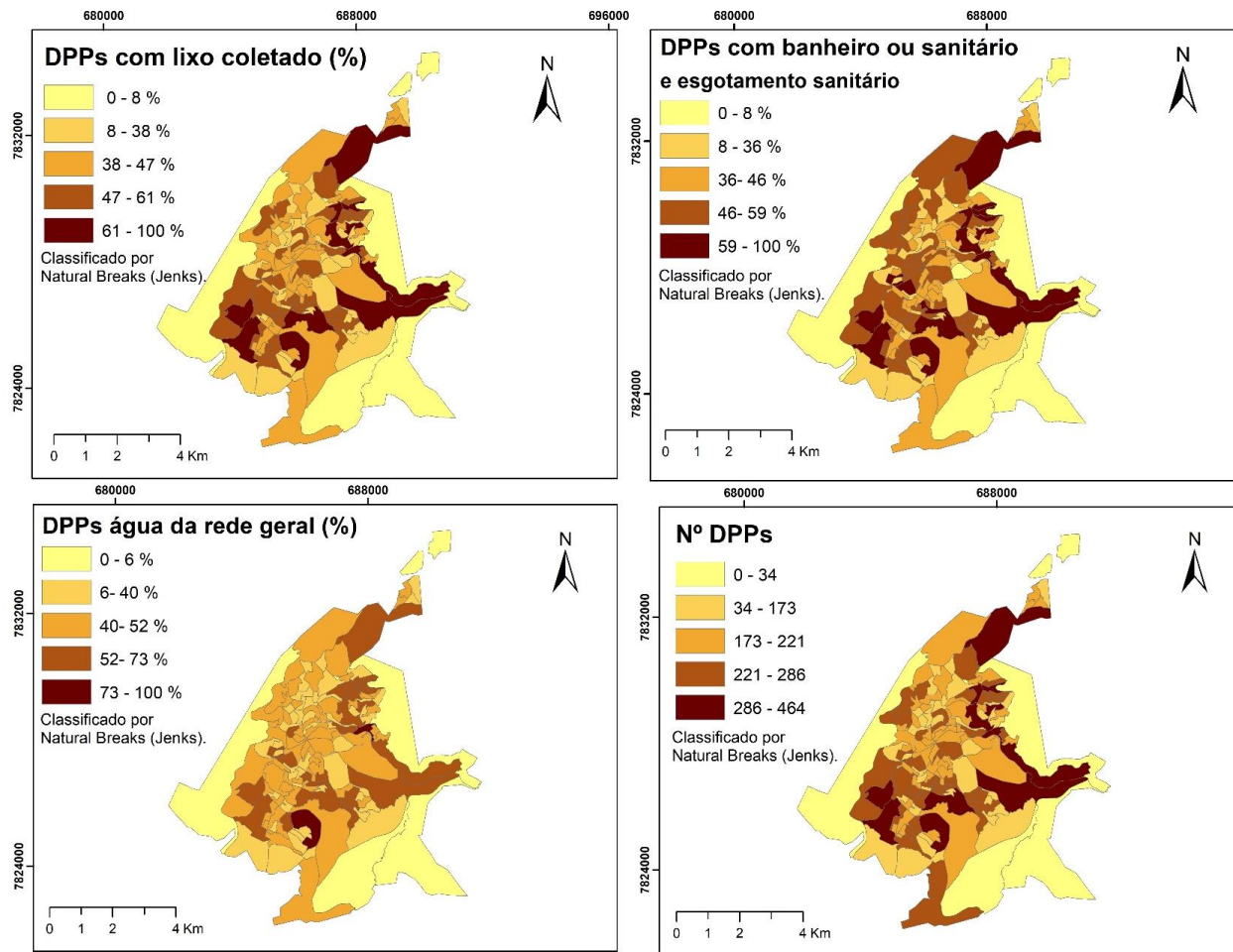


Figura 8: Condições ambientais dos domicílios urbanos distrito Sede no município Itabira/MG
 Fonte: IBGE, Censo Demográfico de 2010.

3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: VARIÁVEIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Os procedimentos metodológicos foram divididos em seis grandes etapas, que foram executadas separadamente para cada temática avaliada. A primeira etapa foi realizada simultaneamente com a segunda, uma vez que o processo de construção do questionário Delphi, bem como a escolha das variáveis, contou com a participação dos especialistas entrevistados. São elas:

- 1ª - definição dos critérios e variáveis a serem analisadas, considerando as características da área de estudo e os dados disponíveis, e elaboração do questionário Delphi;
- 2ª - aplicação do questionário Delphi e consequentes alterações dos critérios e seus pesos após as entrevistas;
- 3ª - comparação entre o método Delphi e o método de AHP (Análise Hierárquica de Pesos), com finalidade de apontar qual método é mais eficaz;
- 4ª - análise de multicritérios;
- 5ª - delimitação das áreas de menor e maior restrição à expansão urbana;
- 6ª - utilização do método de Simulação de Monte Carlo (SMC), após análise de multicritério, com a intenção de mapear os níveis de incerteza e sensibilidade das variáveis abordadas neste trabalho.

Levando em consideração os processos que descrevem e explicam as áreas de restrição à expansão urbana no município, os critérios foram analisados com a participação de especialistas e pré-selecionados, com auxílio do orientador deste trabalho. Para melhor visualizar como se deram esses procedimentos metodológicos temos a Figura 9 que resume do caminho percorrido na pesquisa.

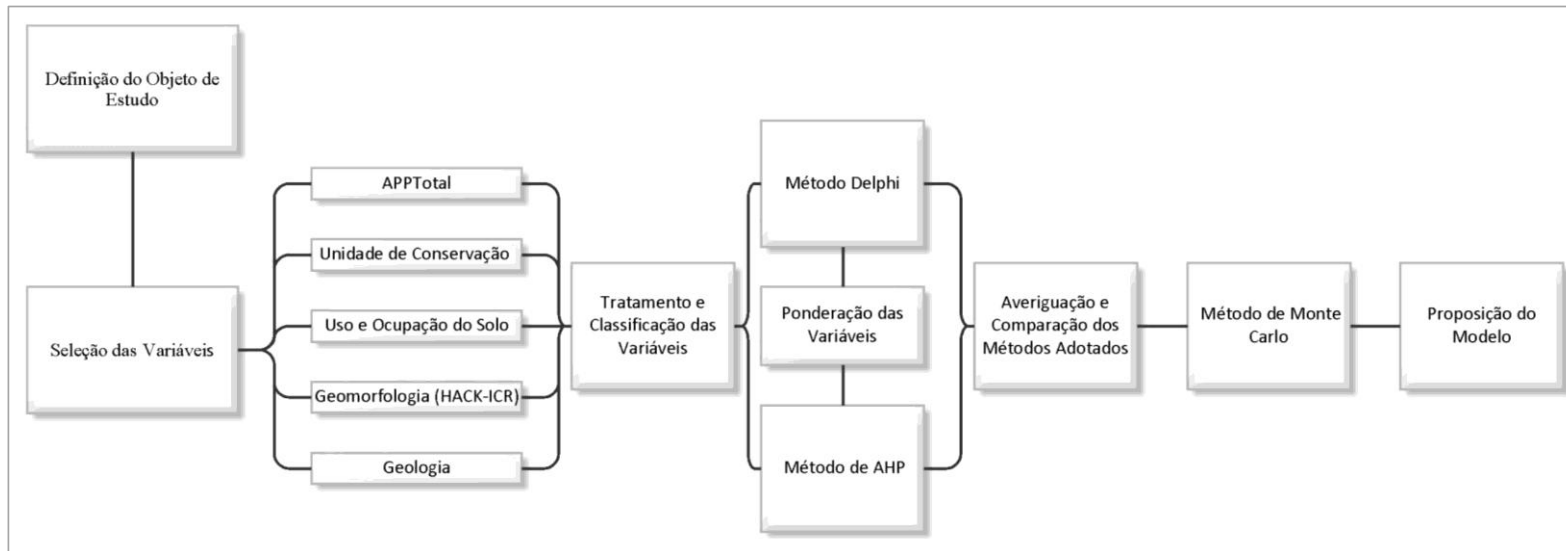


Figura 9: Resumo metodológico
 Fonte: elaborado pelo autor

3.1 SELEÇÃO, TRATAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para a elaboração do modelo, com o propósito de estimar a restrição para expansão urbana, foram selecionadas e analisadas cinco variáveis que sintetizam a dinâmica ambiental da área de estudo, que são: (1) *APP TOTAL* (Topo de Morro, Hídrica e de Nascente), (2) *Unidade de Conservação de Proteção Integral* e (3) *Uso e Ocupação do Solo*, (4) *Geomorfologia* (índice de HACK-ICR) e (5) *Geologia*. Com objetivo de mapear as áreas de restrição à expansão urbana no município, essas cinco variáveis foram selecionadas em função de sua representatividade dos aspectos ambientais e da disponibilidade de dados na escala requerida. A variável *geologia*, por exemplo, foi selecionada devido à sua importância estratégica, enquanto recurso natural: a área de estudo é um município minerário. Entre as variáveis selecionadas, a *geomorfologia* também assume relevância, dada sua influência direta na ocupação urbana, considerando sua forma, seus processos e sua dinâmica, em escalas espaciais e temporais pertinentes à magnitude da ocupação humana (SOUZA, 2010). As *Unidades de Conservação de Proteção Integral* (UCPI) foram também selecionadas graças ao seu nível de restrição – maior do que o das *Unidades de Conservação de Proteção Sustentável* (UCPS). Atualmente, estudos alertam e evidenciam as graves consequências a serem presenciadas e acometidas decorrentes do processo de evolução e de expansão das populações nos centros urbanos. De acordo com Costa e Peixoto (2007) os grupos sociais envolvidos contribuíram para o agravamento dessas problemáticas, representando interesses difusos dentro de um contexto específico. Desta forma, a variável *Uso e Ocupação do Solo* foi utilizada para representar os conflitos de apropriação dos espaços estabelecidos no município.

No caso das *APP Total* (Hídrica, Topo de Morro e Nascente), última variável a ser analisada e classificada, parte-se do princípio que a análise da ação antrópica é crucial na identificação dos impactos no meio e as alterações no uso podem ter sérias consequências ambientais. Desta forma, a averiguação, por mapeamento, da situação de uso e ocupação nas Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Itabira se caracteriza como chave para a restrição à ocupação do espaço, uma vez que, no processo de expansão urbana, muitas vezes, são causados não só danos relacionados à degradação da qualidade ambiental do município, mas também à geração de problemas sociais. (CAMPOS e MATIAS, 2012)

Todas as bases vetoriais obtidas e analisadas, referentes às variáveis utilizadas na proposição do modelo, foram convertidas para o formato *raster*, e seus valores foram

reclassificados para subsequente análise espacial e atribuição dos pesos, necessários para proposição do modelo final. Seguem as descrições das etapas e dos processos de tratamento e classificação de cada uma dessas variáveis.

3.1.1 Processos de Geração e individualização das categorias de APP's

As Áreas de Preservação Permanente (APP's) são definidas segundo a Lei Estadual nº 20.922 de 16 de outubro de 2013 e a Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (leis que instituem o novo Código Florestal). Estas leis são complementadas ou modificadas por meio de outras, das quais podemos destacar a Lei nº 7.803, de 18 de setembro de 1989; a Lei nº 11.284, de 2006; a Medida Provisória nº 2.166-67, de 2001 e as Resoluções nº 302 e 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 20 de março de 2002. As APP's hidrográficas foram definidas de acordo com a lei vigente do Novo Código Florestal Nacional e Mineiro. Com base na Lei Estadual 20.922 de 16 de outubro de 2013 e a Lei Federal 12.651 de 25 de maio de 2012, que atribuiu o valor mínimo de 30 metros para todos os rios presentes na área de estudo, (BRASIL, 1965).

Apesar da recente reforma no código florestal, o conceito de APP se manteve, sendo uma “área coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012). Para a identificação das APPs hídricas foi utilizada a base vetorial de hidrografia do IGAM, em escala de 1:250.000, na qual foi demarcado um buffer (raio) de 50 metros em torno de cada nascente dos corpos hídricos presentes na área de Itabira/MG utilizando-se da ferramenta *buffer* do software *Arcgis 10.1* no *Arctoolbox*¹.

Os procedimentos feitos em ambiente SIG's têm como escopo o reconhecimento, mapeamento e análise de ocorrências espaciais. Desta forma, por meio destes procedimentos é possível utilizar métodos para a identificação de alvos de interesse e aplicação de métricas definidas na legislação e nas resoluções que dizem respeito à questão ambiental (COTA, 2008). As classes de APP's adotadas nesse estudo foram: nascentes, topos de morro (considerando a linha de cumeada), declividades superiores a 45° e de cursos d'água. Para

¹ Cabe ressaltar que a forma correta de se mapear as nascentes deve ser em loco (campo), mas devido ao tempo e ao longo processo de se mapear nascentes, estas foram mapeadas a partir da base hidrográfica do IBGE, junto ao modelo de terreno disponibilizado pelo site da USGS com pixels de 30 metros. Sendo assim, as nascentes mapeadas e representadas neste trabalho podem ter alguma imprecisão devido a este fator.

mapear estas áreas utilizou-se como referência a Lei N° 14.309, conforme é apresentado a seguir:

- APP's de nascentes: nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- APP's de cursos d'água: de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura, e de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros, como é o caso do rio Paraopeba que constitui o nível de base local;
- APP's de declividade superior a 45°: nas encostas ou partes destas, com declividade angular superior a 45°, equivalente a declividade percentual de 100% na linha de maior declive;

Para a delimitação das APP's de topo de morro adotou-se a abordagem da resolução 303/2002 do CONAMA, Artigos 2° e 3°, que estabelecem: topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base; e seguindo, também, o critério das linhas de cumeada, onde a área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros.

Desta forma, o primeiro passo foi agrupar os morros cuja proximidade seja de até quinhentos metros entre seus topos. Posteriormente, identifica-se o menor morro. Após esta etapa, traça-se uma linha na curva de nível correspondente a dois terços. Por fim, considera-se de preservação permanente toda a área acima deste nível. A determinação dessas APPs de declividade e de topo de morro foi feita com base em um Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM V2 de 30 metros de resolução. O MDE SRTM foi reclassificado, de modo a destacar as áreas com declividade maior ou igual a 45° das demais áreas. A delimitação das APP's de topo de morro também foi feita a partir das curvas de nível na escala 1:50.000 e do MDE SRTM. Para tal fim, seguiu-se a metodologia proposta por Santos *et al.* (2010). O software *Arcgis 10.3* foi utilizado para elaborar todos os mapas apresentados neste estudo e para realizar os cálculos de áreas. Na Figura 10 é mostrada a representação espacial da variável *Área de Preservação Permanente Total* (Hídrica, nascente e topo de Morro).

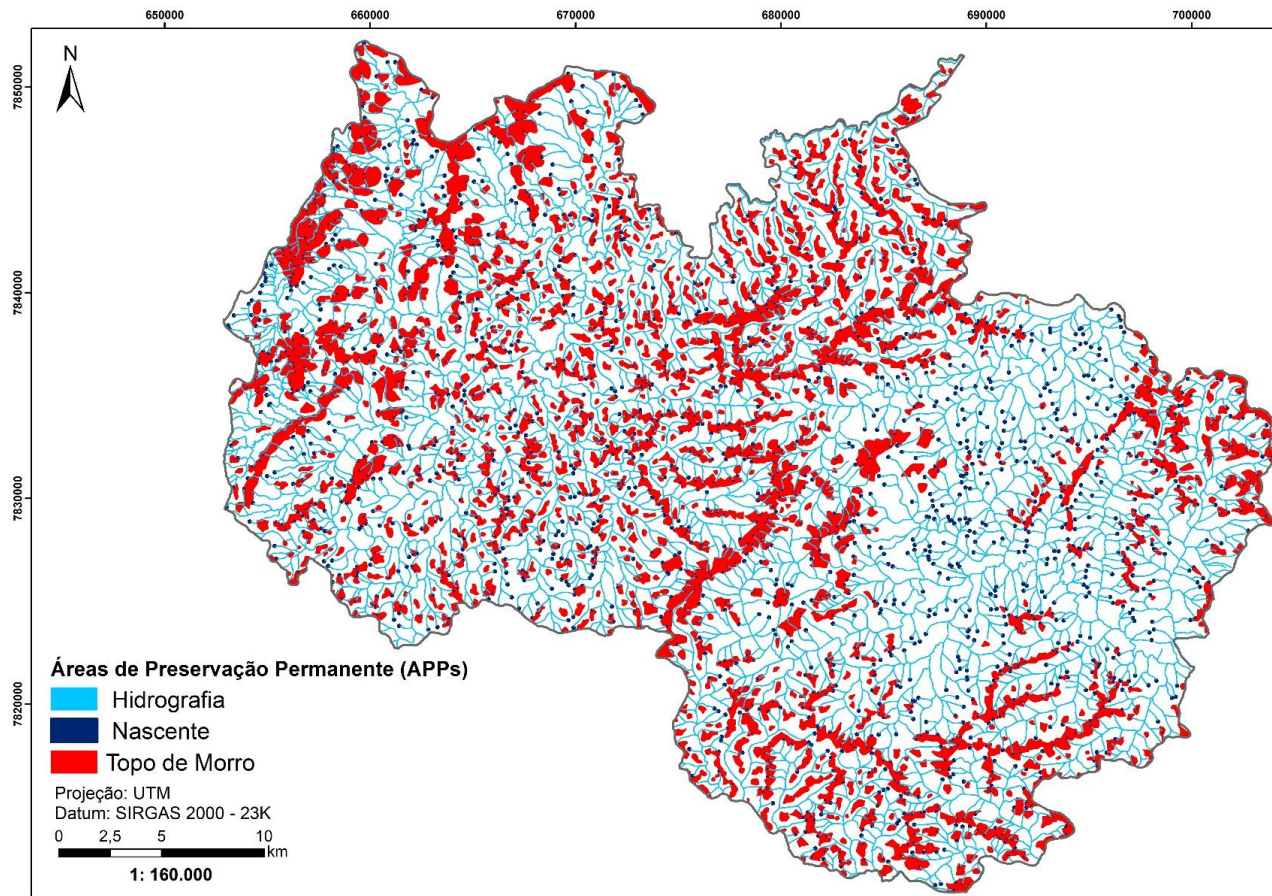


Figura 10: Mapa de APP's Total no município de Itabira/MG
Fonte: IGAM e dados da pesquisa

3.1.2 Unidades de Conservação

A base vetorial de Unidades de Conservação foi disponibilizada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Itabira-MG. Com base nos conceitos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, estas áreas são classificadas como Unidades de Uso Sustentável e Unidades de Proteção Integral. Como o propósito do trabalho é avaliar a restrição à expansão urbana no município de Itabira, foram identificadas as Unidades de Proteção Integral, pois elas são mais restritivas ao uso e a ocupação (as áreas de proteção sustentável são menos restritivas, mas não menos importantes para análise final deste trabalho).

Nas Unidades de Proteção Integral a proteção à natureza é o principal objetivo. Desta forma, são regidas por regras e normas muito restritivas. É permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais; usos que não implicam consumo, coleta ou que sejam prejudiciais aos recursos naturais. As categorias de proteção integral são: estação ecológica, reserva biológica, parque nacional, monumento natural e refúgio de vida silvestre. As categorias de proteção sustentável são: área de proteção ambiental, área de relevante interesse ecológico, floresta nacional, reserva extrativista, reserva de fauna, reserva de desenvolvimento sustentável e reserva particular do patrimônio natural.

Segundo dados disponibilizados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Itabira-MG foram identificadas sete unidades de conservação: APA da Pureza, RPPN Itabirucu, que são de proteção sustentável; e Reserva Biológica Municipal Mata do Bispo, Parque Natural Municipal do Ribeirão São José, Parque Natural Municipal do Intelecto, Parque Natural Municipal da Mata do Limoeiro e Parque Natural Municipal do Rio Tanque, que são de proteção integral. Essas unidades podem ser vistas na Figura 11, logo abaixo.

3.1.3 Uso e ocupação do solo

De acordo com Rosa (2003) o estudo do uso e ocupação de solo “consiste em buscar o conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo”. Para o autor “a expressão ‘uso do solo’ pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem”.

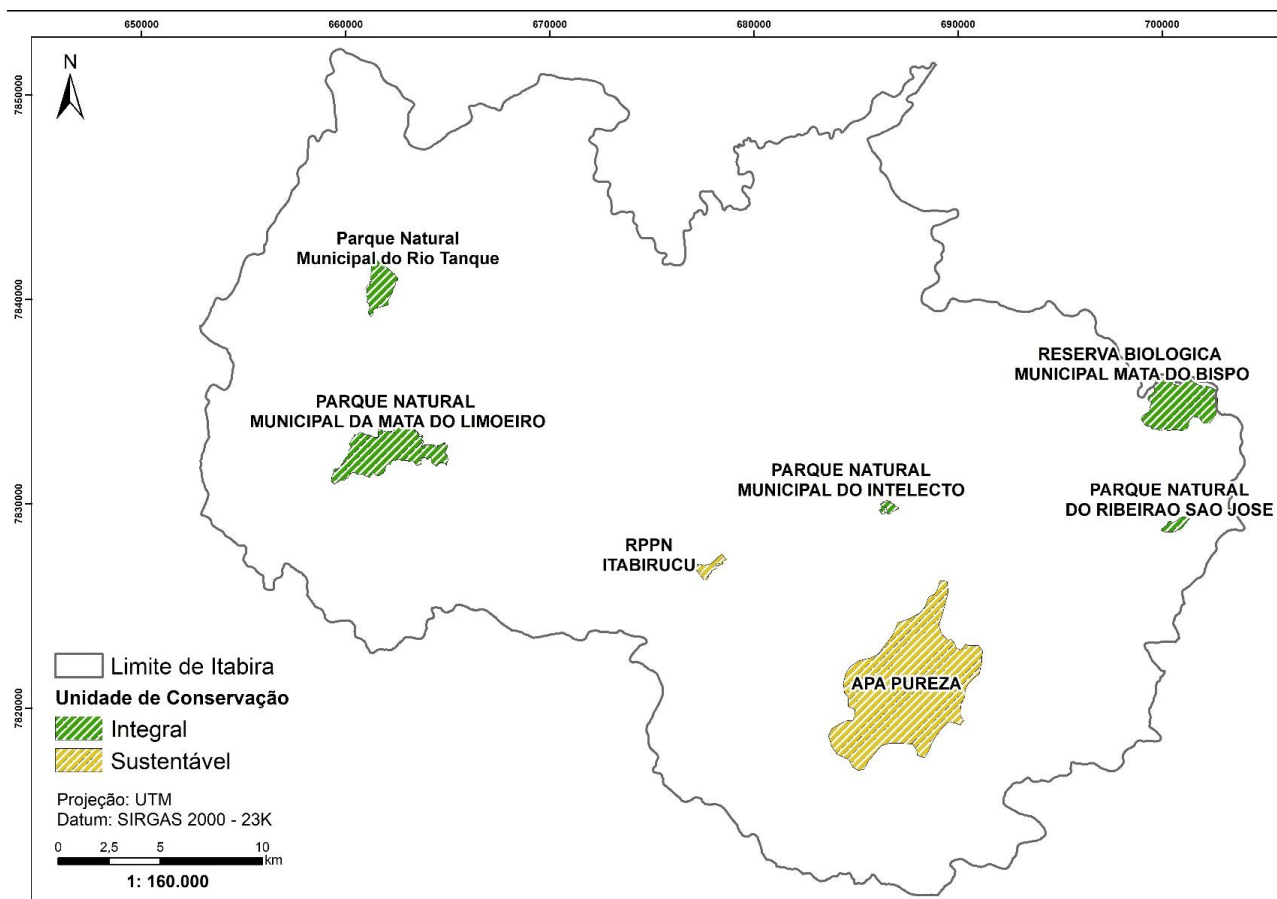


Figura 11: Mapa de Unidades de Conservação no município de Itabira/MG
 Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Itabira-MG, 2017

Para a classificação de Uso e Ocupação do Solo foi utilizado o método de classificação supervisionada disponível no software *SPRING 5.1.2*, devido à extensão da área foi usado um mosaico de duas imagens do sistema *Landsat-8*. As imagens foram obtidas no *website* do *United States Geological Survey (USGS)* sendo cenas georreferenciadas e ortorretificadas, obtidas em 8 de janeiro de 2016. Após a aquisição das imagens foi realizado o seu processamento no software *SPRING 5.1.2* pelo método por segmentação *Bachata*. Para a composição das imagens foram utilizadas as bandas 6, 5 e 4 na composição RGB, respectivamente (HAZAYMEH; HASSAN, 2015; SIMONETTI; SIMONETTI; PREATONI, 2014).

A sequência destes procedimentos de processamento são respectivamente: o mosaico das imagens, a correção atmosférica e radiométrica das três bandas, a aplicação de realce de contraste e, em seguida, o recorte da área de estudo. Em primeiro lugar, foram utilizadas 3 bandas com realce de contraste para a composição colorida a fim de selecionar as amostras de treinamento, posteriormente, utilizou-se mais de 3 bandas sem realce para fazer a classificação. Dentre as classes mapeadas estão: afloramento, cursos hídricos, área urbana, mineração, pastagem, plantação de eucalipto, vegetação arbórea e vegetação densa. Após a classificação, ao analisar os resultados, observou-se que os pixels em algumas classes se apresentavam “fragmentados”. Para correção foi feita a filtragem com a finalidade de tornar os pixels de cada tipologia mais homogêneos. O filtro aplicado foi o de moda (com vizinhança de 3x3) resultando em uma melhor repartição e homogeneização dos pixels de cada tipologia.

Para que o uso do solo seja mais condizente com a realidade atual foi feita uma aferição visual e validação em campo, realizada no mês de janeiro de 2017. Percorreram-se vários pontos de todas as tipologias mapeadas na classificação supervisionada, os quais foram registrados em um aparelho de GPS. Em sequência, foi feita uma caracterização das tipologias mapeadas e verificado sua localização na imagem. Os resultados mostraram-se aceitáveis na medida em que foi feita a coleta de pontos de todas as tipologias em vários lugares diferentes, compondo um vasto banco de dados sobre as tipologias da região, servindo como validação da classificação supervisionada na área da pesquisa. Após a aferição visual o mapa temático resultante da classificação, foi validado com os dados de referência observados em campo e também por meio de dados históricos de imagens do programa Google Earth². Para melhor

² A representação cartográfica é conhecida como uma aproximação da realidade. Para que se possa melhor conhecer e avaliar o espaço geográfico, as generalizações são imprescindíveis, mas a quantificação de erro é

compreensão da validação do uso e ocupação do solo o mapa com o uso e ocupação do solo já reclassificado é apresentado na Figura 12, incluindo os pontos de validação coletados em campo.

essencial para que se possam validar os resultados e perceber o quanto a representação cartográfica (mapa) se aproxima da realidade.

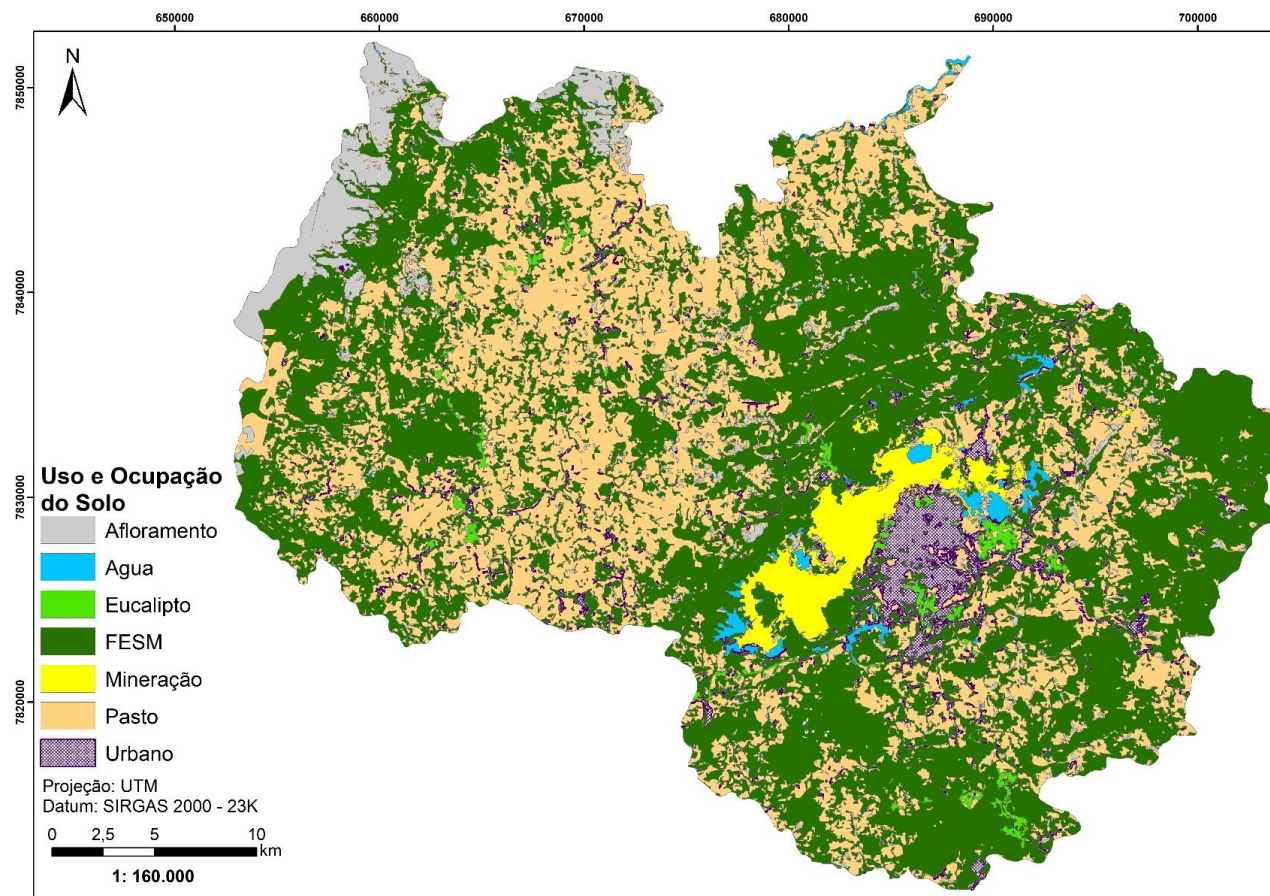


Figura 12: Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Itabira/MG (Landsat 8)

Fonte: website do United States Geological Survey (USGS), 8 em janeiro de 2016

3.1.4 Geomorfologia: parâmetros geomorfométricos (Índice de Hack e ICR)

Para a variável *geomorfologia* utilizou-se o índice de Hack, proposto por Hack (1973) e utilizado em vários estudos científicos (TROIANI e DELLA SETA 2007; ETCHEBEHERE *et al.* 2004; 2006; QUEIROZ *et al.* 2015). Esse índice é voltado à identificação de regiões com declividade de maior ou menor rugosidade. O indicador é dado pela seguinte expressão:

$$SL = \left(\frac{h}{l}\right)L$$

SL é o índice (Stream-Lenght), “ h ” é a diferença entre a altura máxima e a mínima do trecho do canal estudado, “ l ” é a projeção horizontal do trecho a ser estudado e “ L ” é o comprimento do ponto mais a jusante do trecho estudado à cabeceira da bacia em linha reta. Este modelo pode ser explicado no gráfico abaixo (Figura 13).

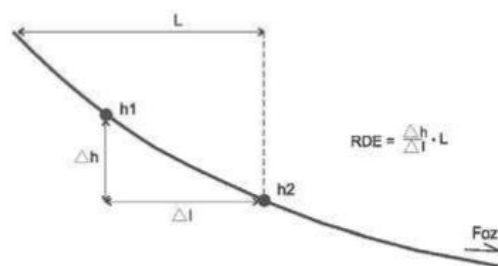


Figura 13: Esquema demonstrando o cálculo de RDE
Fonte: baseado de Etchebehere et al. (2006)

Para complementar a base de geomorfologia utilizou-se, ainda, o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), que possui como objetivo “identificar parâmetros que possibilitassem incrementar a acurácia do mapeamento da rede de drenagem” (SAMPAIO, 2009). O ICR foi adotado como referencial de análise da distribuição espacial da declividade utilizando-se dos valores indiretos da rugosidade. Para realizar essa análise espacial é utilizado o estimador de densidade de Kernel, que constitui uma ferramenta geoestatística utilizada para estimar as curvas de densidades. A ponderação mais usada na prática é o inverso da distância euclidiana do ponto da grade da amostra considerada (DALLAZUANA E BONAT, 2007). O estimador de Kernel é uma ferramenta de análise espacial para processos espaciais de primeira ordem, ou seja, permite a análise da dispersão ou concentração de um dado fenômeno no espaço, sendo, neste caso, analisado a declividade. Segundo Câmara e Carvalho (2001) os efeitos de primeira ordem considerados globais ou de larga escala

correspondem às variações no valor médio do processo no espaço. Neste caso, avalia-se a intensidade do processo, isto é, o número de eventos por unidade de área. Desta forma, o estimador procede a contagem de pontos por unidade de área, conforme representado na Figura 14.

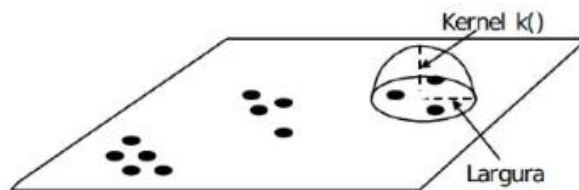


Figura 14: Estimador de intensidade de Kernel
Fonte: Câmara e Carvalho (2001)

A partir do arquivo de pontos foi possível a aplicação do Estimador de Densidade de Kernel (*Kernel estimator*) fornecendo dois parâmetros: área de análise (raio do Kernel) e campo de atributos. Para calibrar o raio de busca a ser empregado pelo estimador de densidade por Kernel, na geração do ICR, foram testados diferentes valores, conforme proposta de Horton (1945). A 2000 metros teve-se a melhor resposta para a análise das influências do relevo. O estimador de Kernel permite que seja realizada a ponderação dos valores computados, relativizando o somatório dos valores, em determinada unidade de área, pela quantidade de pontos analisada. Considera-se a capacidade do estimador em avaliar a concentração do fenômeno pesquisado (declividade/rugosidade), o processo de geração do ICR se dá pela aplicação do mesmo, no modo ponderado, sobre os valores de declividade expressos em porcentagem e disponibilizados em formato de arquivo de pontos.

O Índice de Hack (*Stream Length-Gradient Index*), denominado por Etchebehere *et al.* (2004) como "Relação Declividade-Extensão", foi concebido por John T. Hack e apresentado em Hack (1973). Foi muito utilizado na literatura acadêmica por comparar as diferentes extensões e características fisiográficas entre os rios; além disso, ele possibilita inferências acerca da história e do desenvolvimento geológico e geomorfológico da região estudada. Com isso, o índice está sendo bastante utilizado para representar a geomorfologia, porque ele representa tanto o rebaixamento vertical quanto o recuo horizontal da superfície. Destaca-se também que o relevo sempre vai se movimentar nestes dois sentidos (vertical ou horizontal), sendo assim, o índice de Hack mede a incisão vertical dos canais e a concentração da rugosidade no sentido horizontal.

Desta forma, os dois índices utilizados buscaram representar a dinâmica do relevo. Os procedimentos metodológicos para a aquisição do ICR e do índice de Hack estão resumidos na Figuras 15. A Figura 16 apresentada a seguir representa os resultados gerais da variável *Geomorfologia* (HACK-ICR).

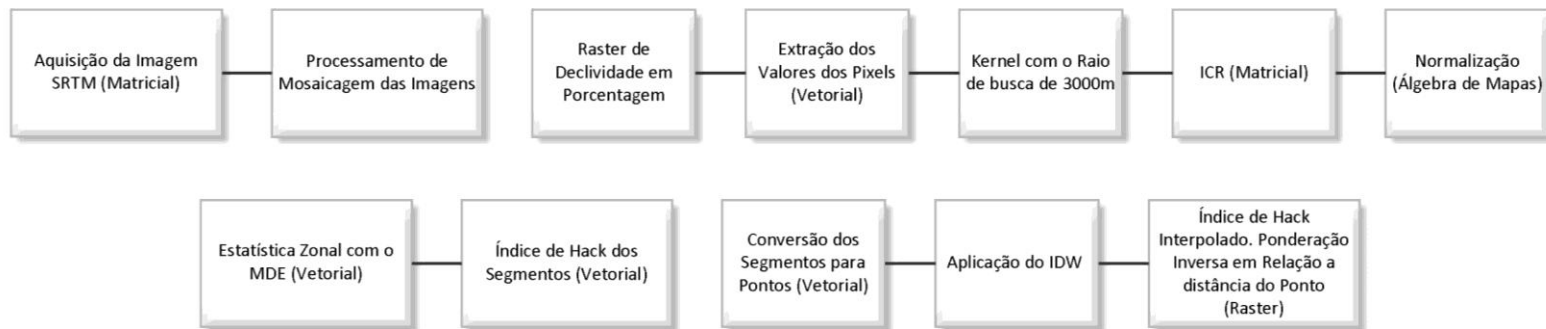


Figura 15: Fluxograma de Obtenção do ICR e do Índice de HACK.
 Fonte: Brandani et al. (2017).

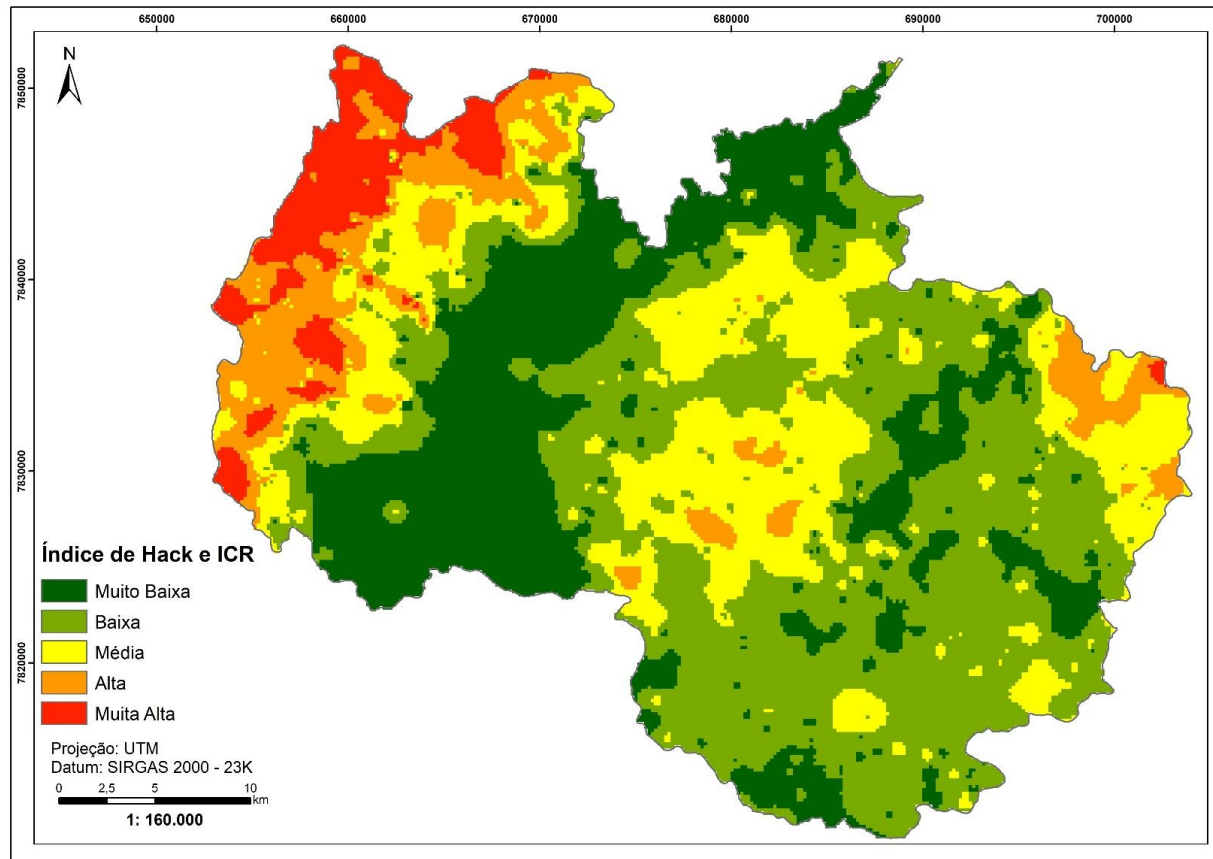


Figura 16: Mapa de Geomorfologia, conforme Índice de Hack + ICR no município de Itabira/MG
 Fonte: Brandani (2018).

3.1.5 Geologia

Sabe-se que as rochas apresentam potencialidades e suscetibilidades que podem favorecer, atrapalhar ou até impedir a ocupação sobre suas áreas de ocorrência. Por isso é preciso conhecer de forma aprofundada os terrenos, suas características geológicas e geotécnicas antes de ocupá-los, evitando assim, a ocupação inadequada destas regiões. Assim, nesta pesquisa, para a inserção das notas na variável geologia em cada litotipo adotou-se a metodologia para interpretação e classificação das unidades litológicas em termos geotécnicos, considerando potencialidades e suscetibilidades dos terrenos, conforme proposta de PARIZZI *et al.* (2010)

A partir da carta geológica disponibilizada pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), na escala de 1:100.000, foi feito o recorte da geologia com o limite municipal de Itabira-MG. A metodologia empregada nos estudos de Parizzi *et al.* (2010) foi aplicada para RMBH, cujas unidades litológicas foram agrupadas em 10 unidades geotécnicas, de acordo com suas características mecânicas, de potencialidade e suscetibilidade. Cada grupo recebeu uma nota, variando de zero a dez, que correspondente a sua adequabilidade de ocupação. Vale dizer que, em sua metodologia, nenhum grupo recebeu nota zero (totalmente inviável a ocupação), assim como nenhum grupo recebeu a nota dez (sem restrição de ocupação).

Destaca-se ainda que o estudo de Parizzi *et al.* (2010) é diferente do proposto nesta dissertação, já que a nota do litotipo “afloramento rochoso” foi alterada para um valor maior, devido a área possuir alta restrição na análise pretendida. Desta forma, na base vetorial de geologia, em sua tabela de atributos foi acrescentada uma coluna para inserir a nota de cada litotipo. Tal metodologia serviu de referência para se dar as notas de cada litotipo (geologia) como pode ser observado na Figura 17.

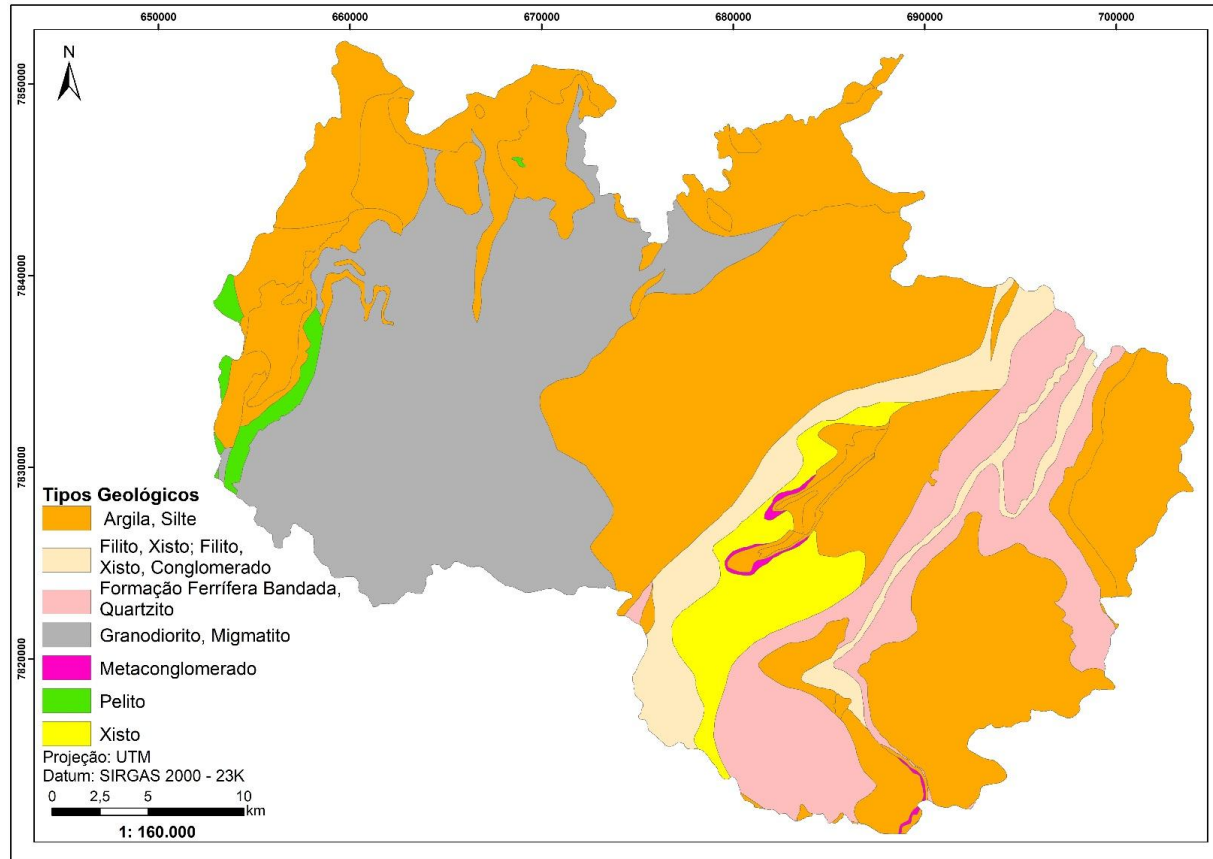


Figura 17: Mapa de Geologia do município de Itabira/MG
 Fonte: CODEMIG, 2010

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE MULTICRITERIAL

Na literatura específica existem vários métodos que compõem o apoio à análise multicriterial. Cada um desses métodos apresenta procedimentos característicos. Uma das dificuldades encontradas nesta etapa refere-se à quantidade e à qualidade das informações para avaliar os critérios e escolher a melhor alternativa na modelagem adequada do método (ou métodos) a ser utilizado, refere-se ao fenômeno denominado *overthinking* ou *analysis paralysis*, no qual os decisores refletem sobre os critérios e alternativas e não são assertivos quanto a qual decisão tomar. (KAHNEMAN E TVERSKY, 2000)

Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004) o apoio multicritério à decisão é uma atividade baseada em modelos apresentados, não necessariamente formalizados, mas que auxiliam na obtenção de resposta às questões de um agente de decisão no decorrer de uma pesquisa. Neste contexto, alguns conceitos básicos precisam ser definidos, pois serão utilizados pelos pesquisadores. São eles: decisor, analista, conjunto de alternativas, critérios e pesos. O Quadro 1 apresenta de forma explicativa tais conceitos.

QUADRO 1: Conceitos básicos na análise de multicritério.

Conceito	Descrição
DECISOR	O decisor é o indivíduo (ou grupo de indivíduo) que, direta ou indiretamente, proporciona o juízo de valor final, com o objetivo de identificar a melhor escolha (GOMES, 2007).
ANALISTA	O analista é uma pessoa (ou conjunto de pessoas) encarregada de fornecer os dados que serão utilizados para modelar o problema e fazer as recomendações relativas à seleção final (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).
ALTERNATIVAS	Constitui o objeto da decisão. Deve-se considerar todas as alternativas, mesmo que não seja viável sua implementação, sempre que houver algum interesse em relacioná-la ao processo decisório (ROY, 1991).
CRITÉRIOS (K)	Um critério é uma função que reflete as preferências do decisor (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).
PESOS	A cada critério é atribuído um peso, que deve ser proporcional a importância do critério. Os pesos servem como escala para comparar os critérios (BELTON e STEWART (2002).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para eleger algumas das alternativas, supõe-se que o decisor possua alguns eixos de avaliação, que são os elementos que direcionam sua análise. Segundo os mesmos autores,

com base nesses eixos, que pode ser também chamado de objetivo de análise, é possível fazer comparações entre as alternativas. Logo, os critérios representam a capacidade das alternativas para satisfazer as necessidades. Além disso, a medida de importância relativa dos critérios para o decisor denomina-se peso, pois é quando alguns critérios terão maior importância em detrimento a outros. A medida desta visão teórica, pode-se afirmar que, dado um problema de decisão, ou seja, uma problemática é abordada pelo Apoio Multicritério à Decisão (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004). Neste trabalho, dois métodos de apoio à tomada de decisão são utilizados para analisar a restrição ambiental para a expansão urbana no município de Itabira-MG. São eles: Método Delphi e Método de Análise Hierárquica (AHP).

3.2.1 Método Delphi

Este método foi desenvolvido inicialmente na década de 1950, pela *Rand Corporation/EUA*, e tinha como objetivo obter consenso de especialistas sobre previsões tecnológicas (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000). Seu nome tem origem no oráculo grego de Delfos e é, recorrentemente, utilizado como instrumento de pesquisa quando ainda não se possui conhecimento amplo sobre um problema ou fenômeno. Para Grisi e Britto (2003), o método Delphi é um processo estruturado de comunicação coletiva, que permite a um grupo de indivíduos lidar com um problema complexo. Com isso, pretende-se obter uma convergência das respostas dos sujeitos representantes deste grupo, com a intenção de alcançar um consenso que possa representar a consolidação do julgamento do grupo.

Nesta pesquisa, o método tem como objetivo direcionar o questionário para profissionais que possuam relação direta com a área de estudo, de modo que, o especialista seja também um “stakeholder”. Moura (2007) corrobora com esta ideia argumentando que: “O método Delphi na obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda conheçam bem a realidade espacial onde ele se localiza” (MOURA, 2007, p. 2902). Em seguida, foi definido, mediante orientação, os representantes mais eficazes para este estudo, que atendessem entre outros critérios o de serem representantes envolvidos no cotidiano do município. Para melhor resultado, a seleção dos especialistas foi realizada visando um grupo multidisciplinar, que fizesse uma avaliação combinada para área de estudo diante dos critérios envolvidos na restrição à expansão urbana.

Foram selecionados, então, quinze especialistas, mantendo uma composição multidisciplinar e possibilitando, assim, uma melhor compreensão dos fenômenos estudados. Os envolvidos são representantes da administração pública municipal (secretaria de meio ambiente, desenvolvimento urbano, funcionário público), professores e estudantes de instituições federais no município, no setor privado (empresário e trabalhadores de empresas) e também em outros segmentos da sociedade, conforme demonstrado nos Quadros 2 e 3. Essa diversificação de formação dos especialistas visou, sobretudo, a composição de um grupo que fizesse uma avaliação satisfatória para a área de estudo, diante dos critérios envolvidos no potencial de expansão urbana (Quadro 3).

QUADRO 2: Origem dos Entrevistados – Método Delphi.

Origem	Quantidade
Secretaria de Meio Ambiente	1
Secretaria de Desenvolvimento Urbano	1
Funcionário de Empresa	6
Estudante	3
Professor Universitário	1
Funcionário Público	2
Empresário	1

Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 3: Formação dos Entrevistados – Método Delphi.

Formação Acadêmica	Quantidade
Geógrafo	1
Outras Engenharias	3
Engenharia Ambiental	3
Professor Universitário	2
Projetista	1
Engenheiro Agrimensor	1
Estagiário de Engenharia	1
Historiador	1
Urbanista	1
Mestrando	1

Fonte: Elaborado pelo autor

No método Delphi, as perguntas de um questionário normalmente são respondidas em uma escala de 1 a 5, de acordo com a importância das variáveis avaliadas. Os passos do método são os seguintes:

1º- o pesquisador aplica o questionário aos especialistas para que respondam às perguntas e as devolvam ao pesquisador;

2º- as respostas de todos os especialistas são agrupadas e analisadas;

3º- posteriormente, um novo questionário é enviado aos especialistas selecionados, agora, com os resultados gerais, para que conheçam as opiniões dos demais especialistas envolvidos e possam rever alguma opinião dada e, se preferir ou discordar, o especialista pode modificar suas respostas;

4º- após este procedimento, uma nova análise é realizada e, se houver conformidade ou for atingido um resultado satisfatório de informações, o processo é encerrado. Caso não ocorra, repete-se o passo 3.

Para maior eficácia do questionário Delphi foi elaborado um questionário prático e conciso (APÊNDICE 01). Um dos critérios foi a atribuição de pesos na escala de 0 a 10 para cada variável. Após os entrevistados responderem a primeira etapa do questionário foi estabelecido um *ranking* em relação à importância de cada variável no contexto de cada temática estudada. No término das questões abordadas, visando a restrição à expansão urbana, foi perguntado aos especialistas se eles considerariam outra variável para esta avaliação. No caso de resposta afirmativa foi perguntado qual seria essa variável e o peso a ela atribuído. O questionário foi aplicado em duas etapas, entre maio de 2017 a outubro de 2017. Ao final da primeira etapa foi calculado a média, a moda e a variância entre os pesos atribuídos para cada variável.

Após a segunda etapa os resultados estatísticos foram apresentados para cada especialista individualmente. Cada entrevistado teve a oportunidade de sustentar ou alterar o peso conferido na primeira etapa. No final da segunda etapa, os valores foram transformados para a escala de 0 a 100, na qual o somatório dos pesos de cada variável originou o valor total de 100. Todo o processo foi desenvolvido em conformidade com os pré-requisitos para a aplicação do método Delphi, conforme descrito em Moura (2007), Silveira (2013) e Fonseca (2015). Todavia, o grau de pertinência (notas) das variáveis foi atribuído pelo autor da pesquisa e não pelos especialistas selecionados no método Delphi.

Para determinar se houve um resultado satisfatório após a aplicação dos passos descritos, utilizou-se a Equação 1 (WILSON, PAN, SCHUMSKY, 2012):

$$CVR = \frac{NE - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

Onde:

CVR - Content Validity Ratio (razão de validade de conteúdo);

NE - número de especialistas que indicam que um parâmetro é essencial;

N - número total de especialistas participantes da pesquisa.

Nessa equação se o CVR for maior ou igual 0,29 diz-se que houve consenso e as rodadas do método são interrompidas. Nela não é estipulado um número mínimo necessário de especialistas para validar a aplicação do método. Porém, é oportuno destacar a importância de selecionar, cautelosamente, o grupo de pessoas que participará da pesquisa; muitas vezes denominado de “painel Delphi de especialistas”. (KIM, JANG, LEE, 2013)

Nesta pesquisa o consenso foi atingido na segunda rodada de aplicação do método Delphi, pois para todas as perguntas o valor do *Content Validity Ratio* (CVR) foi maior que 0,29, sendo considerado, portanto, satisfatório. Então não houve necessidade de alterações nestes parâmetros após a aplicação do Delphi, além de que todos os especialistas afirmaram que a seleção e a classificação hierárquica das variáveis utilizadas estavam adequadas ao que se propunha.

Para a confecção do mapa de análise de interesse ambiental à expansão urbana, após a aplicação do questionário Delphi, foram inseridas as notas de cada variável. Outro critério para a escolha destes especialistas, que responderam ao questionário, eram suas participações efetivas no município, uma vez que, eles deveriam possuir experiência pela história vivenciada no município de Itabira-MG.

Aplicou-se um total de quinze questionários para os entrevistados selecionados, com isso, foi feito a confecção do mapa de Restrição Ambiental e foram identificados em seus resultados cinco componentes de legenda, de *Muito Alto* a *Muito Baixo* interesse. A combinação das condições existentes foi representada no Mapa de Restrição Ambiental para a Expansão Urbana em Itabira - Método Delphi. Para representar a superfície foi realizada a combinação, por meio da ferramenta *Raster Calculator* do *Arcgis* 10.3, na linha de comando representada abaixo.

$$I = \sum_i^n (Geomorfo * \omega_1) + (APP * \omega_2) + (UsoSolo * \omega_3) + (UCs * \omega_4) + (Geolo * \omega_5)$$

Em que ω_1 é o valor do peso da variável e a soma destes pesos tem o valor total de 100.

Após a inserção da linha de comando é gerada uma superfície *raster* com os parâmetros inseridos a partir do método de Delphi. Posteriormente no *raster* é feita a configuração das 5 classes de legenda: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

Como o foco deste trabalho são os níveis de restrição ambiental à expansão urbana, a partir das reuniões de orientação, foi estabelecido que o recorte das áreas já urbanizadas do município seria feito na base final, para melhor representação das áreas de maior e menor potencial à expansão. Com isso foi feito o recorte dessas áreas consideradas já urbanizadas, que são: distritos de Sede Itabira, Ipoema e Senhora do Carmo. A base utilizada para este recorte foram os dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010.

3.2.2 Método de Análise Hierárquica

A ideia que envolve o método de AHP (Análise Hierárquica de Pesos) é que um problema decisório pode ser estruturado de maneira hierárquica, na qual o topo da hierarquia contém a sua descrição geral e nos níveis mais baixos os critérios. Na verdade, o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias, de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (SAATY, 2001). Sendo assim, o método A.H.P. se propõe a calcular a Razão de Consistência, denotada por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem “n”, com elementos não-negativos e gerada randomicamente. Tal método possui vantagens e desvantagens. Segundo Thomaz (2006) uma das vantagens do método AHP é a semelhança com o pensamento humano. Assim, quando um indivíduo (decisor) está diante de uma situação complicada, o cérebro tende a organizar os elementos em grupos, de acordo com o seu grau de importância, de forma a facilitar a estruturação do raciocínio para a tomada de decisão. Estes agrupamentos podem ser descritos como hierarquias. A hierarquia pode ser dividida em três etapas: na primeira etapa, a hierarquia mais alta, é estabelecida a meta da decisão; na segunda etapa, nos pontos centrais,

são estabelecidos os fatores e subfatores, e na terceira e última etapa da hierarquia são exibidas as alternativas para a decisão.

Apesar de suas vantagens, o método de AHP também possui desvantagens e limitações. Conforme destaca Ayag (2005) o método não faz considerações da incerteza associada ao julgamento (escala). Além disso, precisa ser considerado o fato de que, as preferências dos responsáveis são particulares e subjetivas, e suas decisões têm influência significativa nos resultados de AHP. Para Lucena (2003), o método de AHP tem como base a representação de um problema, pelo meio da sua estruturação hierárquica, para priorizar fatores quantitativos ou qualitativos na análise de alternativas. Esse processo, de acordo com a autora, pode ser descrito em quatro etapas: estruturação hierárquica, comparação paritária dos elementos em cada nível do sistema, princípio da priorização e síntese de prioridades.

Em geral o método de AHP pode ser utilizado de duas maneiras. Na primeira forma de aplicar o método, o problema decisório tem de ser definido e partindo desse problema, geral e complexo, haverá a divisão dos critérios que devem ser levados em consideração para tomar a decisão. Na segunda forma, quem vai tomar a decisão inicia a abordagem, identificando as diversas alternativas disponíveis para ordenação ou escolha. Após definir a estrutura da árvore de critérios, o passo seguinte é a atribuição de valores relativos para os critérios. Esta etapa consiste em definir o quanto um critério é mais importante que o outro dentro de toda a abordagem. O método sugere que sejam feitas diversas análises paritárias (ou por pares), onde os critérios são comparados entre si, dois a dois. Esse procedimento é defendido pelo autor do AHP, pois ele o considera intuitivo. Esses julgamentos são armazenados em uma matriz quadrada, chamada matriz de comparações paritárias. O Quadro 4 representa uma matriz de comparações paritárias genérica.

QUADRO 4: Matriz de comparações paritárias

Critérios	Crt1	.....	Crtp	.....	Crtn
Crt1	1	.....	A1p	.....	A1n
.....
Crtp	Ap1	.....	1	.....	A1p
.....
Crtn	Am1	.....	Amp	.....	1

Fonte: SAATY, 2002.

Para preencher essa matriz é utilizada uma escala conhecida como Escala Fundamental de Saaty, representada na Quadro 5.

QUADRO 5: Escala Fundamental de Saaty.

Escala Numérica	Escala Verbal
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um sobre o outro
5	Importância essencial ou forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2,4,6,8	Valores Intermediários

Fonte: SAATY, 2002.

Após preencher a matriz de comparações paritárias deverá ser obtido o vetor de pesos associado a essa matriz. Cada componente desse vetor indicará a importância relativa de cada critério quando comparado aos outros. Nota-se que cada linha estará associada a um critério e a uma componente do vetor de pesos, como podemos observar no Quadro 6, representado abaixo, e já preenchido.

QUADRO 6: Matriz de Comparações Paritárias

Comparações Paritárias	Uso do Solo	Ucs	IH_ICR_Rack	Geologia	APPs
Uso do Solo	1	5	1/8	1	2
Ucs	1/5	1	1/8	1/4	1/2
IH_ICR_Rack	8	8	1	4	6
Geologia	1	4	1/4	1	6
APPs	1/2	2	1/6	1/6	1

Fonte: SAATY, 2002.

Em seguida ao preenchimento da matriz de AHP foi feito o cálculo da média aritmética de cada linha da matriz de comparações paritárias, sendo que, cada linha está associada a um critério e a um componente do vetor de pesos. Após terminar este processo, o próximo passo é normalizar as componentes, dividindo seus valores pela soma de todas as componentes. Desta forma, os valores dos pesos dos critérios estarão entre 0 e 1 e sua soma será igual a 1. Vale ressaltar que o método AHP admite que a incongruência pode ser intrínseca ao comportamento humano. Por isso, Saaty (1980) propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC). O Quadro 7 permite observar os valores de RC (Razão de Consistência) aceitáveis (abaixo de 0,1). Se o índice de consistência se mostrar insatisfatório, as comparações referentes a esta matriz deverão ser revistas novamente (DEVINCENZI, 2004).

Considerando os valores empregados pelos estudos de Saaty, o valor de RC (Razão de Consistência) da matriz apresentada está em seu limite apropriado de consistência. Para fins

práticos, recomenda-se que a RC não exceda certos limites que irão variar de acordo com a ordem da matriz. O Quadro 7 representa o valor máximo de RC recomendado para cada matriz.

QUADRO 7: Razão de Consistência

N	3	4	≥ 5
RC menor que	0,05	0,08	0,1

Fonte: SAATY, 2002.

Os valores de RC indicam o nível de confiabilidade no resultado. Caso os valores não sejam inferiores a 0,1 e essas alterações impliquem em mudanças na resposta, deverá se chegar a um novo consenso quanto aos valores que, de fato, serão escolhidos. Esta matriz deverá ser preenchida novamente até alcançar um valor satisfatório de Razão de Consistência.

Para a confecção do mapa de análise de interesse ambiental à expansão urbana, com base no método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP) foi executado com ferramenta de AHP no site da *ArcScripts*. A finalidade da utilização desta ferramenta é fazer análises comparativas entre as variáveis já selecionadas e gerar os pesos a serem utilizados na análise multicriterial, conforme representado na Figura 18.

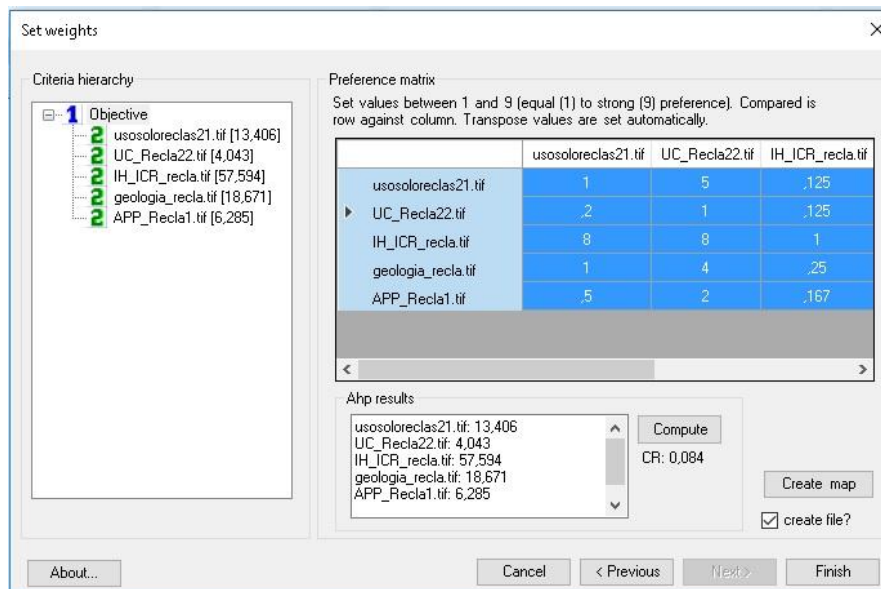


Figura 18: Tabela de AHP
Fonte: Aplicativo AHP ARCGIS 10.3

Destaca-se que o valor de Razão de Consistência foi de 0,084. Com isso, posteriormente ao preenchimento da tabela e a averiguação dos parâmetros de aceitação, foi feita a análise multicriterial ponderando cada uma das variáveis na linha de comando *raster calculator*, no software *Arcgis 10.3*. Após a inserção desta linha é gerada uma superfície *raster* com os parâmetros inseridos a partir do método de AHP. Posteriormente, essa matriz foi reclassificada, cujas classes foram denominadas: Muito Alto, Alto, Médio, Baixo e Muito Baixo.

É necessário esclarecer, ainda, que, como feito no método Delphi, no método de AHP também foi feito o recorte das áreas consideradas já urbanizadas. Isto é, os distritos de Sede Itabira, Ipoema e Senhora do Carmo. A base utilizada para este recorte, como já foi mencionado anteriormente, é a base do Censo Demográfico do IBGE de 2010. Desta maneira, para esta pesquisa, foram utilizados os dois métodos (que são muito utilizados na literatura acadêmica) de apoio à análise multicriterial. A partir de agora, serão descritos, com a auxílio de estudos já publicados, as vantagens e desvantagens destes dois métodos aplicados na pesquisa.

O primeiro método a ser analisado é o método de Delphi, este se baseia na experiência independente de vários especialistas, sendo considerado sistemático e interativo de estimativa. A partir dos ideais de Carter e Beaulieu (1992) foi elaborado e adaptado um quadro para a compreensão das vantagens e desvantagens deste método (Quadro 8).

QUADRO 8: Vantagens e Desvantagens do Método Delphi

Vantagens	Desvantagens
Economia	Não deve ser visto como uma solução final
Livre de Pressão Social, influência da personalidade e domínio individual	Requer habilidade em comunicação escrita
Permite o anonimato dos participantes	Requer tempo Adequado e comprometimento dos participantes
Propício para a independência de pensamento e formulação gradual	Mais demorado do que as outras técnicas, como a de grupos nominais;
Permite o compartilhamento de informações e raciocínio entre os participantes	Tendência para eliminar posições extremas e forçar um consenso médio;

Pode ser usado para chegar a um consenso entre grupos hostis	O Julgamento é de um grupo selecionado de pessoas e pode não ser considerado representativo.
Um selecionado painel de representantes, uma mistura de oficiais, indivíduos conhecedores, oficiais regionais, cidadãos da comunidade, cientistas sociais e acadêmicos; dentre outros;	
Podem fornecer uma ampla perspectiva analítica dos problemas locais.	

Fonte: Adaptado de Carter e Beaulieu (1992).

O segundo método é caracterizado por possuir o uso de técnica de abordagem comparativa (Archer & Ghasemzadeh, 1999), denominado Método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP), desenvolvido por Thomas Saaty em 1970, que permite a elaboração de uma estrutura hierárquica a partir de múltiplos critérios e várias tomadas de decisões (Hatcher, 2008; T. Saaty, 1999). Para melhor representação e compreensão das vantagens e desvantagens desse método, foi elaborado e adaptado o Quadro 9, a partir da análise dos estudos de Berzins (2009) *apud* Goodwin e Wright (2005).

QUADRO 9: Vantagens e Desvantagens do método de AHP

Vantagens	Desvantagens
Versatilidade	Defasagem em situações com grandes quantidades de critérios
Simplicidade de comparação entre pares	Problemas com o auto vetor na inserção de novas alternativas
Estrutura formalmente os problemas	Possibilidade de respostas não coerentes
Permite checar a consistência dos pesos atribuídos	Inconsistência imposta pela escala de 1 a 9
Aplicação em situações que são utilizados intervalos numéricos para representar prioridades	A conversão da escala verbal para escala numérica pode alterar significativamente o resultado

Fonte: Adaptado de Berzins (2009) *apud* Goodwin e Wright (2005).

Esta pesquisa utilizou os dois métodos de análise multicriterial para mapear os níveis de restrição ambiental à expansão urbana no município de Itabira-MG, que foram analisados conforme vantagens e desvantagens oferecidas. Para melhor visualização desta comparação,

apresenta-se a Tabela 2, na qual estão representadas as variáveis utilizadas nesta pesquisa, com os seus respectivos pesos nos dois métodos empregados.

TABELA 2: Pesos Finais - Método Delphi e Método de AHP

Variáveis	Método Delphi Pesos	Método de AHP
Uso e Ocupação do Solo	18,14	13,406
Geologia	18,90	18,671
Geomorfologia (Hack-ICR)	17,20	57,594
APPTotal	23,06	6,285
Unidade de Conservação	22,68	4,043
TOTAL	100	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar os dois métodos observou-se o resultado da superfície gerada, com base na análise de multicritério, notando que o método de AHP, por ser feito a partir de uma análise comparativa dos pesos, possui características muito mais subjetivas, ou seja, é um método que utiliza a opinião pessoal de cada indivíduo ou profissional a respeito da temática abordada. Os resultados permitem observar que a variável cujo valor da nota mais se assemelha nos dois métodos utilizados é a *Geologia*. Outra constatação é que no método de AHP a variável *Unidade de Conservação* possui valor mais baixo se comparado ao método de Delphi. Este fato pode ser explicado devido a subjetividade do método de AHP, considerando que, no método de Delphi, a variável *Unidade de Conservação* possui valor alto. Logo, esse parâmetro mais baixo pode ser explicado pela seleção dos profissionais entrevistados, visto que estes, em sua maioria, são conhecedores dos valores ambientais empregados nas Unidades de Conservação, conforme destacado na Quadro 03.

Explicita-se, ainda, que o maior valor de nota a ser considerado a uma variável no método de AHP é o de Geomorfologia; todavia, ao comparar os pesos, observa-se que esta mesma variável, no método Delphi, possui o menor valor dentre as outras variáveis utilizadas.

3.2.3 Análise de Incerteza (AI) e Análise de Sensibilidade (AS)

A simulação de Monte Carlo (SMC) é um método estatístico, empregado em simulações estocásticas, e que vem sendo empregado em diversas áreas de conhecimento (CROSETTO; TARANTOLA; SALTELLI, 2000; FELGUEIRAS, 2001; FONSECA, 2015). O método de Monte Carlo é um dos vários métodos para análise da propagação da incerteza e sua grande vantagem é determinar como uma variação randomizada, já conhecida ou o erro, afetam a performance ou a viabilidade do sistema que está sendo modelado.

Neste trabalho, a formulação do problema consiste na utilização do Método de Simulação de Monte Carlo, para apurar e aferir a incerteza e a sensibilidade das 5 variáveis utilizadas, com o objetivo principal de avaliar os níveis de restrição ambiental à expansão urbana no município de Itabira-MG. Com este objetivo, o presente capítulo, irá apresentar as etapas de preparação, integração e simulação de Monte Carlo, dos dados em formato *raster*, conforme proposta de Jankowski e Ligmann-Zielinska (2012, 2014), para assim desenvolver a abordagem SASE (*Sensibility Analysis to Suitability Evaluation*).

O primeiro procedimento a ser feito é a normalização dos valores de cada uma das variáveis, convertidos em uma escala de 0 e 1. Isto significa que todas as variáveis devam começar com o mesmo valor mínimo (zero) e terminar com o mesmo valor máximo (um); destacando que todas são representadas em camada temática. Tal procedimento tem por finalidade transformar as variáveis para facilitar a comparação estatística e visual entre elas, uma vez que possibilita a equalização da escala de valores. (MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2014). Sendo assim, todas as variáveis analisadas tiveram seus atributos numéricos normalizados para o intervalo entre 0 e 1, conforme pode ser observado na Figura 19.

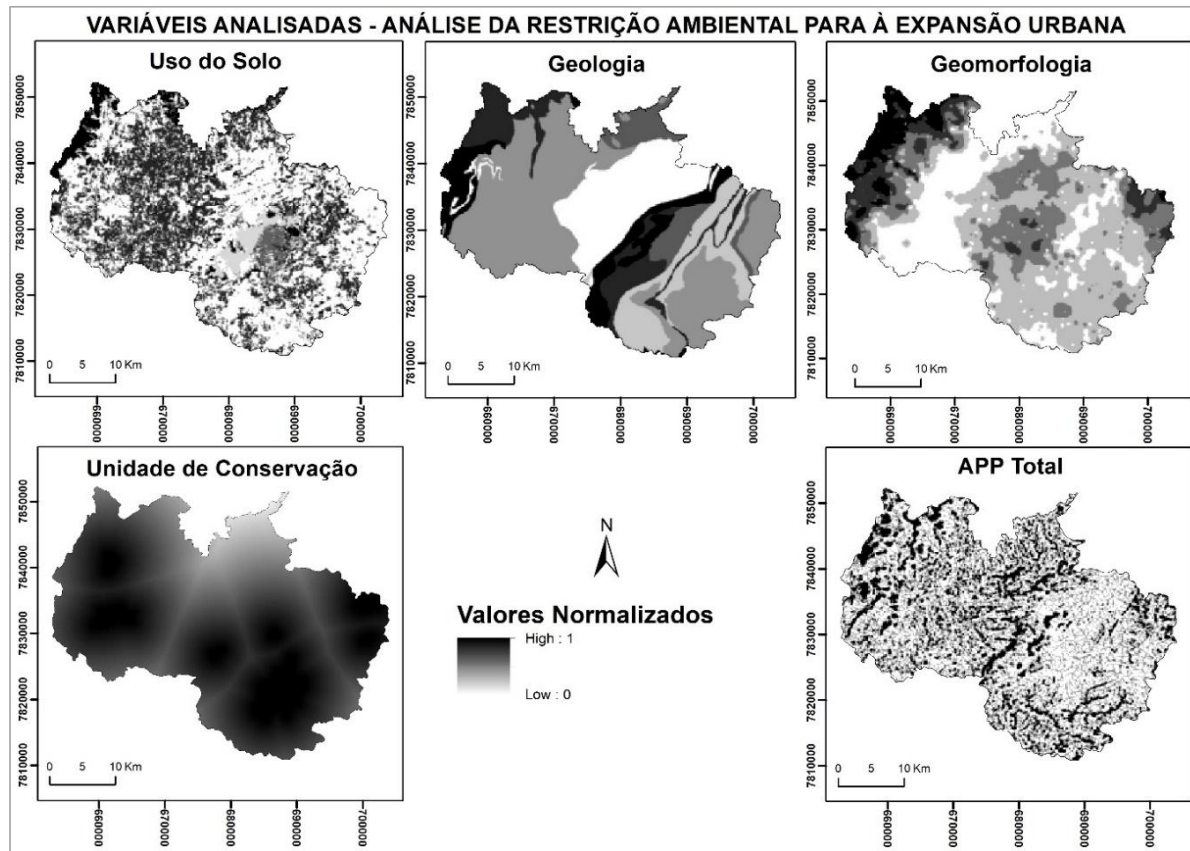


Figura 19: Variáveis analisadas normalizadas
 Fonte: Brandani (2017)

A segunda etapa do procedimento consiste em transformar a superfície que está em formato matricial (*raster*) para o formato vetorial de pontos. Nesta etapa do procedimento foi utilizada a ferramenta *Raster To Point* do menu *Arctoolbox do Arcgis 10.3*. Com o objetivo de atender os quesitos dos algoritmos de "*Uncertainty and Sensitivity Analysis to Land Suitability Evaluation*", desenvolvidos e customizados no conjunto de ferramentas denominado "*Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options*", fez-se a conversão de *raster* (matricial) para ponto (vetorial). Tais ferramentas de análise espacial apresentadas foram desenvolvidas pelo Professor Piotr Jankowski do Departamento de Geografia da *San Diego State University*.

A primeira conversão foi realizada no *raster* de uso e ocupação do solo. Após a conversão para ponto (vetorial) o vetor de pontos foi utilizado para extrair os valores das outras camadas, de modo que no final deste processo estavam disponíveis, no vetor de pontos, informações das cinco variáveis utilizadas neste trabalho. Posteriormente, neste vetor que contém informações de todas as variáveis foi utilizada a ferramenta "*Monte Carlo Weighted Sum*". Nesta etapa, as colunas com os atributos foram especificadas e os valores dos pesos máximos e mínimos indicados em "*Minimum Weights String*" e "*Maximum Weights String*".

Para definir os valores dos pesos utilizados neste momento foi usada a lógica da função de densidade de probabilidade (probability density function, PDF), fundamentada pelo desvio padrão entre as opiniões dos especialistas que responderam o questionário Delphi. A partir disso, considerou-se o peso médio, o peso máximo (média mais desvio padrão) e o peso mínimo (média menos o desvio padrão) das respostas. O método de Monte Carlo foi executado para realizar 10.000 simulações possíveis, entre os pesos máximos e mínimos, apresentados na Tabela 3, logo abaixo. Cada simulação processou uma análise de multicritérios de acordo com a equação a seguir:

$$AMC = \sum_{k=1}^n (P_k \times N_k)$$

Em que AMC corresponde ao resultado da análise de multicritérios em cada ponto da matriz, n é o número de critérios, P_k é o peso atribuído a cada critério e N_k é o valor normalizado de cada componente de legenda. Como diagnosticado a SMC produziu vários resultados a partir das 10.000 mil simulações, esses resultados foram agrupados e transformados em uma única superfície de valores médios (average suitability maps), sendo

que a incerteza corresponde ao desvio padrão desses múltiplos resultados de multicritérios são oriundos da SMC. (LIGMANNZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014).

Na última etapa da SMC é realizada a Análise de Sensibilidade (AS), que consiste na Decomposição da Variância dos seus resultados. Para fazer esta parte do procedimento foi utilizada a ferramenta “*Variance Decomposition (Average Shift in Ranks & Robust Winner)*”, presente no pacote “*Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options*”.

TABELA 3: Pesos atribuídos durante a aplicação do questionário Delphi

Critério	Peso Médio	DP*	Min (M-DP)	Max (M+DP)	Moda
Geomorfologia	17,2	1,47	15,87	19,84	
APP Total	23,06	1,93	13,88	19,84	
Unidade de Conservação	22,68	2,96	9,89	19,84	28,35
Geologia	18,9	2,94	9,89	19,84	25,51
Uso e Ocupação da Terra	18,14	2,1	11,9	19,84	22,68

Fonte: Resultado da Pesquisa.

Como resultado foi gerado um arquivo de extensão “.txt” com um índice de sensibilidade de primeira ordem (S) e um índice de sensibilidade global (ST). Os resultados de “S” indicam quais variáveis, utilizadas neste estudo, influenciam a incerteza associada ao processo de avaliação multicriterial. Já os valores de ST indicam o nível de interação destas variáveis umas com as outras. Desta forma, o resultado pode indicar a alteração de uma ou mais variáveis, visando uma melhor adequação e eficácia do modelo estabelecido anteriormente. As definições dos algoritmos do método de Monte Carlo e do método de Decomposição da Variância, no âmbito das análises de incerteza e sensibilidade em avaliação multicriterial podem ser observadas em Crosetto *et al.* (2000), Fonseca (2015) e Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014).

Posteriormente a estas etapas foi adotado o procedimento de recortar em todas as variáveis as áreas já urbanizadas do município. Para isso foi utilizada a base do Censo demográfico do IBGE 2010. Na base, no software *Arcgis 10.3*, foi selecionada apenas as poligonais com a coluna descrita como “área urbana”, em seguida, foi feito o recorte dos *rasters* com a base do Censo IBGE 2010 utilizando a ferramenta “*Clip*”. É importante destacar, que este procedimento adotado direcionou o objetivo central do trabalho, que é o de verificar as áreas que possuem maior ou menor restrição no município e consequentemente analisar e mitigar antes de pensar em expandir. Por outro lado, propôs não só referências a expansão urbana, mas também referências as áreas que devem ser preservadas no território de

Itabira, visando uma expansão dita “sustentável”, de modo que, se ocorrer, será de forma pensada e com uma importante ferramenta científica de auxílio, a Análise Multicriterial junto a Simulação de Monte Carlo.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, inicialmente, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação dos métodos utilizados e técnicas de Geoprocessamento em ambiente SIG. Em seguida, serão mostrados os resultados alcançados pela superfície gerada pelo método de AHP e Delphi. Na última parte, são apresentados os resultados da simulação de Monte Carlo; indicando as regiões e variáveis que apresentaram maior sensibilidade e incerteza. Todas essas etapas buscam avaliar e representar as áreas de maior e menor restrição à expansão urbana no município de Itabira, possibilitando assim aferir a eficiência e eficácia do modelo utilizado.

4.1 MODELOS DE RESTRIÇÃO AMBIENTAL: DELPHI E AHP

Como resultado, representado no Mapa de Restrição Ambiental para a expansão urbana (Figura 20), com aplicação do Método de Delphi, identificaram-se as áreas que possuem características de menor restrição, representadas pelas classes *Muito Baixa* ou *Baixa*. Pode-se constatar, que estas áreas apresentam-se de forma fragmentada espacialmente, não havendo clara concentração espacial. Ao analisar a variável de geomorfologia, pode se constatar, que estas áreas possuem declividades menos acentuadas e mais contínuas e consequentemente são áreas que possuem menor restrição a expansão.

É necessário ressaltar, contudo, que estas regiões não possuem unidades de conservação, e a variável *uso e ocupação do solo* possui um peso de valor baixo, devido a fitofisionomia mapeada na região: 2 para a fitofisionomia pasto e 5 para as áreas de fitofisionomia de plantação de eucalipto. Quanto a variável APP Total, dentre as áreas de preservação, aquelas que possuem peso mais restritivo correspondem aos topos de morro.

O volume destas áreas é menor nas regiões próximas consideradas de *Muito Baixa* a *Baixa* restrição à expansão urbana. As áreas consideradas de *Média* restrição estão situadas, em grande parte, nas extremidades do município e nas regiões de afloramento rochoso, nas proximidades da Serra do Espinhaço, dispersas ao longo do município. Uma porção considerável de área de *Média* restrição está localizada ao sudeste. Considerando que esta região possui declividade menos acentuada e que suas características

geomorfológicas, conforme representadas no mapa de geomorfologia, extraído pelo índice de Hack e o Índice de Concentração de Rugosidade, são de *Baixa* a *Muita Baixa* intensidade, a ocupação urbana destas áreas se mostra menos restritiva.

Já as áreas de *Alta* e *Muito Alta* restrição estão bem dispersas ao longo do município, principalmente nas regiões que possuem maior variação e porcentagem da declividade, como aquelas próximas a Serra do Espinhaço e as regiões que possuem as unidades de conservação de proteção integral, como as regiões do Parque Natural Municipal da Mata do Limoeiro e aquela localizada na Reserva Biológica Municipal da Mata do Bispo. Ainda, há pequenas porções de áreas consideradas de restrição *Alta* e *Muito Alta* nas encostas da Serra do Espinhaço e a nordeste do município, próximo à divisa entre os municípios de Itabira, Santa Maria de Itabira e Nova Era. Dessa forma, o grau intenso de áreas propícias à expansão está concentrado, principalmente, nas regiões de norte e sul dos distritos de Ipoema e Senhora do Carmo, e nordeste do distrito Sede do município, o que realça, ainda mais, a importância do planejamento e gestão territorial.

Já o Mapa de Restrição Ambiental para a expansão urbana através do Método de AHP, também, possibilitou identificar as áreas que possuem características de menor a maior restrição, representadas na legenda de *Muito Baixa* a *Muita Alta*, como pode ser constatado a na Figura 21. Considerando o nível de restrição ambiental à expansão urbana, as áreas apresentadas com o nível *Baixa* de restrição estão concentradas, de forma fragmentada, a sudeste dos distritos de Ipoema e Senhora do Carmo. Há também uma pequena porção desta área a nordeste do distrito Sede de Itabira. Levando em consideração os fatores geomorfológicos destas regiões pode-se afirmar que, a restrição nesta porção do município vai apresentar sempre um nível mais favorável à expansão urbana. É importante destacar, mais uma vez, que estas regiões não possuem unidades de conservação e a variável *uso e ocupação do solo* possui fitofisionomia de valor ambiental “baixo”, conforme já apresentado no método de Delphi.

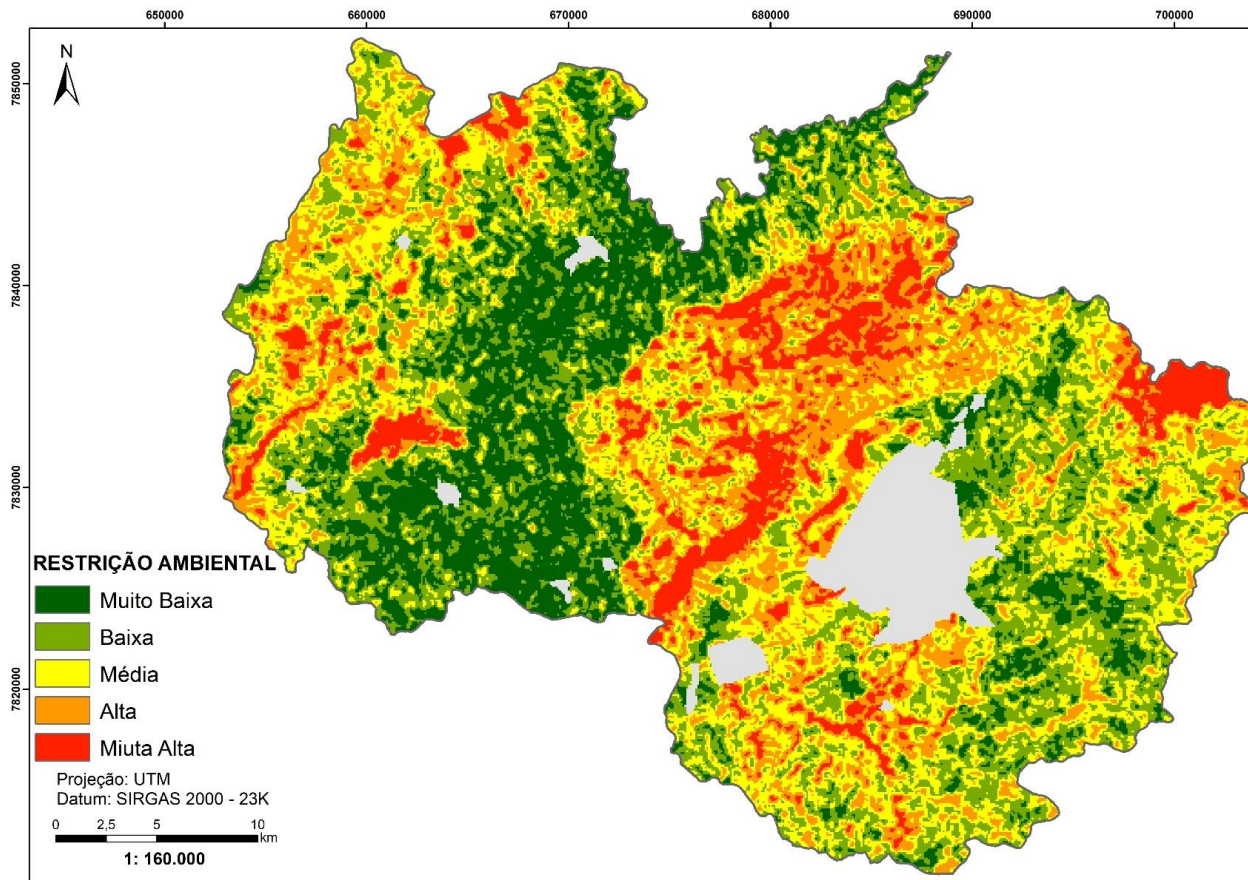


Figura 20: Níveis de restrição ambiental para à expansão urbana em Itabira/MG - Método Delphi

Fonte: Resultado da pesquisa

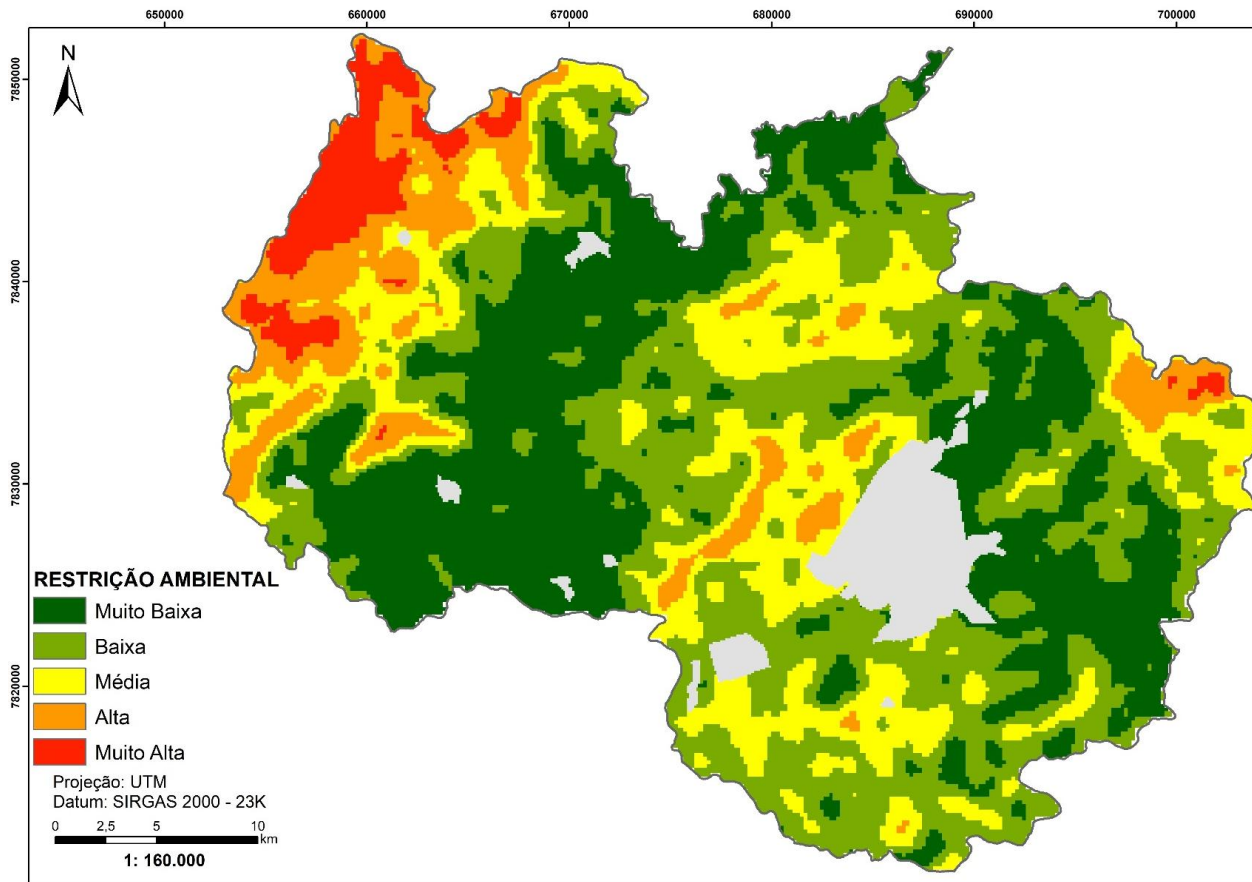


Figura 21: Nível de restrição ambiental para a expansão urbana em Itabira/MG - Método de AHP
Fonte: Resultado da pesquisa

As áreas consideradas de *Média* restrição estão bem dispersas no território do município. Em geral, observa-se que no extremo oeste do município, regiões de afloramento rochoso, localizado nas proximidades da Serra do Espinhaço há um maior nível de restrição. Já as áreas de *Alta* e *Muito Alta* restrição estão concentradas no centro e nas extremidades do município de Itabira, próximo à unidade de conservação de proteção integral Parque Natural Municipal da Mata do Limoeiro e à Reserva Biológica da Mata do Bispo. Além disso, são mais evidentes na extremidade noroeste do município, região de geologia caracterizada como afloramento rochoso, mais conhecida como Serra do Espinhaço, próximo à divisa entre os municípios de Itabira, Santa Maria de Itabira e Nova Era.

4.2 MODELOS DE ANÁLISE DE INCERTEZAS E SENSIBILIDADE: RESULTADOS DA SMC

Após o procedimento de Decomposição da Variância, o próximo passo foi analisar o resultado obtido dos valores S, isto é, dos valores de incerteza de cada variável analisada a partir da utilização do método de Monte Carlo. O diagnóstico ideal é aquele em que os valores de S estão bem próximos de zero; o que significa que as variáveis, praticamente, não possuem incerteza. Com isso, as variáveis com valores negativos, *Unidade de Conservação e APP Total*, nesta pesquisa, são as que apresentam menos incerteza. E a variável de maior incerteza é a de *Uso e Ocupação do Solo*.

Em seguida, foi analisado o ST que é um índice responsável por avaliar o quanto cada variável interage com as demais. O resultado indica que a variável que menos interage com as demais é a *APP Total e Unidade de Conservação*, cujo respectivos valores de interação são 0.007 e 0.009.

Ainda, dentre as variáveis utilizadas, as que possuem média interação com as demais é a Geologia. Já as variáveis que possuem alta interação, ou seja, em que os valores de índice ST são mais elevados, têm a distribuição parecida com a distribuição das demais; são elas: *Uso e Ocupação do Solo e Geomorfologia* com os respectivos valores de 0.402 e 0.431, conforme pode ser analisado na Tabela 4.

TABELA 4: Análise de sensibilidade da restrição ambiental para à expansão urbana

Critérios	S	ST	%S	%ST
Uso e Ocupação do Solo	0.402	0.504	40.2	41.3

Geologia	0.164	0.027	16.4	22.1
Unidade de Conservação	0.009	0.009	0.9	0.7
APP Total	0.003	0.007	0.3	0.6
Geomorfologia	0.343	0.431	34.3	35.3

De acordo com Jankowski (2014), ao analisar os valores da coluna de %S a soma dos valores das variáveis deveria resultar em 100%. Porém, obteve-se o valor de 92.1%. Logo, o NONL resultou em 7.9. Trata-se de um valor baixo. Entretanto, é importante evidenciar que isso não é um erro, mas sim uma resposta extraída pelo método de Monte Carlo, utilizando-se do procedimento de Decomposição da Variância. Jankowski também explica que o resultado do NONL baixo não significa, necessariamente, que há baixa interação entre as variáveis. Neste caso, estes valores obtidos significam que, as variáveis têm baixa interação. Não há possibilidade de retirar ou acrescentar uma ou outra variável, pois pode afetar na qualidade da resposta em seu conjunto.

Na coluna do %ST a soma dos valores está totalizando 100%. Isso significa que as variáveis que mais interagem com as demais são: *Uso e Ocupação do Solo* e a *Geomorfologia* (41.3% e 35.3%). A variável que têm média interação com as demais é a *Geologia* (22.1% e 15.1%). As variáveis que menos interagem com as demais são *Unidade de Conservação* e *APP Total* (0.7% e 0.6%). Na Tabela 4, está representado em forma qualitativa, os níveis de incerteza das variáveis de estudo. Na Tabela 6, está representado em forma quantitativa as áreas de Muito Alto a Muito Baixa Restrição Ambiental à Expansão Urbana.

TABELA 5: Sugestão final

Variável	Interação	Incerteza	Sugestão
Uso e Ocupação do Solo	Alta	Baixa	Média Importância
Geologia	Média	Média	Média Importância
Geomorfologia	Alta	Média	Alta a Média Importância
APP Total	Baixa	Baixa	Importante
Unidade de Conservação	Baixa	Média	Média a Baixa Importância

TABELA 6: Análise quantitativa da restrição ambiental à expansão urbana

Restrição Ambiental	ÁREA (HEC)	%
Muito Baixo	25015,87	21,03
Baixo	25613,92	21,53
Médio	27439,77	23,07
Alto	13850,52	11,64
Muito alto	26994,84	22,73
TOTAL	118914,92	100

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir das 10.000 simulações de Monte Carlo, na avaliação do índice de multicritério (AVG), foi possível quantificar as áreas de *Muito Alta* a *Muito Baixa* restrição ambiental à expansão urbana. Analisando os resultados finais da superfície de Monte Carlo, observou-se que em algumas porções das regiões oeste, noroeste, central e em uma parcela da região leste da área de estudo concentra-se a maior quantidade de áreas classificadas como de *Alta* e *Muito Alta* restrição ambiental à expansão, o que corresponde a quase 34,37% do município de Itabira (Tabela 5). Destaca-se que, na extremidade leste do município, também é possível observar uma região considerada como *Muita Alta* restrição. Isto pode ser explicado devido a existência de duas unidades de conservação de proteção integral: o Parque Natural do Ribeirão São José e a Reserva Biológica Municipal da Mata do Bispo.

As áreas consideradas de *Média* restrição estão espalhadas em todo o município, o que corresponde a quase 23,07% do território de Itabira. E as áreas consideradas de *Baixa* e *Muito Baixa* restrição estão localizadas próximas ao distrito Sede de Itabira e aos distritos de Ipoema e Senhora do Carmo, as quais correspondem a quase 42,56 % do município, segundo a análise multicriterial feita a partir do método de Monte Carlo. Estes resultados estão representados na Figura 22.

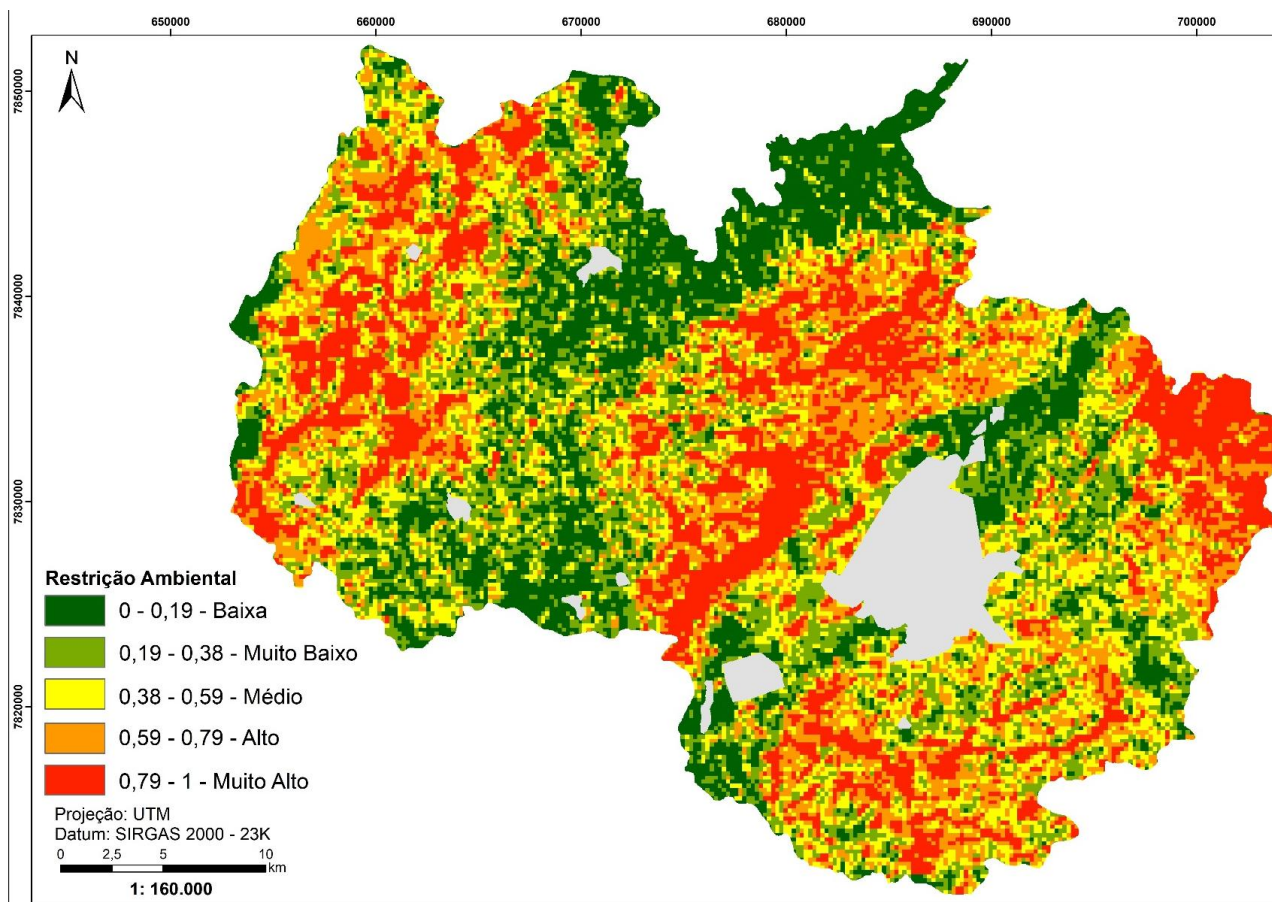


Figura 22: Análise de multicritérios para avaliação da Restrição Ambiental à Expansão Urbana no município de Itabira/MG
Fonte: Resultado da Pesquisa

4.3 Avaliação das incertezas e da sensibilidade, associados às análises de multicritérios

De acordo com Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014) e Fonseca (2015) os resultados das avaliações multicriteriais são associados às incertezas relacionadas à distribuição espacial dos critérios e aos pesos a eles atribuídos. Como pode ser observado na Figura 23, a média resultante da análise de multicritérios executada na SMC, e no segundo mapa é de incerteza associada à avaliação multicriterial simulada.

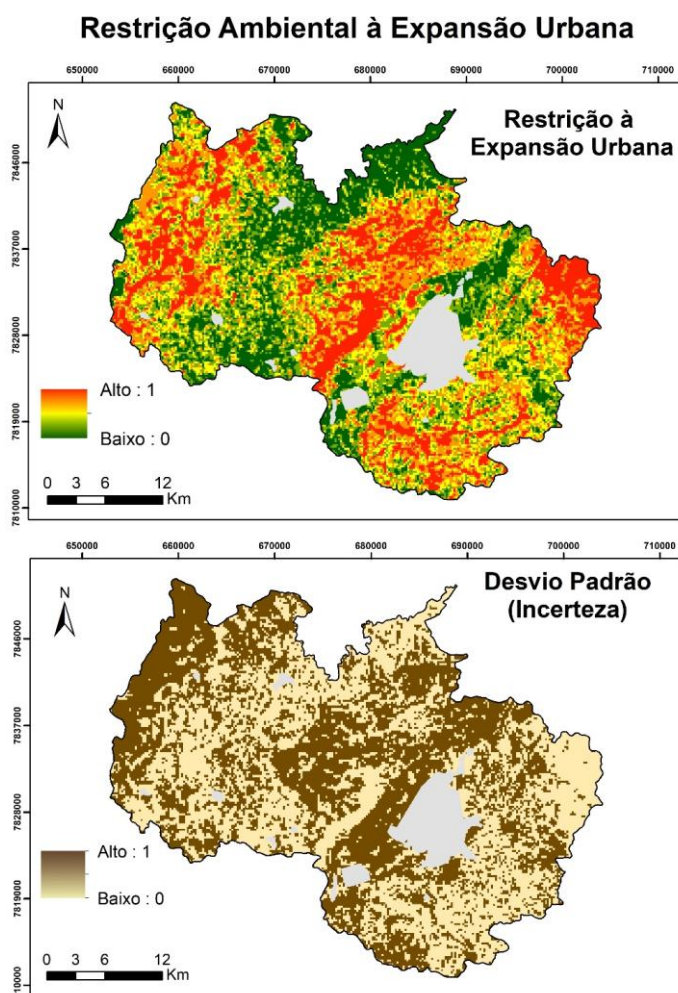


Figura 23: Nível de restrição ambiental, conforme a análise de multicritérios, à baixo o resultado da análise de incerteza

Fonte: Resultado da Pesquisa

Além de identificar essas áreas de restrição ambiental, buscou-se, também, associar as análises de incerteza, conforme sugerido pelos autores citados. (Quadro 10). Neste quadro, admitiu-se que os valores mínimos considerados nas análises de multicritérios para a área a ser classificada como *alta restrição* devem ser $\geq 0,50$ e os valores mínimos a partir dos quais as áreas são classificadas como de *alta incerteza* devem ser $\geq 0,10$. Desta maneira a área de estudo foi agrupada em quatro classes representadas no Quadro 10.

QUADRO 10: Associação dos valores das Análises de Multicritérios e de Incerteza

		Potencial (P) (Análise de Multicritérios)	
		Baixo	Baixo
Incerteza (I)	Alto	$P \geq 0,50$ e $I \geq 0,10$ Alto-Alto	$P < 0,50$ e $I \geq 0,10$ Baixo-Alto
	Baixo	$P \geq 0,50$ e $I < 0,10$ Alto-Baixo	$P < 0,50$ e $I < 0,10$ Alto-Alto

Para Jankowski (2014) estas classes são constituídas a partir da tabela de Cotejo Simplificado do Rank STD & Rank AVG, apresentada, a seguir, na Tabela 7.

TABELA 7: Cotejo Simplificado do Rank STD & Rank AVG

RANK STD		
	Valores para Combinação	0 1
Multicritério	0	0 1
Resultados	2	2 3

Jankowski explica que a Tabela 7 representa a identificação das relações, sendo:

- 0 (alto desvio padrão - STD), alto Análise Multicriterial (AVG);
- 1 (baixo desvio padrão - STD), alto Análise Multicriterial (AVG);
- 2 (alto desvio padrão - STD), baixo Análise Multicriterial (AVG) e
- 3 (baixo desvio padrão - STD), baixo Análise Multicriterial (AVG).

Sendo assim, as áreas consideradas mais restritivas são resultantes da AMC maiores ou iguais a 0,50, e os valores de incerteza menores ou igual a 0,10. Estas são áreas de *Alta*

restrição e *Baixa* incerteza, ou seja, são áreas que possuem baixo valor do desvio padrão (STD) e alto valor da Análise Multicriterial (AVG).

Com isso, as áreas que apresentam AMC de *Baixa* incerteza e *Alta* restrição, possuem valor maior ou igual a 0,50, e desvio padrão maior ou igual a 0,10. As áreas com *Baixa* incerteza e *Alta* restrição apresentam valores de AMC maior ou igual a 0,50, e valores de desvio padrão menor ou igual a 0,10. As áreas com *Alta* incerteza e *Baixa* restrição apresentam valores de AMC menor ou igual a 0,50, e valores de desvio padrão maior ou igual a 0,10. E, por fim, as áreas de *Baixa* incerteza e *Baixa* restrição possuem valores AMC menor ou igual a 0,50, e valores de desvio padrão menor ou igual a 0,10.

Anterior à aplicação da análise de incerteza (AI), as áreas consideradas mais restritivas à expansão urbana na análise de multicritérios foram correspondentes a 34,37% do município. Aplicando a AI o total de áreas com elevado potencial subiu para 52,29%, como podemos ver na Tabela 8.

TABELA 8: Análise quantitativa da Incerteza da Restrição Ambiental à Expansão Urbana

Restrição Ambiental	ÁREA (HEC)	%
3 - Baixa Incerteza associada Baixa Restrição	28142,99	23,68
2 - Alta Incerteza associada Baixa Restrição	28585,75	24,03
1 - Baixa Incerteza associada Alta Restrição	30271,55	25,46
0 - Alta Incerteza associada Alta Restrição	31917,26	26,83
TOTAL	118917,55	100

Fonte: Dados da pesquisa.

Na avaliação da incerteza, Figura 24, foi possível perceber que nas regiões a noroeste do distrito de Ipoema, oeste do distrito de Senhora do Carmo, parte central e uma parcela a nordeste na região da Reserva Biológica do Bispo e a sudeste próxima a APA Pureza, concentra-se a maior quantidade de áreas classificadas como *Baixa* incerteza associada a *Alta* restrição, ou seja, são as áreas mais restritas do município. Estas regiões podem ser explicadas pela distribuição espacial das variáveis *Unidade de Conservação, Uso e Ocupação do solo, APP Total e Geomorfologia*. Quando se trata da região oeste, do município, pode-se destacar a declividade acentuada nas extremidades do município, caracterizado com a fitofisionomia de afloramento na variável de uso e ocupação do solo, uma região de declive acentuado e irregular. Na extremidade leste, onde também se encontram áreas caracterizadas como de

Baixa incerteza associada á *Alta* restrição, a concentração de Unidades de Conservação de Proteção Integral é grande, justificando assim o porquê destas áreas possuírem características de *Alta* restrição. Ao quantificar estas regiões, o valor correspondente é de 52,29% do município de Itabira, conforme representado na Tabela 8.

Dentre as variáveis utilizadas nesta pesquisa, as que influenciaram muito a incerteza geral da análise foi, em primeiro lugar, a de *Uso e Ocupação do Solo*, representando 41,3% da incerteza e, em segundo lugar, a de *Geologia* com o valor de S% igual a 22,1% (conforme mostra a Tabela 4).

Analisando o mapa de incerteza associado à avaliação da restrição ambiental à expansão urbana, as incertezas e as sensibilidades indicaram duas variáveis como as mais eficazes para a avaliação da restrição, sendo a *Unidade de Conservação* e a *APP Total*. A variável que atribuiu mais incerteza foi a de *Uso e Ocupação do Solo*. Outra variável importante, que pode ser acrescentada ou até mesmo substituir essa variável é a base de zoneamento do município. O zoneamento é um instrumento de ordenamento físico territorial, utilizado por parte do poder público, onde pode se definir critérios de densidade, de respeito ao meio ambiente, das condições de infraestrutura, do parcelamento da ocupação e da gama de licenciamento de atividades realizadas em área urbana. Sendo assim, quando falamos de expansão, o zoneamento se torna uma importante ferramenta de análise à restrição ambiental para a expansão urbana.

As áreas consideradas de *Baixa* incerteza e *Baixa* restrição e as áreas de *Alta* incerteza e *Baixa* restrição estão concentradas nas proximidades do distrito Sede e nas proximidades dos outros dois distritos de Itabira. Esta região corresponde a quase 47,71% do município de Itabira. É oportuno destacar, ainda, que, mesmo que estas regiões tenham ficado com *Baixa* restrição à expansão urbana, não significa que o município e seus responsáveis não precisem se preocupar com as medidas mitigadoras de expansão destas áreas. Lembrando também que Itabira é um município minerário, que possui uma desastrosa condição de conflito entre a mineração e o processo de expansão urbana (FONSECA, 2015).

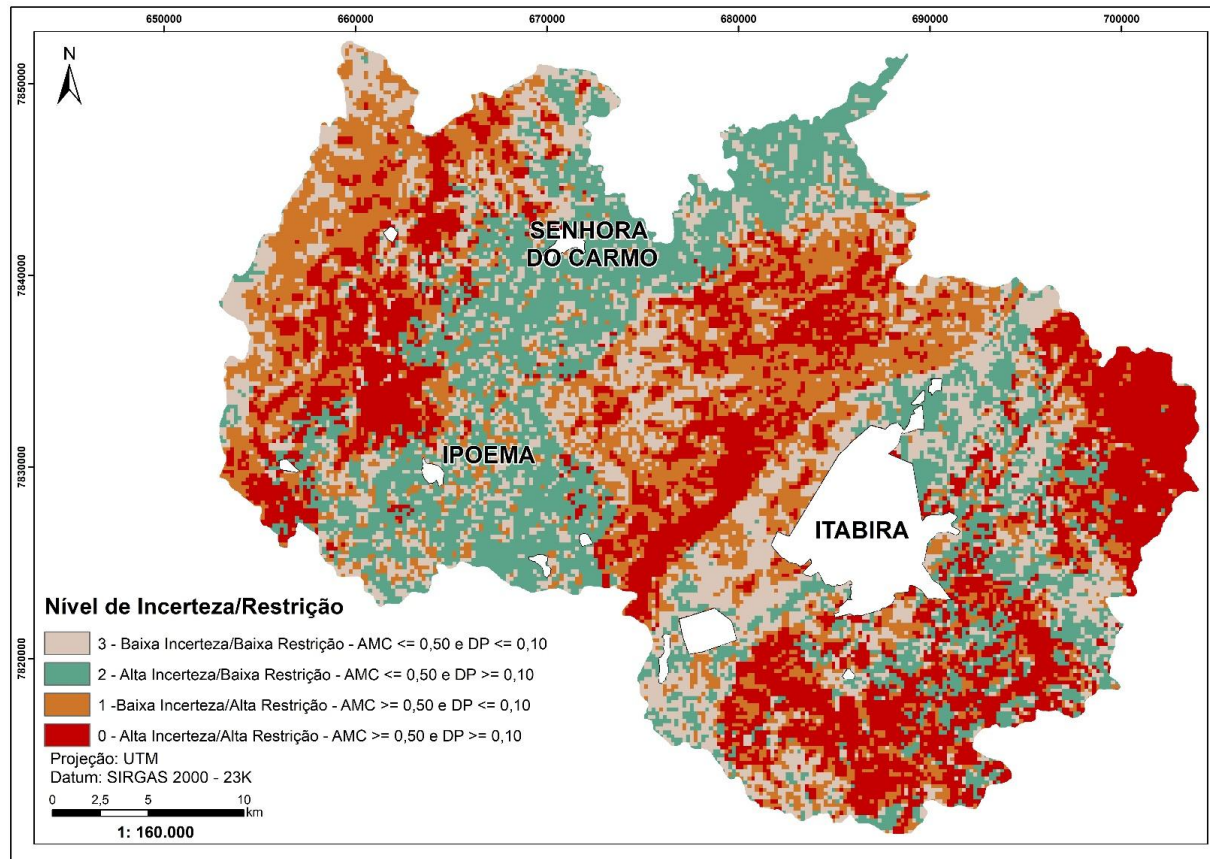


Figura 24: Análise de incerteza associada à avaliação da Restrição Ambiental à Expansão Urbana

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para melhor representação do contexto urbano do município, neste trabalho, foram realizadas modificações no tratamento das variáveis e incluídas outras técnicas, buscando também o aprimoramento científico e metodológico dos procedimentos utilizados neste tipo de análise territorial. Foram incluídas, portanto, as Análises de Incerteza e Sensibilidades, o método Delphi para a atribuição de pesos e outra proposta metodológica para quantificar e avaliar os níveis de restrição ambiental para a expansão urbana em Itabira/MG. A partir da análise de sensibilidade e incerteza, é possível averiguar, confirmar e completar se as variáveis e os métodos utilizados na pesquisa são favoráveis ou não para responder à problemática estudada. Além disso, demonstrou-se, mais uma vez, a eficiência do emprego de tais técnicas em análises espaciais, sobretudo, para evidenciar áreas de possíveis conflitos de interesses em diversos contextos, e no caso desta pesquisa, os conflitos relacionados à expansão urbana no município. Nesse aspecto, o processo metodológico apresentado pode ser utilizado, como auxílio, no zoneamento de municípios, na elaboração de diretrizes e leis de uso e ocupação do solo, viabilizando a implantação de atividades espacialmente coerentes com as características ambientais.

Assim, o método de Monte Carlo consiste em uma importante ferramenta para validar de forma mais eficaz a resposta final de um determinado modelo de representação. Desta forma, as incertezas do modelo resultante poderão ser usadas na geração de diferentes cenários de mapas de restrição à expansão, que servirão de auxílio para tomada de decisões voltadas ao planejamento urbano e ambiental do município.

Em relação à qualidade dos dados cartográficos utilizados nesta pesquisa, de modo geral, atendeu bem a proposta do estudo, uma vez que era esperado como resultado a espacialização de padrões regionais compatíveis com a escala de análise. É certo que, com a utilização de dados com melhor resolução espacial os resultados são melhores. Destaca-se também que, quanto maior o número de iterações, melhor a qualidade do resultado. O número de simulações desta pesquisa foi de 10.000, com cinco variáveis aleatórias, o que possibilitou representar melhor a variabilidade das variáveis de entrada e, em consequência, a variabilidade do resultado.

Além disso, com a análise de sensibilidade foi possível verificar a veracidade das informações resultantes a partir das simulações pré-estabelecidas. A aplicação da AI em

conjunto com a AS permitiu a identificação das áreas que necessitam de averiguação mais aprofundada, que são as áreas de *Alta* restrição e *Alta* incerteza. O aprofundamento na investigação pode ser feito, por exemplo, pela alteração das resoluções dos dados de entrada ou mesmo modificando ou adicionando variáveis. Caso seja preciso começar outra fase de análise espacial, sugere-se o acréscimo de variáveis estritamente relacionadas à expansão urbana, como o Zoneamento Urbano, visando minimizar a incerteza associada ao Uso e Ocupação do Solo. A inserção de variáveis e a troca de outras utilizadas, pode ser de bastante eficiência para que a investigação de suas influências seja analisada em conjunto com outros indicados, possibilitando, assim, uma análise mais eficiente da temática abordada neste trabalho.

Por fim, a Análise de Sensibilidade evidenciou as variáveis que influenciam na incerteza do cenário de restrição a expansão ambiental, como também quantificou essa influência. A análise dos resultados possibilita a realização de ajustes pontuais no modelo, tornando o procedimento recomendável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, H. **Justiça Ambiental e Construção social do Risco**. Rio de Janeiro: IPPUR, 2002.

ARCHER, N.P., & GHASEMZADEH, F. (1999). An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4), 207-216.

AYAG, Z. A Fuzzy AHP-based Simulation Approach to Concept Evaluation in a NPD Environment, *IIE Transactions*, v. 37, pp. 827-842, 2005.

BAPTISTA, A. C. et al. **Análise multicritério aplicado à seleção de áreas para expansão urbana, na APA Petrópolis-RJ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 22, Macaé, 2005. Anais... São Paulo: Monferrer Produções Ltda., 2005. p. 01-10.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BERZINS, LORENA JACOBSON. Avaliação de Desempenho pelo AHP, através do superdecisions; Caso Inmetro. Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc. Dissertação de Mestrado Profissionalizante apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração das Faculdades Ibmecc, 2009.

BORN, Rubens Harry. **Agenda 21 Brasileira: Instrumento e desafios para a sustentabilidade**. In: CAMARGO, Aspásia; CAPOBIANCO, João Paulo R.; OLIVEIRA, José Antonio Puppim de (org.) Meio Ambiente Brasil: Avanços e Obstáculos pós-Rio-92. 2. ed. São Paulo: Estação Liberdade; Instituto Socioambiental; Rio de Janeiro: FGV, 2004.

BRASIL. Legislação Florestal Federal - Código Florestal, Lei Nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965 (com as alterações introduzidas pela Lei 7.803, de 18 de Julho de 1989). Diário oficial da união, Brasília, 16 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm> Acesso em 15 de agosto de 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário oficial da união, Brasília, 21 mar. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>> Acesso em 15 de agosto de 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 302 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Diário oficial da união, Brasília, 20 mar. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>> Acesso em 15 de agosto de 2017.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário oficial da união, Brasília, 26 mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83> Acesso em 17 de agosto de 2017.

BRUNDTLAN, Comissão. **“Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: o nosso futuro comum.** Universidade de Oxford. Nova Iorque, 1987. Disponível em: <http://eubios.info/BetCD/Bt14.doc>.

CALAES, Gilberto Dias et al. (2008) **Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país (Parte 2).** Revista da Escola de Minas. vol.61, n.1, pp. 47-56.

CÂMARA, G.S., CARVALHO, E.J. **Análise de dados espaciais.** Brasília: Embrapa, 2001.

CAMPOS F. Ferreira de e MATIAS L.F. **Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e sua Situação de Uso e Ocupação no Município de Paulínia (SP).** Geociências, São Paulo, v. 31, nº 2, 2012.

CARTER, K. A., & BEAULIEU, L. J. (1992). **Conducting a community needs assessment: Primary data collection techniques.** Retrieved April, 26, 2005.

CARVALHO, Carlos Gomes de. **O que é Direito Ambiental: Dos Descaminhos da Casa à Harmonia da Nave.** Florianópolis: Habitus, 2003.

CARVALHO, L. G.; ALVES, M. C.; CARVALHO, L. M. Y; CASTRO NETO, P.; DANTAS, A. A. A.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; OLIVEIRA, M.S. Clima. In SCOLFORO, J. R. (Coord.). **Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais.** Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA: Belo Horizonte, 2008.

CARVALHO, H.D; BRASIL, E.R. **Conjuntura socioeconômica do município de Itabira. Itabira:** Funcesi, 2009.

COELHO, Maria Célia Nunes. **Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa.** In: GUERRA, Antônio José, CUNHA Sandra Batista (org.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil; 2001.p. 19–45.

COSTA, J. M. M. **Reestruturação, desenvolvimento sustentável e desenvolvimento econômico.** Cadernos IPPUR/UFRJ, ano VIII, n.2/3, set/dez, 1994.

COTA, MAISA DE ALMEIDA. **Áreas de preservação permanente (APPs) – as resoluções CONAMA e o papel das técnicas de geoprocessamento na delimitação das classes de preservação.** 2008. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

CORDANI, Umberto Giuseppe; MARCOVITCH, Jacques; SALATI, Enéas. **Avaliação das ações brasileiras em direção ao desenvolvimento sustentável após a Rio-92.** In: CORDANI, Umberto Giuseppe; MARCOVITCH, Jacques; SALATI, Enéas (org.) Rio 92 cinco anos depois: Avaliação das ações brasileiras em direção ao desenvolvimento sustentável após a Rio-92 [Participação Brasileira na Rio + 5]. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências / CNPq / Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável / Instituto de Estudos Avançados — USP / Editora Alphagraphics, 1997.

COSTA, Heloisa. e BRAGA, Tânia. (2004). **“Entre a conciliação e o conflito: dilemas para o planejamento e a gestão urbana e ambiental”.** In: ACSELRAD, Henri (org.). **Conflitos Ambientais no Brasil.** Rio de Janeiro: Relume Dumará. P. 195-216.

COSTA, H. S. de M.; PEIXOTO, M. C. D. **Dinâmica imobiliária e regulação ambiental: uma discussão a partir do eixo-sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte.** Rev. bras. estud. popul. [online]. 2007, vol.24, n.2, pp. 317-336. ISSN 0102-3098. doi: 10.1590/S0102-30982007000200009.

CROSETTO, Michele; TARANTOLA, Stefano; SALTELLI, Andrea. Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS. **Agriculture, Ecosystems & Environment** v. 81, n. 1, p. 71–79, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880900001699>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

DALLAZUANA, H. BONAT, W.H. **Estimador de Kernel**, 5 de outubro de 2007.

DEVINCENZI, G.R.P. **Metodologia para Implantação do Custeio Baseado em Atividades em Pequenas Empresas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

DI SARNO, D. C. L. (2004). **Elementos de Direito Urbanístico.** Barueri: Manole.

ELLIOTT, Jennifer A. **An Introduction to Sustainable Development.** 3. ed. London, New York: Routledge — Taylor & Francis Group, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; Saad, A. R.; Perinotto, J. A. J.; Fulfaro, V. J. **Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas.** Revista do Instituto de Geociências - USP - Série Científica, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. **Deteção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem.** Revista UNESP – Geociências, v.25, n. 3, p.271-287, 2006.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. **Modelagem Ambiental com Tratamento de Incertezas em SIG: O paradigma geostatístico por indicação.** 2001. 213f. Tese de Doutorado (Doutorado em Computação Aplicada) INPE, São José dos Campos, 2001.

FONSECA, B. M. **Conceitos e práticas de geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do rio abaixo.** Tese de Doutorado. IGC – UFMG. Belo Horizonte. 2015. 224 p.

GOODWIN, P., & WRIGHT, G. (2005). **Decision Analysis for management judgment** (3rd ed.) New York: John Willey & Sons.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; ARAYA, Marcela Cecilia González; CARIGNANO, Claudia. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da Decisão.** São Paulo: Thomson Learning, 2007.

GONÇALVES, L.F.H.; GUERRA, A.J.T. **Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (RJ)**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B.C. (Org.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2009.

GRISI, C. C. H.; BRITTO, R. P. **Técnica de Cenários e o Método Delphi: uma aplicação para o ambiente brasileiro**. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO FEA-USP, 6., 2003, São Paulo. Anais... Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/Semead/6semead/MKT.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

GUIMARÃES, R. P. **O desafio político do desenvolvimento sustentado**. Revista Lua Nova, São Paulo, n. 27/28, p.113-136, 1993.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United States Geological Survey**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HATCHER, M. (2008). Asset Evaluation and Selecton Using the Analytic Herarchy Process. **International Journal of Business Research**, 8(3), 118-125.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America Bull. n.56. 1945.

HAZAYMEH, Khaled; HASSAN, Quazi K. Spatiotemporal image-fusion model for enhancing the temporal resolution of Landsat-8 surface reflectance images using MODIS images. **Journal of Applied Remote Sensing** v. 9, n. 1, p. 096095, 2015. Disponível em: <<http://remotesensing.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.JRS.9.096095>>.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 7 de abril. de 2017.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@**. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso 03. Jun. 2017.

IEF, Instituto Estadual de Floresta; UFLA, Universidade Federal de Lavras. **Mapeamento da Cobertura Vegetal de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2005

IGAM, **Instituto Mineiro de Gestão das Águas 2005**. Disponível em <http://www.iga.br/siteIGA/iga_09_000.php>. Acessado em: 2 de jun. 2017.

JACOBI, Pedro (1999). **Cidade e Meio ambiente**. São Paulo. Annablume. Editora.

KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. **Choices, values and frames**. Cambridge, UK. Russel Sage Foundation, Cambridge University Press, 2000.

KIM, M., JANG, Y., LEE, S. **Application of Delphi-AHP methods to select the priorities of WEEE for recycling in a waste management decision-making tool**. **Journal of Environmental Management**, n. 128, p 941-948, 2013.

LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P. Impact of proximity-adjusted preferences on rank-order stability in geographical multicriteria decision analysis. **Journal of Geographical Systems**, v 14, p.167-187, 2012.

LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P.; WATKINS, J. Spatial Uncertainty and Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Land Suitability Evaluation. **Journal of Geographical Systems**.v. 13 p. 2–5, 2012.

LIGMANN-ZIELINSKA, Arika; JANKOWSKI, Piotr. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software** v. 57, p. 235–247, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815214000851>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

LOBATO, L.M.; BALTAZAR, O.F.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BAARS, F.J.; TIMBÓ, M.A.; BERNI, G.V; MENDONÇA, B.R.V. de; FERREIRA, D.V. 2005. **Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM.

LOBO, C. e R. E. S. MATOS (2011), **Desenvolvimento humano: o embate entre os conceitos de crescimento econômico, sustentabilidade ambiental e as liberdades constitutivas e instrumentais de Sen**. Revista Debates Latino americano de Estudos Avançados, v. 9, p. 1/9-23.

LUCENA, L.F.L. **A Análise Multicriterial na Avaliação de Impactos Ambientais**. Disponível em: <www.nepam.unicamp.br/ecoeco/artigos/encontros/downloads/mesa3/7.pdf> Acesso em: 30/10/ 2017.

McCORMICK, John. **Rumo ao Paraíso. A História do Movimento Ambientalista**. Rio de Janeiro: Relume-Dumerá, 1992.

MEDINA, A. I. M.; DANTAS, M. E.; SAADI, A. **Projeto APA Sul: estudo do meio físico, escala de 1:50. 000**. Geomorfologia, v.6, 2005.

MELO, M.T.V; BORBA, R.R.; COELHO, W.A. **O distrito ferrífero de Itabira: minas do Cauê, Conceição, Dois Córregos, Periquito, Onça, Chacrinha e Esmeril**. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, 1984.

MINAS GERAIS. Lei N° 14.309 de 19 de junho de 2002. Dispõe sobre as políticas Florestais e de Proteção à Biodiversidade no Estado. Diário Do Executivo – “Minas Gerais”, Belo Horizonte, 20 jun. 2002. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?i dNorma=5306>>. Acesso em 15 de abril de 2017.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Os Homens de Ferro. - **Estudo sobre os trabalhadores da indústria extrativa de minério de ferro da Companhia Vale do Rio Doce em Itabira, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Dois Pontos, 1986. 244 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Mobilidade urbana é desenvolvimento urbano! Conheça o anteprojeto de lei da política nacional de mobilidade urbana**. Instituto Pólis. Nov. 2005. Acessado em: 22 de junho de 2017. Disponível em: <http://www.polis.org.br/uploads/922/922.pdf>.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (Org.). **O Homem, a natureza e a cidade: Planejamento do Meio Físico**. Revista Geografar: Revista Geografar, Curitiba, v. 3, n. 1, p.73-102, jan. 2008.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899-2906. Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P. L.; COCCO, C. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - "SENSITIVITY ANALYSIS TO SUITABILITY EVALUATION". In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia. **Anais...** Gramado: SBC-UFRGS, 2014. p.1-20. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/251/CT06-25_1403923543.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

PARIZZI, M.G; MOURA, A.C.M; MEMÓRIA, E. & MAGALHÃES, D.M. 2010. Mapa de unidades geotécnicas da região metropolitana de Belo Horizonte. In: 13 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2011, São Paulo. Anais do 13 CBGE. São Paulo: ABGE, 2011. p. 1-11.

PEREIRA, Gilberto Corso e SILVA, Bárbara Christine Nentwig. **Geoprocessamento e urbanismo**. In GERARDI, L. H. de O. e MENDES, I. A. (org.). Teoria, técnica, espaço e atividades. Temas de geografia contemporânea. Rio Claro: UNESP; AGTEO, 2001, p. 97-137.

PIMENTA, Demerval José. **A CVRD e sua História**. Belo Horizonte: Vega, 1981.

PRESAS, Carolina Soledad. **Instituições e Desenvolvimento em Municípios de Base Minerária - Os casos de Paraúpebas - PA e Itabira-MG**: - Os casos de Paraúpebas - PA e Itabira-MG. 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2012.

PHILIPPI, A., JR., ROMÉRO, M. A., & BRUNA, G. C. (2004). **Uma Introdução à Questão Ambiental**. In: A. Philippi Jr., M. A. Roméro, & G. C. Bruna (Orgs.). Curso de Gestão Ambiental (p. 3-16). Barueri: Manole.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. **Knickpoint finder: A software tool that improves neotectonic analysis**. *Computers & Geosciences*, v. 76, p. 80-87, 2015.

RABELO, Desirée Cipriano. **Comunicação e Mobilização na Agenda 21 Local**. Vitória, ES: EDUFES / FACITEC, 2003.

RAFFESTIN, Claude **Por uma Geografia do Poder**. São Paulo, Ática, 1993.

RATTNER, Henrique. **Meio ambiente e desenvolvimento sustentável**. Política Externa. São Paulo, vol. 1, n. 2, Paz e Terra, Set. / Out. / Nov., 2002.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5ª ed. Uberlândia: UFU, 2003.

ROY, B. **The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods.** Theory and Decision, v. 31, p. 49-73, 1991.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.

SAATY, T. (1999). The seven pillars of the Analytic Hierarchy Process. In 5th International. *Symposium on the Analytic Hierarchy Process* (pp. 1-15). Kobe.

SAATY, T.L. **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process**, 2nd edition, Pittsburgh: RWS Publications, 2001.

SAATY, T.L. **Decision Making for Leaders.** USA: RWS Publications, 2002.

SALTELLI, A., CHAN, K, Scott EM (2000). *Sensitivity Analysis*, New York: John Wiley & Sons.

SAMPAIO, T. V. M. **Índice de Concentração de Rugosidade (ICR): uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de Geotecnologias.** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa-MG, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/094.pdf> Acesso em 20 Dez. 2016.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; PELUZIO, Telma Machado de Oliveira; FIEDLER, Nilton Cezar; COELHO, André Luiz Nascentes; EUGENIO, Fernando Coelho; LOUZADA, Franciane Lousada Rubini de Oliveira; SAITO, Nathália Suemi; FERRARI; Jéferson Luiz; JUNIOR, Pedro Quarto; BATISTA, Ringo Souza. Mapeamento de áreas de preservação permanente no arçgis 9.3. 1. ed. Alegre: Mundo da Geomática, 2010. 58 p.

SILVA, A. C.; VIDAL, M.; PEREIRA, M. G. **Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim.** Rem: Rev. Esc. Minas, Apr./June 2001, vol.54, nº 2, p.133-136.

SILVA, F. R. **A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia.** 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. – UFMG. 2007.

SILVA, Maria Beatriz O. da. **Desenvolvimento Sustentável no Brasil de Lula: Uma abordagem jurídico-ambiental.** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2009.

SILVA, S. H. L.; BRAGA, F. A.; FONSECA, A. R. **Análise de conflito entre legislação e uso da terra no município de Itabira – MG.** Rev. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 131-144, jul. 2010.

SILVA, J.R. **Conformidades e Conflitos Ambientais no Município de Ouro Preto como Apoio à Gestão e Planejamento Municipal**, ed. 2012.

SILVEIRA, S. J. **Subsídios para normativa de loteamentos sustentáveis quanto ao ciclo hidrológico.** 2013. 290f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) UFSC, Florianópolis, 2013.

SIMONETTI, Edoardo; SIMONETTI, Dario; PREATONI, Damiano. Phenology-based land cover classification using Landsat 8 time series. Scientific and Technical Research series v.1, n.1, p.1-57, 2014. Disponível em: <[http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC91912/lb-na-26841-en-n .pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC91912/lb-na-26841-en-n.pdf)>.

SOUZA E SILVA, M. das Graças. **A terceira Itabira. Os espaços políticos, econômicos e socioespaciais e a questão ambiental.** São Paulo: Editora Hucitec, 2004.

SOUZA, C. J. O. Dinâmica do relevo no estudo geográfico urbano: discussão teórica e prática. **Anais do VI Seminário Latino Americano de Geografia Física; II Seminário Ibero Americano de Geografia Física.** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização.** São Paulo: Contexto, 1997.

SPOSITO, M. E. B. **As cidades médias e os contextos econômicos contemporâneos.** In: _____ (Org.). **Urbanização e cidades: perspectivas geográficas.** Presidente Prudente: GAsPERR, 2001.

TARANTOLA, S., PASTORELLI, R., BEGHI, M., BOTTANI, C., 2000. In: Saltelli et al. (Eds.), **A Data-less Pre-calibration Analysis in Solid State Physics.**

THOMAS, H.J.R. **Seleção de Empregados em Indústria de Petróleo: Uma Análise pelo Método AHP.** Dissertação de Mestrado Profissionalizante. Faculdades IBMEC, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

TORRES, Haroldo; COSTA Heloisa (org.). **População e meio ambiente: debates e desafios.** São Paulo: Editora SENAC, 2000.

TROIANI, F., Della Seta, M. 2007 – **The Use of the Stream Length-Gradient Index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy,** *Geomorphology* (2008), doi: 10.1016/j.geomorph.2007.06.020.

TUBINO, D.; DEVLIN, J. F.; YAP, N. **A busca pela responsabilidade socioambiental em Itabira (MG).** In: **Recursos minerais & sustentabilidade territorial.** Grandes Minas. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. v.1. p.307-332

VARAJÃO, C. A. C. **A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero,** Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 2, p.138-145, jun. 1991.

WILSON, F., PAN, W., SCHUMSKY, D. **Recalculation of the critical values for Lawshe's content validity ratio.** *Measurement and Evaluation Council*, n. 45, p. 197210, 2012.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. DELPHI – **Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo.** *Caderno de Pesquisas em Administração*, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 5465, 2000.

APÊNDICE 01 – QUESTIONÁRIO DELPHI

Entrevistado:

Em relação às áreas com restrições ambientais qual é a importância atribuída (de 0 a 10) aos critérios listados abaixo:

Geomorfologia -

APP Total (Topo de Morro, Nascente e Hídrica) –

Unidade de Conservação de Proteção Integral –

Geologia -

Uso e Cobertura da Terra –

Estabeleça um Ranking de importância entre as variáveis de 1 a 5

1º -

2º -

3º -

4º -

5º -

APÊNDICE 2 - MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS

Matriz de Erros de Classificação - Landsat 8 – 2016

Desempenho geral: 98.95 %

Confusão media: 0.92 %

Abstenção media: 0.00 %

Estatística KHAT: 98.88 %

Variância KHAT: 1.034e-006

Estatística TAU: 98.99 %

Exatidão do produtor | Exatidão do usuário

----- ----- -----
Água | 100.00% | 98.67% |
----- ----- -----
FESM | 99.55% | 99.52% |
----- ----- -----
Eucalipto | 99.82% | 96.39% |
----- ----- -----
Afloramento | 50.00% | 100.00% |
----- ----- -----
Pasto | 99.66% | 99.81% |
----- ----- -----
Mineração | 99.52% | 99.01% |
----- ----- -----
Urbano | 99.63% | 99.71% |

(Número de pixel[s] coletados de cada amostra) - **Landsat 8 – 2016**

| Amostra 02 Amostra 03 Amostra 04 Amostra 05 Amostra 06 Amostra 07 | Total Coletado|

-----|-----
 -----|

Agua | 136 38 48 82 26 16 12 |

-----|-----
 -----|

| Amostra 08 Amostra 09 Amostra 10 Amostra 11 Amostra 12 Amostra 13 Amostra 14
 Amostra 15 Amostra 16 Amostra 17 Amostra 18 Amostra 19 Amostra 20 Amostra 21
 Amostra 22 Amostra 23 Amostra 24 Amostra 25 Amostra 26 Amostra 27 Amostra 28
 Amostra 29 Amostra 30 Amostra 31 Amostra 32 Amostra 33 | Total Coletado|

-----|-----

FESM | 406 203 268 117 95 212 276 363 117
 50 268 175 46 122 178 72 8 142 81 120
 54 169 35 23 31 178 198|

-----|-----

| Amostra 34 Amostra 35 Amostra 36 Amostra 37 Amostra 38 Amostra 39 Amostra 40
 Amostra 41 Amostra 42 Amostra 43 Amostra 44 Amostra 45 Amostra 46 Amostra 47
 Amostra 48 Amostra 49 Amostra 50 Amostra 51 Amostra 52 Amostra 53 Amostra 54
 Amostra 55 Amostra 56 Amostra 57 Amostra 58 Amostra 59 Amostra 60 Amostra 61
 Amostra 62 Amostra 63 Amostra 64 Amostra 65 Amostra 66 Amostra 67 | Total Coletado|

-----|-----

Eucalipto | 18 46 16 35 45 22 18 143 10
 20 38 15 78 49 83 17 44 21 58 63
 11 5 78 13 4 57 115 114 13 56 11
 46 70 8 68|-----|

-----|-----
 -----|

-----| | Amostra 68 Amostra 69 Amostra 70 Amostra 71
 Amostra 72 Amostra 73 Amostra 74 Amostra 75 Amostra 76 Amostra 77 Amostra 78
 Amostra 79 Amostra 80 |Total Coletado|-----|-----

-----|
 Afloramento | 76 83 51 49 85 26 41 47 228
 246 307 96 70 220|-----|-----

-----| |
 Amostra 81 Amostra 82 Amostra 83 Amostra 84 Amostra 85 Amostra 86 Amostra 87
Amostra 88 Amostra 89 Amostra 90 Amostra 91 Amostra 92 Amostra 93	Total Coletado

-----|
 Pasto | 153 43 54 58 142 22 68 269 464
 92 136 510 704 3396|-----|-----

-----| | Amostra 94 Amostra 95 Amostra 96
 Amostra 97 Amostra 98 Amostra 99 Amostra 100 Amostra 101 Amostra 102 Amostra
 103 Amostra 104 Amostra 105 Amostra 106 Amostra 107 |Total Coletado|-----|-----

-----|Mineração| 13 16 9 8 4 1 1 3
 3 10 4 2 13 2 43|-----|-----

| Amostra 108 Amostra 109 Amostra 110 Amostra 111 Amostra 112 Amostra 113
 Amostra 114 Amostra 115 Amostra 116 Amostra 117 Amostra 118 Amostra 119 Amostra
 120 |Total Coletado|-----|-----

----| Urbano | 5 8 10 11 31 13 12 1 5
 8 16 4 3 36|-----|-----