

**ALTERNATIVAS LOCACIONAIS PARA A
GERAÇÃO RENOVÁVEL EM
MINAS GERAIS: UMA DISCUSSÃO BASEADA NA
ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO ESPACIAL**



VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – UFMG BH

Livia Maria Leite da Silva

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) / Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)

Wilson Pereira Barbosa Filho

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Wemerson Rocha Ferreira

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Illya Kokshenev

Advanced System Optimization Technologies (ASOTECH)

Roberta Oliveira Parreiras

Advanced System Optimization Technologies (ASOTECH)

Petr Yacovlevitch Ekel

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) / *Advanced System Optimization Technologies (ASOTECH)*

1. INTRODUÇÃO

- Contexto atual → Matriz energética → Quanto menos diversificada mais sensível a fragilidades (políticas e/ou naturais).
- Agregação de novas fontes → Suprimento mais seguro e econômico.
- Complexidade do cenário de geração → Uso de ferramentas para apoiar a tomada de decisão acerca dos investimentos em geração - Análise Multicritério Espacial (AMC-E).
- Este trabalho descreve uma metodologia de AMC-E que foi desenvolvida e aplicada para apoiar o estudo de alternativas locais para a geração renovável (representada pela geração solar, eólica e baseada em biomassa) no estado mineiro.

2. ANÁLISE MULTICRITÉRIO OU TOMADA DE DECISÃO ESPACIAL

ANÁLISE MULTICRITÉRIO (AMC) → conjunto de modelos e métodos que auxiliam pessoas responsáveis pela tomada de decisão na estruturação e resolução de **PROBLEMAS**

Envolvem a avaliação, classificação, priorização e escolha de soluções alternativas, conforme múltiplos critérios.

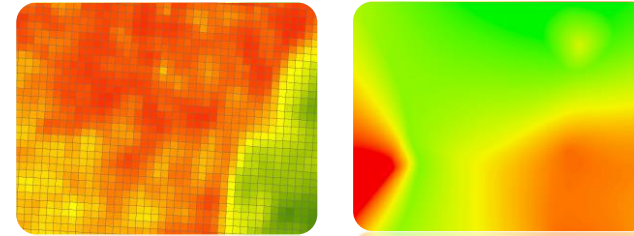
A AMC tem sido utilizada em conjunto aos **Sistemas de Informações Geográficas (SIG)** durante duas décadas para analisar problemas espaciais.

ANÁLISE MULTICRITÉRIO ESPACIAL – (AMC-E)

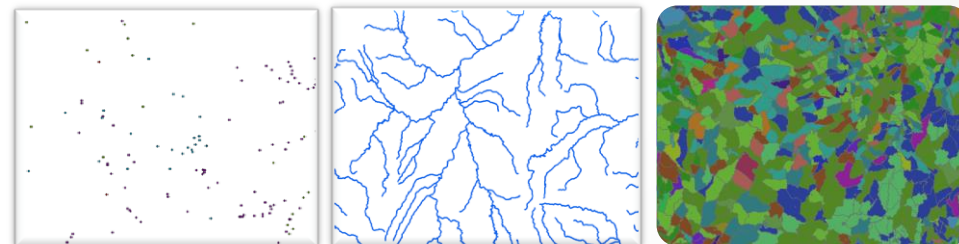
2. ANÁLISE MULTICRITÉRIO OU TOMADA DE DECISÃO ESPACIAL

A AMC-E → proposição de mecanismos para a modelagem computacional da informação geográfica:

GEOCAMPOS: o espaço geográfico é compreendido como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados segundo diferentes distribuições (ex: vegetação, relevo, radiação solar, etc...).



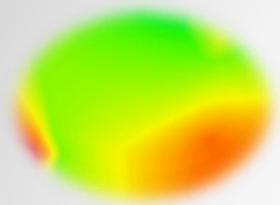
GEO-OBJETOS: o espaço geográfico é representado como uma coleção de entidades distintas, discretas e identificáveis: ponto, linha, polígono (rios, usinas, municípios, etc...).



2.1 Tomada de decisão espacial em ambiente *fuzzy*

- A lógica *fuzzy* permite tratar e manipular dados gerados com algum tipo de imprecisão;
- Permite atribuir a cada localidade representada em um geocampo, um valor de pertinência entre 0 e 1 que reflete o grau de atendimento dessa localidade a um determinado critério ou objetivo;
- Tendo sido construídos os conjuntos *fuzzy* para cada critério $f_1(x)$, $f_2(x)$, ..., $f_m(x)$, é possível aplicar diferentes operações de agregação para combinar as avaliações conforme os diferentes critérios e, deste modo, definir uma avaliação global, gerando soluções alternativas.

Modelagem da informação geográfica

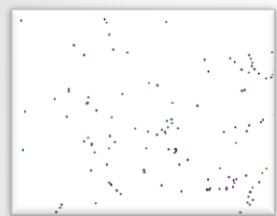
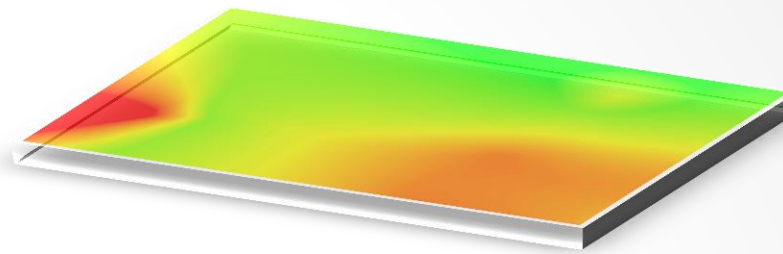


Geocampos



Operações Individuais

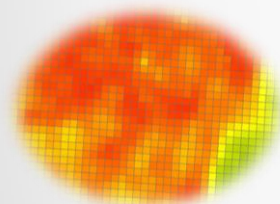
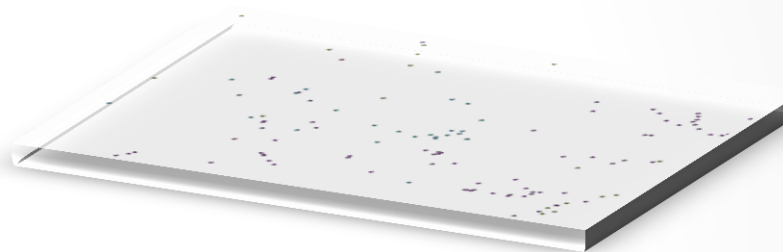
Operações sobre geocampos necessárias;
Normalização com base em conjuntos fuzzy.



Geo-objetos



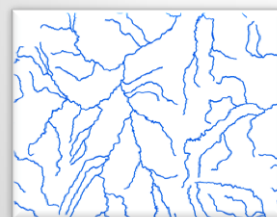
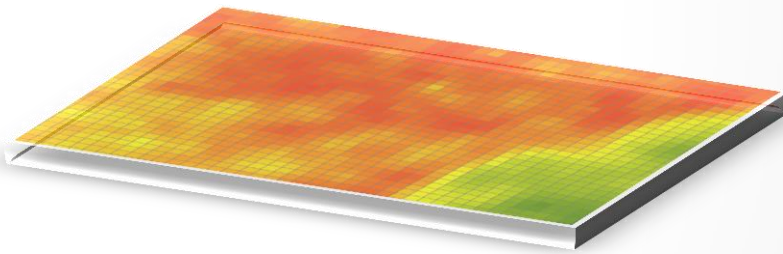
Operações sobre geo-objetos necessárias;
Transformação geo-objeto/geocampos;
Normalização com base em conjuntos fuzzy.



⋮



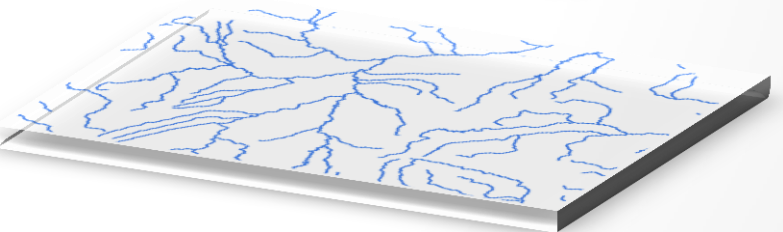
⋮



⋮



⋮



AGREGAÇÃO POR MEIO DE OPERAÇÕES/ABORDAGENS ESPECÍFICAS



RESULTADOS

2.1 Tomada de decisão espacial em ambiente *fuzzy*

- A metodologia de AMC-E aqui utilizada admite que sejam realizadas operações de agregação em contextos diferentes;
- Permite realizar avaliação multicritério da adequação de cada localidade para **cada forma de geração**, separadamente → utilização da Média Aritmética Ponderada com derivação de pesos por meio do AHP (MAP/AHP).

$$f(x) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot f_i(x)$$

onde $0 < w_i < 1$ e

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1$$

2.1 Tomada de decisão espacial em ambiente *fuzzy*

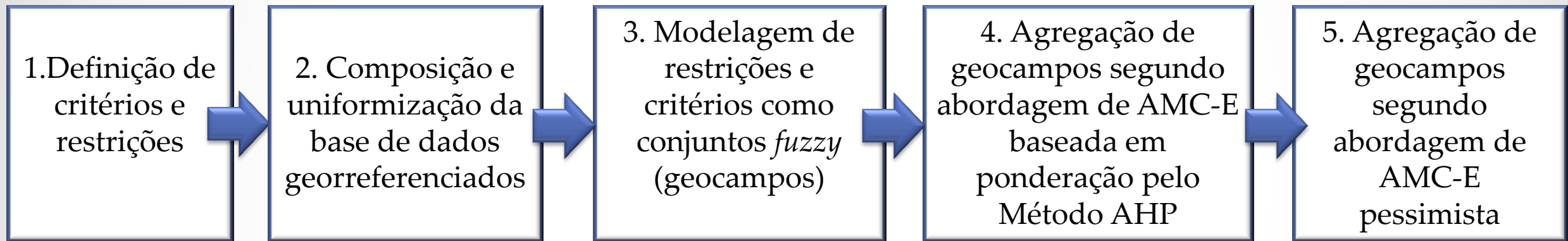
- O método AHP usa uma escala de razões para medir as intensidades com que as alternativas satisfazem um dado objetivo;
- Desta forma, é possível construir uma matriz A de comparações par a par dos critérios;
- Os pesos w_i podem ser obtidos por meio do auto-vetor principal da matriz A ;
- Por meio do autovalor máximo λ_{max} da matriz A e do Índice Randômico IR , é possível determinar-se o Índice de Consistência dos julgamentos IC .

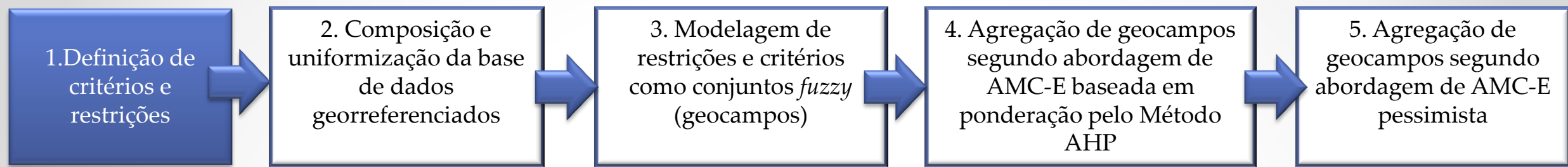
2.1 Tomada de decisão espacial em ambiente *fuzzy*

- Permite, também, realizar avaliação multicritério da adequação de cada localidade, tendo em vista as três formas de geração, **simultaneamente** → utilização da abordagem pessimista, baseada na operação de **Interseção** entre geocampos.

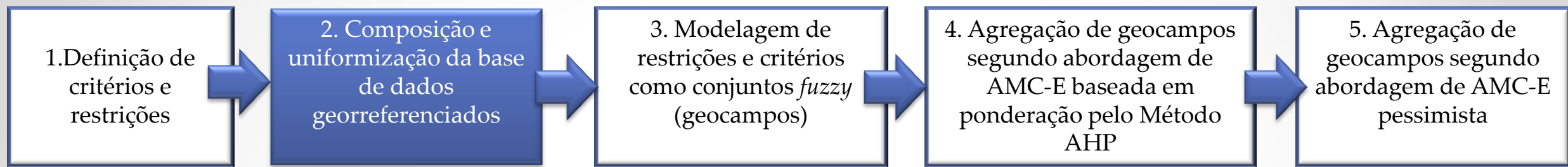
$$f(x) = \min(f_S(x), f_E(x), f_B(x))$$

2. METODOLOGIA

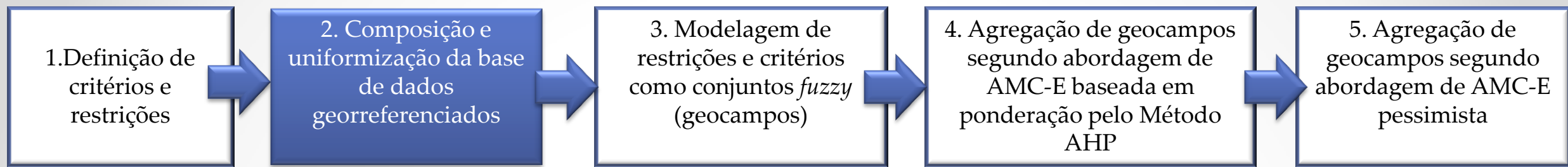




Classe	Critério	Tipo de critério
Técnico-econômicos	Potencial energético (solar, eólico, biomassa)	Objetivo
	Distância de estrada e vias de acesso - Acessibilidade	Objetivo
	Distância de linhas de transmissão – Conexão	Objetivo
	Distância de aeroportos	Objetivo
	Declividade	Objetivo
	Distância de corpos hídricos	Objetivo
Socioambientais	Presença e distância de unidades de conservação (UCs)	Restrição
	Presença e distância de quilombos	Restrição
	Presença de distância de terras indígenas	Restrição
	Distância de centros urbanos	Objetivo
	Assentamentos do INCRA	Restrição



- Todos os dados → Fontes oficiais
- Critério relacionado ao Potencial de biomassa → metodologia específica
- Conversão: Geo-objetos → Geocampos
- Mesmo sistema de projeção → *Continental Cônica Conforme de Lambert* especial para a América do Sul
- Mesma resolução → 500 m × 500m.



- Composição da base de dados relacionada ao Potencial de Biomassa:
- Dados de produção de resíduos cultivares municipais (bagaço de cana, casca de arroz, casca de coco, casca de amendoim, silvicultura).

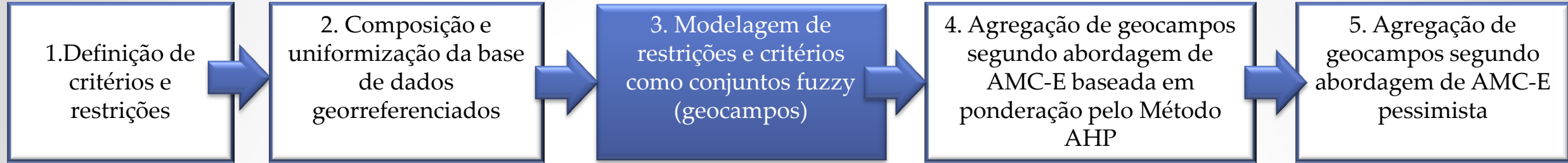
$$Potencial(kW) = \frac{PCI \cdot M_B \cdot \eta}{3600 \cdot OP}$$

Onde PCI é o Poder Calorífico Inferior (kJ/kg);

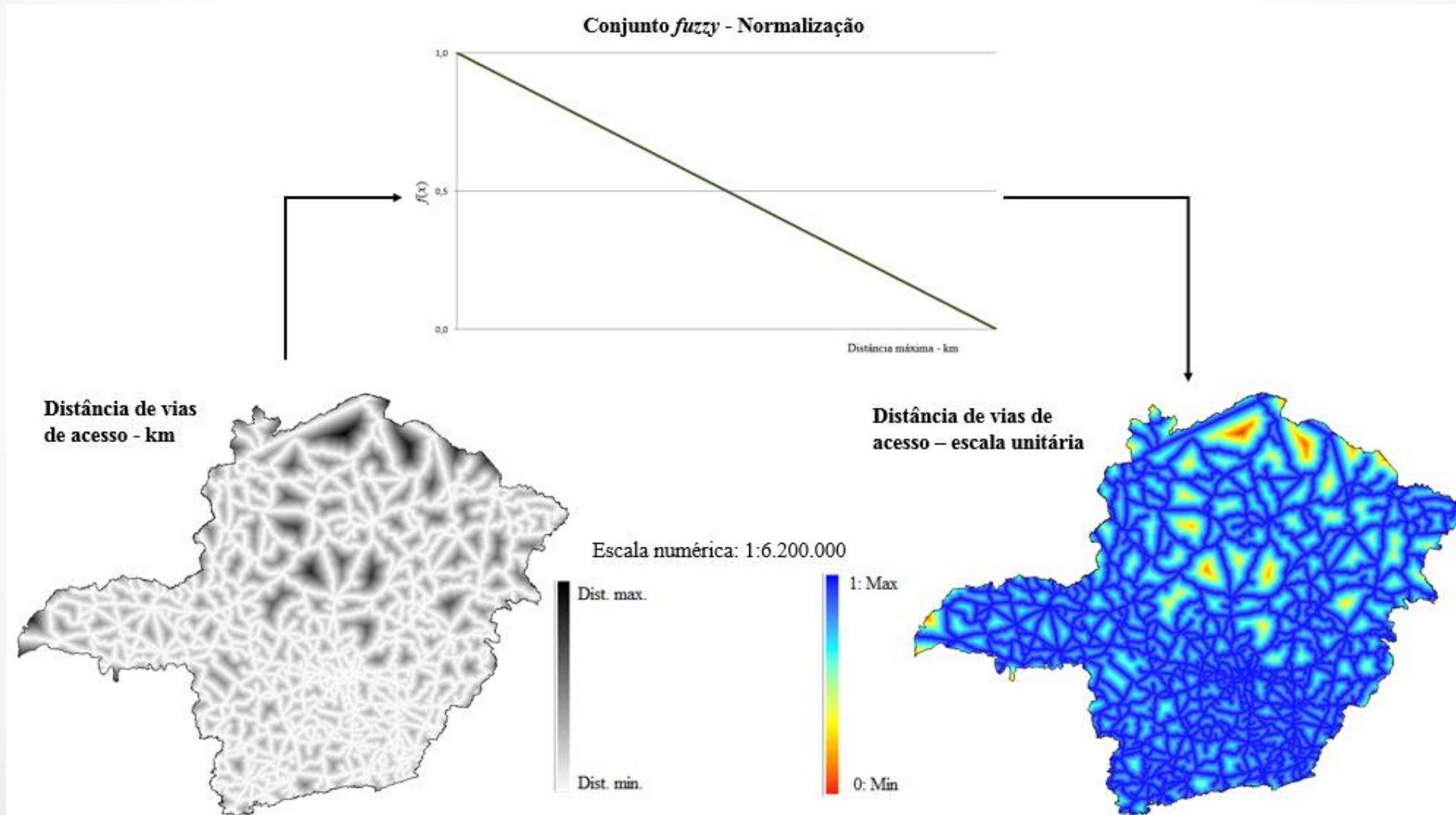
M_B é a quantidade de insumo gasta anualmente (kg),

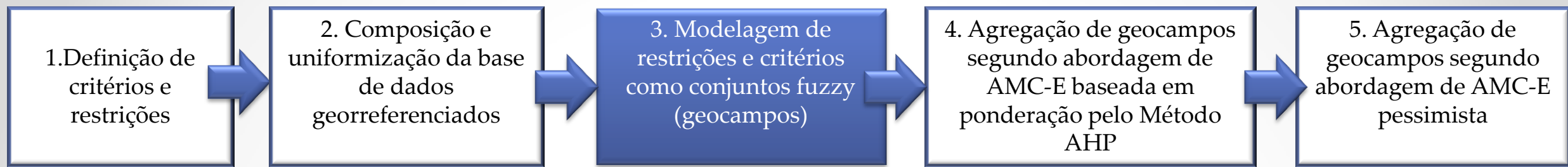
η é a eficiência de conversão;

OP são as horas de operação do sistema, consideradas como 8.000 horas anuais.



- Critério: Distância de vias de acesso - Acessibilidade

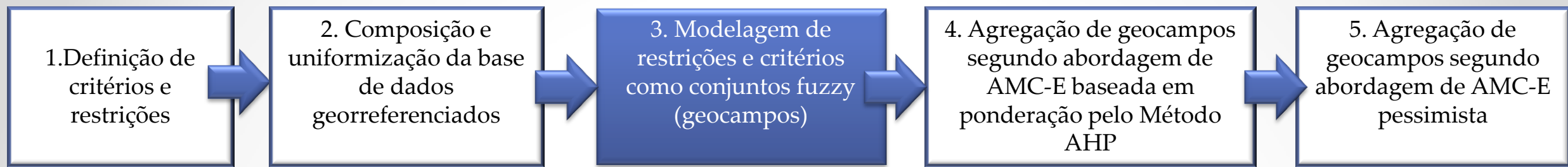




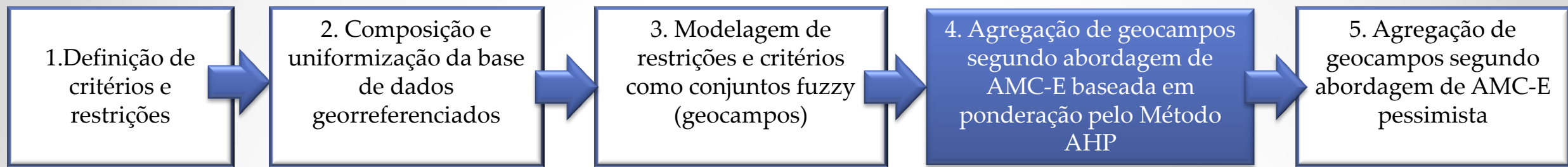
- Potencial energético: Desejam-se os maiores valores e potencial disponível;
- Declividade: Desejam-se as regiões de menor declividade;
- Proximidade de LTs: Desejam-se as regiões mais próximas de LTs;

...etc...

De forma semelhante para todos os critérios do tipo **OBJETIVO**.



- Os critérios do tipo **RESTRIÇÃO** são aplicados aos resultados finais e excluídos do conjunto solução.



- A metodologia AHP permite derivar um vetor de pesos relacionados a cada critério para agregação segundo MAP.
- Agregação realizada para **cada fonte energética**.
- Pesos:

Potencial energético: 0,2746

Acessibilidade: 0,2081

Conexão: 0,2081

Declividade: 0,0980

Hidrografia: 0,0980

Centros urbanos: 0,0441

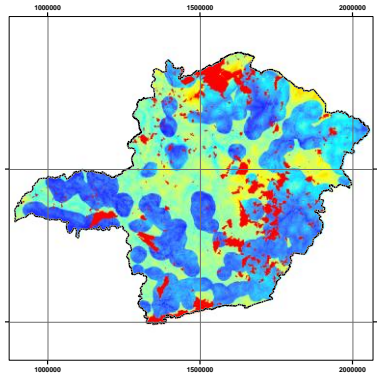
Áreas especiais: 0,0441

Aeroportos: 0,0251

Cr1terios/Geocampos

- Potencial - f_1
- Acessibilidade - f_2
- Conex1o - f_3
- Declividade - f_4
- Hidrografia - f_5
- Cidades - f_6
- 1reas Especiais - f_7
- Aeroportos - f_8

**AMC-E/
MAP-AHP**



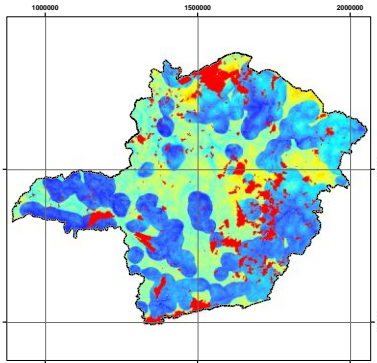
Resultado 01
 $f_s(x)$



Cr1terios/Geocampos

- Potencial - f_1
- Acessibilidade - f_2
- Conex1o - f_3
- Declividade - f_4
- Hidrografia - f_5
- Cidades - f_6
- 1reas Especiais - f_7
- Aeroportos - f_8

**AMC-E/
MAP-AHP**



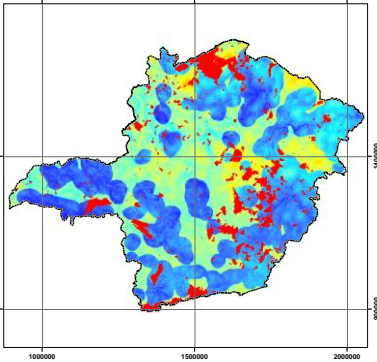
Resultado 01
 $f_E(x)$



Cr1terios/Geocampos

- Potencial - f_1
- Acessibilidade - f_2
- Conex1o - f_3
- Declividade - f_4
- Hidrografia - f_5
- Cidades - f_6
- 1reas Especiais - f_7
- Aeroportos - f_8

**AMC-E/
MAP-AHP**



Resultado 01
 $f_B(x)$



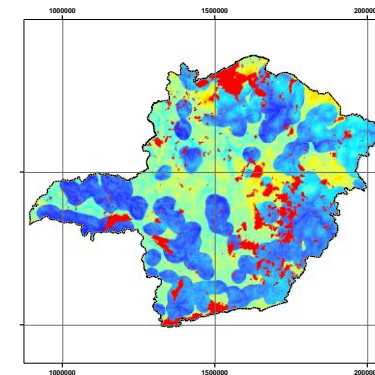
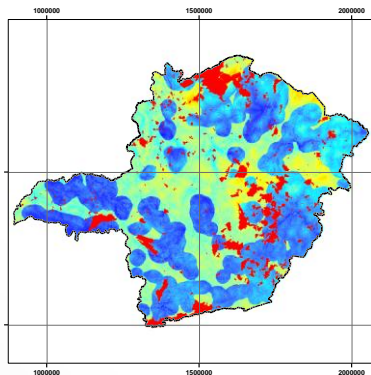
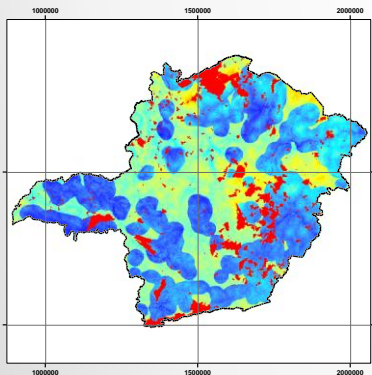
1. Definição de critérios e restrições

2. Composição e uniformização da base de dados georreferenciados

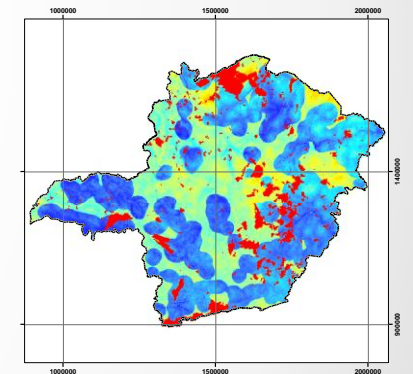
3. Modelagem de restrições e critérios como conjuntos fuzzy (geocampos)

4. Agregação de geocampos segundo abordagem de AMC-E baseada em ponderação pelo Método AHP

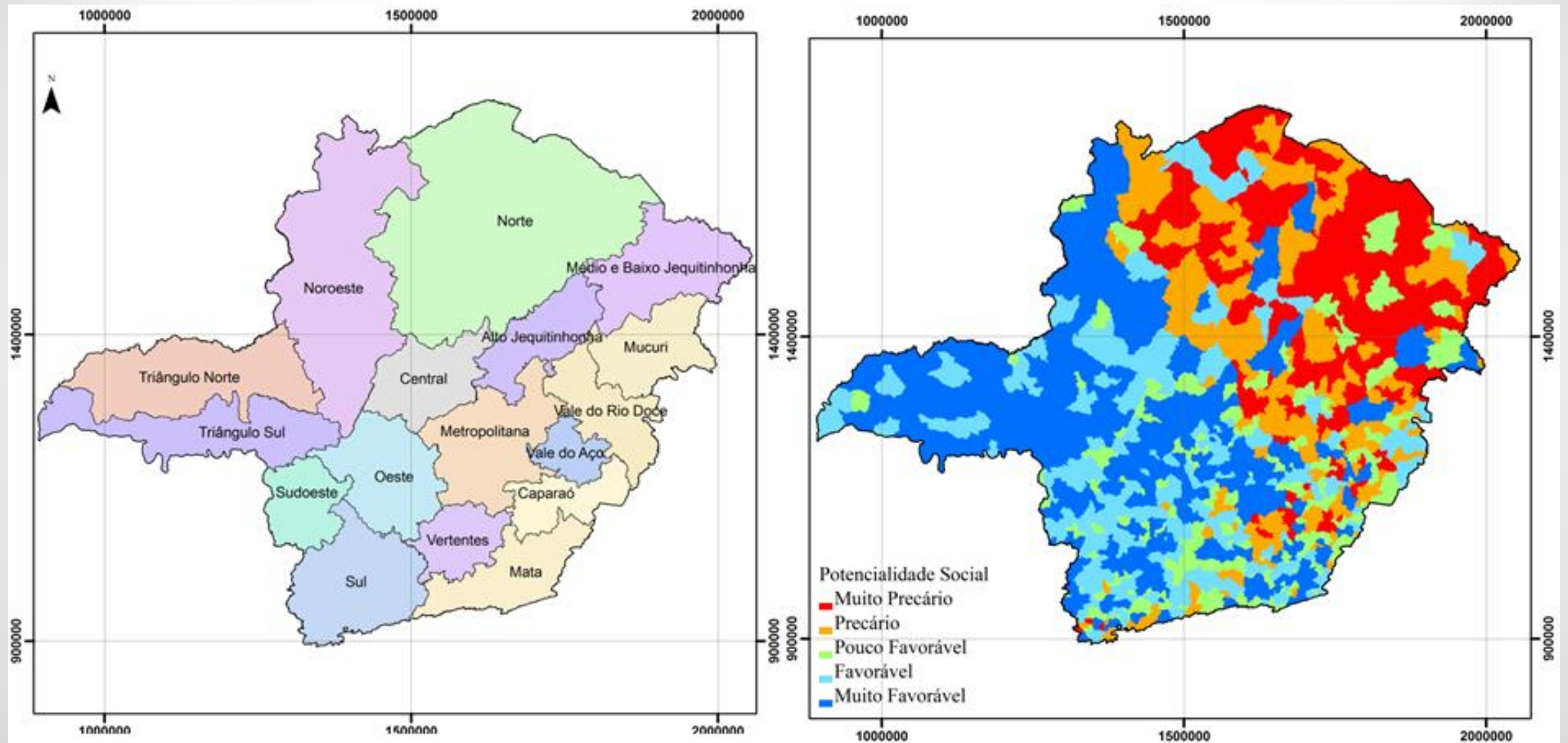
5. Agregação de geocampos segundo abordagem de AMC-E pessimista



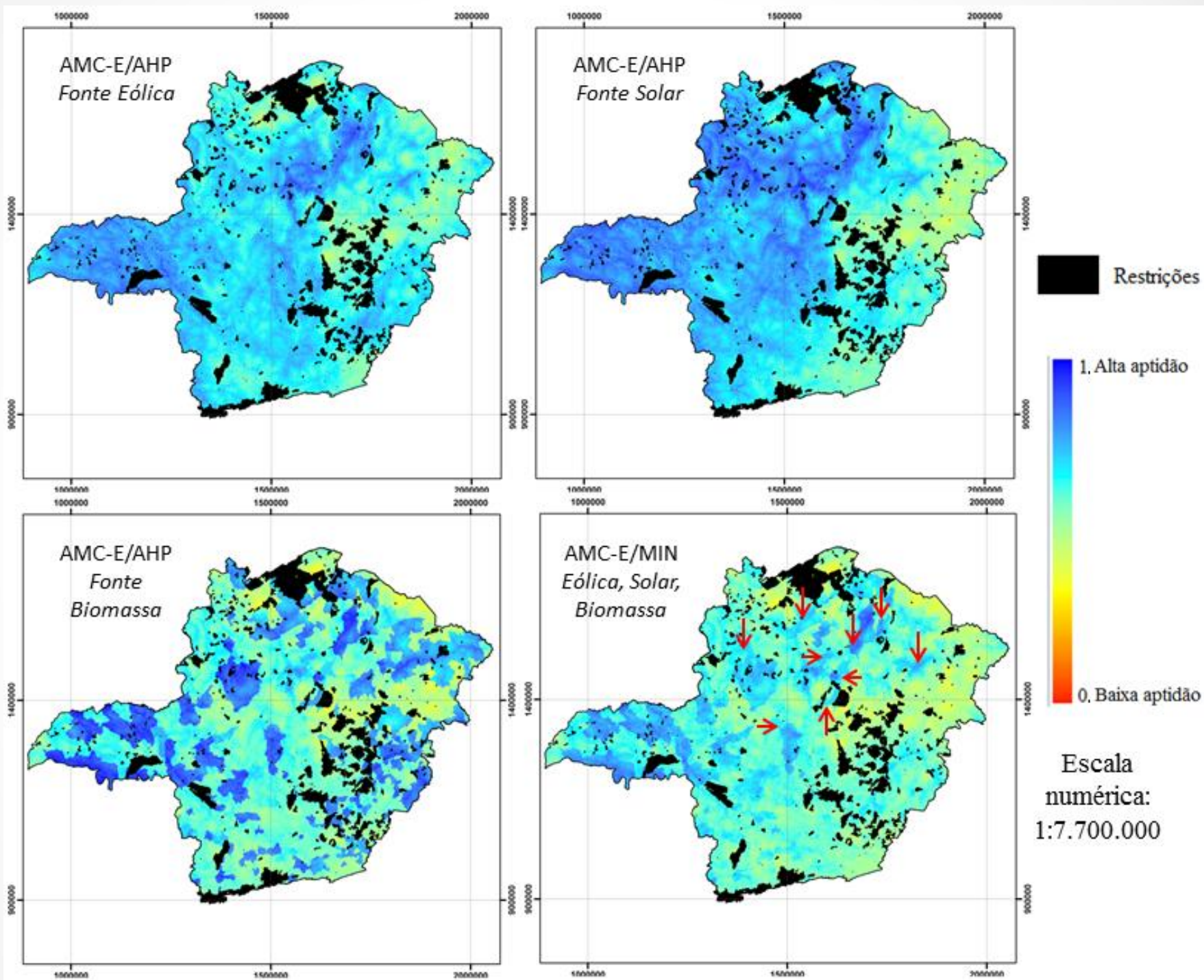
Resultado final
 $f_x(x)$



4. ESTUDO DE CASO: RESULTADOS E DISCUSSÕES



DISCUSSÕES



5. CONCLUSÕES

- Este trabalho apresentou um estudo baseado em uma metodologia de AMC-E elaborada para facilitar a prospecção das localidades de Minas Gerais para a instalação de empreendimentos de geração renovável;
- Permitiu identificar com certa agilidade localidades que aparentam ser aptas à instalação de empreendimentos baseados em cada fonte analisada (de forma independente e, também, de forma conjunta);
- O estudo construído reflete os julgamentos dos especialistas envolvidos em sua elaboração, porém, mesmo com tal limitação, os resultados aqui apresentados podem servir como um norteador para discussões iniciais;

5. CONCLUSÕES

- O estudo revelou o considerável potencial de certas localidades para a instalação de empreendimentos de geração renovável que se encontra subutilizado;
- Este fato pode representar uma perda em termos ambientais, sociais e relacionados à segurança do suprimento energético;
- A geração renovável é um mecanismo que promove não somente um suprimento mais econômico e sustentável, mas também oferece ganhos em termos sociais, devido à geração de emprego e renda;
- Particularmente importante no caso de Minas Gerais, onde se constatou que as regiões de maior fragilidade social possuem bons resultados em termos de aptidão para a geração renovável;
- O momento atual é, portanto, oportuno para o Estado investigar fragilidades que travam a implantação da geração renovável e propor novos mecanismos legais que possibilitem o aproveitamento dos recursos amplamente disponíveis.

Wemerson Rocha Ferreira
wemerson.ferreira@meioambiente.mg.gov.br

Obrigado!