



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Grazieli Testa

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS COMO APOIO  
Á GESTÃO DE APP'S EM USINAS HIDROELÉTRICAS  
ESTUDO DE CASO UHE CANA BRAVA - GO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como um dos requisitos exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para obtenção do título de MESTRE em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira

Florianópolis (SC)  
Março de 2012

T342s Testa, Grazieli

Simulação de cenários futuros como apoio à gestão de APPs em usinas hidroelétricas [dissertação] : estudo de caso UHE Cana Brava - GO / Grazieli Testa ; orientador, Francisco Henrique de Oliveira. - Florianópolis, SC, 2012.

177 p.: il., grafs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Cadastro técnico multifinalitário. 3. Usinas hidrelétricas. 4. Sistemas de suporte de decisão. I. Oliveira, Francisco Henrique de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

Grazieli Testa

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS COMO APOIO À  
GESTÃO DE APP'S EM USINAS HIDROELÉTRICAS  
ESTUDO DE CASO UHE CANABRAVA - GO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 19 de março de 2012.

---

Prof. Ph.D. Roberto Caldas de Andrade Pinto  
Coordenador do PPGEC

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mariane Alves Dal Santo  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lia Caetano Bastos  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



À minha mãe Lourdes M. Testa,  
ao meu companheiro Gustavo S. Acauan e a  
minha Prof<sup>da</sup>., Dr<sup>a</sup>. Edna L. Luiz.



## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco H. de Oliveira pela orientação, paciência e atenção dedicada.

A Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Edna L. Luiz, cuja amizade, incentivo e dedicação foram primordiais para a finalização deste trabalho, serei eternamente grata.

Aos meus irmãos Carlos e Emerson, a minha mãe Lourdes cujo carinho e amor foram a energia para prosseguir nesta jornada.

Ao Gustavo S. Acauan, meu companheiro, que entendeu minhas ausências e tornou mais brandos os dias turbulentos vividos durante o período de finalização desta pesquisa.

As minhas amigas Julia Cucco, Kitty Sachtleben, Tatiani Araújo e Elci B. Favretto pelas palavras de conforto, apoio e incentivo.

A Vanderléia do C. Alves, Adimir C. Swiderek, Claudia R. da Silva, Bruno de O. Lemos, Fernando D. de Moraes, Rafaela Zillmer e Julio B. de Oliveira, amigos que compõe a equipe de trabalho da Divisão de Geografia e Cartografia (DGC) do Estado do RS, onde desempenho minhas funções enquanto geógrafa, pelo apoio irrestrito.

A Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Aos professores do PPGEC pela constante orientação e dedicação que resultou no entendimento das temáticas trabalhadas nesta pesquisa.

A equipe de trabalho da empresa Tractebel que disponibilizou os materiais relativos à Usina Hidroelétrica de Cana Brava, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Sr. Hermann O. Rodrigues que representa a equipe do Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo auxílio na utilização do software Dinamica Ego.

Aos integrantes do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade do Estado de Santa Catarina pela amizade e conhecimento dividido em parte do período de desenvolvimento desta pesquisa.

A todos que de diferentes maneiras contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.





Se os fatos não se encaixam na teoria,  
modifique os fatos.  
(Albert Einstein)



## RESUMO

As intervenções em Áreas de Preservação Permanente (APPs) são uma preocupação recorrente dos gestores das usinas hidroelétricas que tem como premissa atender o que institui a Resolução CONAMA n.º. 302, de 20 de março de 2002. Considerando esta problemática, o presente estudo tem como alvo compreender os padrões de ocupação irregular destas áreas utilizando como ferramenta o cadastro técnico multifinalitário e um sistema de apoio à tomada de decisão. Este último será utilizado na simulação de cenários futuros de modo a entender como estes padrões tendem a evoluir com o passar dos anos. Como estudo de caso elegeu-se a APP da usina hidroelétrica (UHE) de Cana Brava, localizada no Estado de Goiás. Para atendimento dos objetivos deste trabalho são empregados produtos oriundos do sensoriamento remoto coletados nos anos de 2004, 2005 e 2008, dados coletados em campo relativos a invasões e dados vetoriais das parcelas disponibilizados pela empresa que detém a concessão para exploração do potencial hidroelétrico da UHE Cana Brava. São utilizados ainda dados vetoriais, referentes às características físicas, disponibilizados pelo Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás. Os resultados desta pesquisa constituem-se essencialmente em informações estatísticas geradas a partir das análises temporais do mapeamento da cobertura e uso do solo, considerando a parcela como unidade de análise da paisagem, e prognósticos das simulações de cenários futuros. Os resultados obtidos indicam que entre 2004 e 2008 houve um acréscimo no número de incursões em APP, em contrapartida verifica-se também um aumento de área significativo da classe de vegetação Savana Floresta (Cerradão).

Palavras-chave: Cadastro Técnico Multifinalitário; Área de Preservação Permanente; Usina Hidroelétrica; Sistema de Apoio à Tomada de Decisão.



## ABSTRACT

The interventions in Permanent Preservation Areas (PPAs) are a constant concern of the managers of hydroelectric plants, due to the fact that they have to obey the recommendations established in CONAMA 302 Resolution from March 20<sup>th</sup>, 2002. Therefore, this work aims at understanding the patterns of irregular occupations that happen in these areas using the multipurpose technical cadastre as a tool and also making use of a decision support system. The system will be used to simulate future scenarios in order to understand how these patterns tend to evolve over the years. As a case study, the Cana Brava hydroelectric PPA plant located in the State of Goiás was elected. The objectives of this work are achieved using remote sensing products collected in the years 2004, 2005 and 2008 such as collected data based on invasions and vector data of the plots provided by the company that owns the concession to exploit the hydroelectric potential of the Cana Brava hydroelectric. Vector data are also used related to physical characteristics, provided by the Goiás State System of Statistics and Geographic Information. The results of this work are essentially statistic information generated from the temporal analysis of the land cover mapping and land use, considering as the unit of analysis of landscape plots, and also based on predictions from simulations of future scenarios. The results obtained indicate that between the years 2004 and 2008 there was an increase in the number of inroads in PPA. However, there was also a significant increase in the area of Savanna Forest vegetation (Savana).

**Keywords:** Multipurpose Technical Cadastre; Permanent Preservation Area; Hydroelectric Plant, Decision Support System.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Integração entre o Modelo Multi-Escala/RIKS e SIG .....	57
Figura 02 - Fluxograma genérico do modelo de simulação .....	63
Figura 03 - Localização da área de estudo .....	67
Figura 04 - Bacia hidrográfica Tocantins / Araguaia .....	73
Figura 05 - Mapa da rede hidrográfica.....	75
Figura 06 - Mapa geológico .....	78
Figura 07 - Mapa geomorfológico.....	82
Figura 08 - Mapa pedológico .....	86
Figura 09 - Exemplo do relatório gerado em campo (parte 1) .....	90
Figura 10 - Exemplo do relatório gerado em campo (parte 2) .....	91
Figura 11 - Fluxograma da pesquisa .....	92
Figura 12 - Solo exposto .....	95
Figura 13 - Campo limpo .....	95
Figura 14 - Campo cerrado.....	96
Figura 15 - Cerradão .....	96
Figura 16 - Áreas urbanas .....	97
Figura 17 - Banhados .....	97
Figura 18 - Edificações .....	97
Figura 19 - Corpos d'água .....	97
Figura 20 - Cultura .....	98
Figura 21 - Sistema viário .....	98
Figura 22 - Mata ciliar.....	98
Figura 23 - Suposta área de campo cerrado .....	99
Figura 24 - Suposta área de solo exposto em imagem cor real .....	100
Figura 25 - Suposta área de solo exposto em imagem falsa cor.....	101
Figura 26 - Mapa de declividade.....	103
Figura 27 - Matriz de transição .....	107
Figura 28 - Cubo das variáveis estáticas .....	108
Figura 29 - Fatiamento das variáveis / pesos de evidência.....	110
Figura 30 - Índices Cramer e Incerteza da Informação Conjunta.....	111
Figura 31 - Modelo de simulação.....	113
Figura 32 - Validação: Função de decaimento exponencial.....	115
Figura 33 - Validação: Janelas múltiplas e decaimento exponencial ..	117
Figura 34 - Simulação com formação de manchas e expansão .....	119
Figura 35 - Projeção trajetórias de desmatamento .....	120
Figura 36 - Localização da área urbana do município de Minaçu.....	124
Figura 37 - Localização das invasões: 2003-2004 .....	127
Figura 38 - Localização das invasões: 2005-2006 .....	128
Figura 39 - Localização das invasões: 2007-2008 .....	129

Figura 40 - Casa de alvenaria.....	131
Figura 41 - Piscina .....	132
Figura 42 - Casa madeira .....	132
Figura 43 - Barraco .....	132
Figura 44 - Rancho.....	133
Figura 45 - Banheiro .....	133
Figura 46 - Galpão .....	133
Figura 47 - Curral.....	134
Figura 48 - Cerca .....	134
Figura 49 - Trapiche.....	134
Figura 50 - Quiosque .....	135
Figura 51 - Choupana.....	135
Figura 52 - Abertura de acesso ao lago na APP.....	135
Figura 53 - Aterro ligação ilha.....	136
Figura 54 - Cultivo de abacaxi.....	136
Figura 55 - Chiqueiro.....	136
Figura 56 - Comparação número de parcelas invadidas .....	139
Figura 57 - Diminuição do nível de água no reservatório: SE.....	148
Figura 58 - Resultado da calibragem do sistema / Ilha .....	156
Figura 59 - Resultado da calibragem do sistema / Área Urbana.....	157
Figura 60 - Cenários futuros / Área urbana.....	159



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 - Características do satélite QuickBird .....	47
Tabela 02 - Data de coleta das imagens QuickBird .....	93
Tabela 03 - Classes de relevo .....	102
Tabela 04 - Área do município / área atingida / n° de parcelas .....	122
Tabela 05 - Ocorrência de invasões por município .....	125
Tabela 06 - Ocorrência de invasões em APP .....	126
Tabela 07 - Intervenções em APP classificadas .....	130
Tabela 08 - Intervenções em APP .....	131
Tabela 09 - Tabulação cruzada: parcela x uso do solo .....	138
Tabela 10 - Tabulação cruzada: parcela x geologia .....	140
Tabela 11 - Tabulação cruzada: parcela x geomorfologia.....	141
Tabela 12 - Tabulação cruzada: parcela x solo .....	142
Tabela 13 - Tabulação cruzada: parcela x declividade.....	143
Tabela 14 - Cobertura e uso do solo 2004.....	144
Tabela 15 - Cobertura e uso do solo 2005.....	145
Tabela 16 - Cobertura e uso do solo 2008.....	147
Tabela 17 - Cobertura e uso do solo 2004 - 2008.....	150
Tabela 18 - Pesos de evidência (geologia e geomorfologia).....	152
Tabela 19 - Pesos de evidência (solo e declividade) .....	153
Tabela 20 - Resultado do processo de dependência entre as variáveis	155
Tabela 21 - Áreas resultantes do processo de simulação.....	158

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01 - Geologia das parcelas invadidas.....	140
Gráfico 02 - Geomorfologia das parcelas invadidas .....	141
Gráfico 03 - Solos das parcelas invadidas.....	142
Gráfico 04 - Declividade das parcelas invadidas .....	143
Gráfico 05 - Constituição APP 2004.....	145
Gráfico 06 - Constituição APP 2005.....	146
Gráfico 07 - Constituição APP 2008.....	147
Gráfico 08 - Evolução da cobertura e uso do solo 2004/2008 .....	149

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01-  $X_{t+v} = f(X_t, Y_t)$  58

Equação 02 - 
$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{.1} & P_{j1} \\ P_{12} & P_{22} & P_{.2} & P_{j2} \\ P_{1.} & P_{2.} & P_{..} & P_{j.} \\ P_{1j} & P_{2j} & P_{.j} & P_{jj} \end{bmatrix}^v \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=0}$$
 59

Equação 03-  $O\{D/B\} = O\{D\} \frac{P\{B/D\}}{P\{B/\overline{D}\}}$  59

Equação 04 -  $\log\{D/B\} = \log\{D\} + W^+$  59

Equação 05 - 
$$P(i \Rightarrow j(x, y)/V) = \frac{e^{\sum_k Wkn_{i \Rightarrow j}(V)^{xy}}}{1 + \sum_{ij} e^k}$$
 60

Equação 06 -  $H(A) = - \sum_{j=1}^m p_{.j} \ln p_{.j}$  61

Equação 07 -  $H(B) = - \sum_{i=1}^n p_{i.} \ln p_{i.}$  61

Equação 08 -  $H(A, B) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}.$  61

Equação 09 - 
$$U(A, B) = 2 \left[ \frac{H(A) + H(B) - H(A, B)}{H(A) + H(B)} \right]$$
 61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental  
 APP - Área de Preservação Permanente  
 APL - Área de Preservação Limitada  
 ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica  
 BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento  
 CEM - Companhia Energética Meridional  
 CNPE - Conselho Nacional de Política Energética  
 CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
 CTM - Cadastro Técnico Multifinalitário  
 EGO - *Environment for Geoprocessing Objects* (Ambiente para Objetos Geoprocessáveis)  
 EIA - Estudo de Impacto Ambiental  
 EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
 EPE - Empresa de Pesquisa Energética  
 ESRI - *Environmental Systems Research Institute*  
 FIG - Federação Internacional dos Geômetras  
 FEMAGO - Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Goiás  
 GIS - *Geographic Information System*  
 HP - *Horse-power* ou cavalo-vapor (CV) = medida de potência  
 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística  
 IEA - International Energy Agency  
 MP - Medida Provisória  
 MME - Ministério de Minas e Energia  
 MW - Megawatt (correspondente a  $10^6$  watts)  
 PBA - Projeto Básico Ambiental  
 PGASP - Plano de Gestão Ambiental e Sócio Patrimonial  
 PCH - Pequenas Centrais Hidroelétricas  
 PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento  
 P&D - Pesquisa e Desenvolvimento  
 RIKS - *Research Institute for Knowledge Systems*  
 RIMA - Relatório de Impacto Ambiental  
 SIG - Sistema de Informações Geográficas  
 SIEG - Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás  
 TAC - Termo de Ajustamento de Conduta  
 UHE - Usina Hidroelétrica  
 UTM - Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>25</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 OBJETIVOS.....	27
<b>1.1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>27</b>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	28
1.3 SUMÁRIO COMENTADO.....	30
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>33</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>33</b>
2.1. HISTÓRICO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....	33
2.2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O SETOR ELÉTRICO .....	35
2.3. CONCEITO DE GESTÃO .....	39
2.4. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO .....	41
<b>2.4.1 Contextualização e breve histórico .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.2 O CTM como ferramenta de gestão.....</b>	<b>42</b>
2.5. GEOPROCESSAMENTO E SIG .....	44
<b>2.5.1 Dados e informações espaciais.....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.2 Representação e estrutura dos dados espaciais.....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.3 Características dos dados espaciais.....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.4 Fontes dos dados espaciais.....</b>	<b>46</b>
2.6. IMAGENS DO SATÉLITE QUICKBIRD .....	47
2.7. DINÂMICA DE USO E COBERTURA DO SOLO .....	48
2.8. ATRATIVOS DA PAISAGEM E OUTROS VETORES DE OCUPAÇÃO HUMANA .....	49
<b>2.8.1 Compartimentos da Paisagem.....</b>	<b>49</b>
2.9. CONCEITOS RELATIVOS À SIMULAÇÃO E A MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL .....	51
<b>2.9.1 Conceitos básicos de simulação .....</b>	<b>51</b>
<b>2.9.2 Modelagem dinâmica espacial.....</b>	<b>52</b>
<b>2.9.3 Modelagem a partir de autômatos celulares .....</b>	<b>53</b>
<b>2.9.4 Métodos de análise.....</b>	<b>58</b>
2.10. O SIMULADOR DINAMICA EGO .....	62
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>65</b>
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>65</b>
3.1. O POVOAMENTO DO EXTREMO NORTE DE GOIÁS .....	68
<b>3.1.1 Município de Minaçu - GO .....</b>	<b>69</b>

<b>3.1.2</b>	<b>Município de Cavalcante - GO .....</b>	<b>70</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Município de Colinas do Sul - GO .....</b>	<b>71</b>
<b>3.2.</b>	<b>CLIMA.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Pluviosidade.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Temperatura Máxima e Mínima .....</b>	<b>72</b>
<b>3.3.</b>	<b>HIDROGRAFIA.....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.</b>	<b>COBERTURA VEGETAL - SAVANA (CERRADO) .....</b>	<b>76</b>
<b>3.5.</b>	<b>GEOLOGIA.....</b>	<b>77</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Grupo Paranoá (MPpa3 / MPpa4 / MPpa4cc).....</b>	<b>77</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Complexo Rio Maranhão (PP gamma rm / PP gamma rma).....</b>	<b>77</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Complexo Máfico e Ultramáfico Cana Brava.....</b>	<b>79</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Grupo Serra da Mesa / Serra Dourada (PP4sma / PP4smb).....</b>	<b>79</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Grupo Araí (PP4t / PP4tqt).....</b>	<b>79</b>
<b>3.6.</b>	<b>GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>80</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Estrutura Dobrada – ED / Estrutura Braquianticlinal (QBA ED IP) .....</b>	<b>81</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Superfície Regional de Aplainamento IV A (SRAIVA) .....</b>	<b>83</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Zonas de Erosão Recuante (ZER SRAIVA) .....</b>	<b>83</b>
<b>3.6.4</b>	<b>Morros e colinas / Morros e colinas com dissecção forte (MC / MC-FCE).....</b>	<b>83</b>
<b>3.7.</b>	<b>PEDOLOGIA.....</b>	<b>84</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Associação de Argissolo / Nitossolo – Textura média arenosa cascalhenta .....</b>	<b>84</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Neossolo Litólico.....</b>	<b>85</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Cambissolo.....</b>	<b>85</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>87</b>	
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>87</b>	
<b>4.1.</b>	<b>MATERIAIS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Elaboração do banco de dados espaciais.....</b>	<b>94</b>
<b>4.2.</b>	<b>MAPAS TEMÁTICOS - VARIÁVEIS DINÂMICAS.....</b>	<b>94</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Mapeamento temático de cobertura do solo através de vetorização manual.....</b>	<b>94</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Definição das classes de uso e cobertura do solo – variáveis dinâmicas.....</b>	<b>95</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Áreas que apresentaram dificuldades de interpretação .....</b>	<b>99</b>
<b>4.3.</b>	<b>MAPAS TEMÁTICOS – VARIÁVEIS ESTÁTICAS .....</b>	<b>101</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Mapa geológico.....</b>	<b>101</b>

4.3.2	Mapa geomorfológico.....	101
4.3.3	Mapa pedológico.....	102
4.3.4	Mapa de declividade.....	102
4.4.	MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS NO DINAMICA EGO ...	104
4.4.1	Conversões e adequações necessárias ao processo de modelagem.....	104
4.4.2	Processo de modelagem e simulação.....	106
CAPÍTULO V .....		121
5.	RESULTADOS .....	121
5.1.	GERAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS - RELATÓRIOS MENSAIS .....	121
5.2.	AS PARCELAS E OS ELEMENTOS QUE COMPÕE A PAISAGEM .....	137
5.3.	ANÁLISE DOS DADOS TEMPORAIS GERADOS A PARTIR DA VETORIZAÇÃO DO USO DO SOLO .....	144
5.4.	ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES E CENÁRIOS FUTUROS GERADOS A PARTIR DO SOFTWARE DINAMICA EGO .....	149
5.4.1	Transições nas classes de uso e cobertura do solo .....	149
5.4.2	Modelagem / Simulação / Validação do modelo.....	151
5.4.3	Geração de cenários futuros .....	158
CAPÍTULO VI.....		161
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	161
6.1.	AS INTERVENÇÕES NA APP E A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM	161
6.2.	A UTILIZAÇÃO DE IMAGENS QUICKBIRD .....	162
6.3.	A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DINAMICA EGO.....	162
6.4.	MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS .....	163
6.5.	O CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO .....	164
6.6.	CONTRIBUIÇÃO DAS INFORMAÇÕES GERADAS PARA AS ATIVIDADES DE GESTÃO .....	164
7.	REFERÊNCIAS.....	167
CD-ROM - ANEXOS EM MEIO DIGITAL .....		177





## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUÇÃO

A água sendo um recurso natural renovável, pode ser considerada uma fonte limpa de produção de energia uma vez que não contribui para o aquecimento global e, como consequência, para a ocorrência de mudanças climáticas. Tais condições tornam a exploração deste recurso viável nos países que contam com certo potencial hídrico.

A participação de usinas hidroelétricas na matriz energética mundial entre o período de 1973 e 2006 foi de aproximadamente 16%, aumentando nos últimos 30 anos de forma pontual na Ásia e na América Latina, devido em particular à China e ao Brasil, que tem investindo nesta matriz energética (IEA, 2008 apud AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

O desenvolvimento econômico do Brasil é fortemente dependente da energia que provêm das usinas hidroelétricas. Destacada como principal fonte geradora de energia, as hidroelétricas são responsáveis por cerca de 70% de toda energia elétrica gerada no país (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

Ainda segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008) o Brasil é o país, dentre todos, que apresenta maior potencial hidroelétrico. Os maiores potenciais para aproveitamento hidroelétrico estão localizados em regiões mais afastadas dos grandes centros consumidores, ainda assim, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2008), estima-se que aproximadamente 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração do país serão provenientes dos sistemas hídricos, devido à imensa capacidade de suas bacias hidrográficas. Um exemplo desta condição são as bacias hidrográficas do Amazonas e do Tocantins/Araguaia, que juntas somam aproximadamente 70% deste potencial, sendo que os potenciais da região sul e sudeste já foram quase que completamente explorados.

Apesar da energia hidroelétrica ser considerada uma forma de energia limpa, ela não está isenta de causar danos ambientais quando da sua construção e operação, considerando que a gestão ambiental deste espaço não seja eficaz.

A atividade de gestão ambiental do espaço que está sob influência direta do empreendimento, enfrenta muitos problemas para garantir o cumprimento das leis e, por consequência, a qualidade ambiental do

lago e da área de entorno da usina. Diante deste cenário, a legislação brasileira institui que é de responsabilidade das empresas detentoras da concessão de exploração manter a qualidade do ambiente que circunda o empreendimento, de forma a assegurar tanto a segurança e a qualidade de vida das populações que vivem em seu entorno quanto a capacidade de geração da mesma. Um dos instrumentos utilizados para esse fim é a delimitação e conservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno dos lagos de usinas hidroelétricas. Esta faixa de vegetação deve ser preservada pelo empreendedor e recuperada caso esta tenha sido destruída antes da instalação do empreendimento.

Porém, além desta recuperação a empresa que detém a concessão da exploração do potencial hidroelétrico precisa tratar das intervenções que ocorrem nas APPs devido às invasões. Estas invasões são de difícil controle, visto que as populações que habitam o entorno das usinas tem acesso direto a esta área. O que ocorre neste caso é que quando as invasões não são contidas têm-se como resultado o desmatamento, que por consequência suscita problemas relativos à qualidade ambiental do lago e a capacidade de geração de energia pelo reservatório.

Não se sabe ao certo qual é o real motivo que torna as APPs suscetíveis às invasões, dificultando desta forma a elaboração de políticas que tem como objetivo conter estas interferências. Assim identificar as causas que contribuem para a sua ocorrência permitirá uma gestão mais eficiente destas áreas de modo a preservar a cobertura vegetal que circunda o reservatório da usina.

Para tanto se tem o Projeto Básico Ambiental (PBA), elaborado no momento do licenciamento ambiental da usina, que é um instrumento que visa auxiliar a gestão ambiental do espaço modificado pela dinâmica das obras que antecedem o enchimento do lago e, posteriormente, na reorganização do espaço em seu entorno. A junção entre as informações cadastrais e as informações provenientes do monitoramento realizado em função do PBA podem indicar as variáveis e processos que tornam as APPs suscetíveis à invasão. A espacialização destas informações configura-se como uma condição importante, visto que a análise dos dados é facilitada. Dentro do exposto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) torna-se uma ferramenta importante no processo de organização e análise dos dados, bem como na sua avaliação.

Os dados organizados e espacializados com a utilização do SIG podem ser empregados em outros sistemas como, por exemplo, os sistemas de apoio à tomada de decisão. Tais sistemas têm como característica a interatividade e flexibilidade para simulação de cenários

futuros. A projeção de cenários futuros por sua vez auxilia o gestor no entendimento da evolução da paisagem em determinado período caso o padrão de ocorrência das alterações seja mantido, ou permite a mudança e/ou inserção de variáveis no sistema caso este apresente uma alteração de padrão.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Gerar e avaliar a utilização de cenários futuros como ferramenta de auxílio nos processos de gestão de APPs de usinas hidroelétricas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Compreender os padrões de ocupação irregular na APP do reservatório da Usina Hidroelétrica de Cana Brava - GO utilizando a ferramenta de Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM);
- Identificar os elementos das paisagens presentes no entorno da APP que as torna suscetível a invasões;
- Levantar e quantificar as invasões territoriais na área de APP no entorno do lago da Usina Hidroelétrica de Cana Brava;
- Quantificar e analisar as parcelas que tiveram sua APP invadida;
- Verificar se o consórcio gerador (empreendedor) aplica os princípios do cadastro técnico multifinalitário na coleta e avaliação dos dados para posterior gestão ambiental do reservatório;
- Verificar a origem dos atores que invadiram estas áreas, de forma a identificar se os ocupantes participaram do processo de indenização e construção do empreendimento;
- Aplicar o software Dinamica EGO, ferramenta utilizada para apoio à decisão, para projetar cenários futuros que permitam estimar a intensidade e localização das mudanças na APP da UHE Cana Brava;
- Avaliar a resolução das imagens QuickBird no levantamento das invasões e das variáveis que, de alguma forma, facilitam ou induzem a invasão em APP.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A energia, além de indispensável à sobrevivência do homem, tornou-se um recurso estratégico para o desenvolvimento econômico e social das nações. Para garantir o atendimento desta demanda crescente os Estados têm buscado formas de suprir suas necessidades explorando diversas fontes energéticas.

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD (2012), embora as formas de exploração energética tenham evoluído aproximadamente 1,4 bilhão de pessoas em todo o mundo ainda não tem acesso a esse recurso. O Brasil, apesar de apresentar abundância de recursos energéticos, enfrenta sérios problemas para suprir sua demanda por energia. Fato que ficou evidente quando da crise energética deflagrada no ano de 2001 e que se estendeu até 2002. Neste ano foi estabelecido o racionamento de energia, deixando as escuras um grande número de cidades e atingindo setores estratégicos do país.

Como descrito anteriormente, cerca de 70% do suprimento da energia elétrica utilizada no Brasil é proveniente de geração hidráulica. Parte destes recursos estão localizados no interior do país, em regiões, muitas vezes, pouco desenvolvidas e distantes dos maiores centros consumidores. Este cenário força o Brasil a fomentar conhecimento sobre a disponibilidade e diversidade dos recursos, bem como estudar novas tecnologias que permitam melhor aproveitá-los, de forma a garantir o suprimento energético de regiões mais desenvolvidas e estimular o desenvolvimento das regiões interioranas sem comprometer a diversidade biológica destes espaços (AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002). Com este fim e com o objetivo de manter o desenvolvimento do sistema energético, o país conta, neste setor, com políticas e diretrizes que tem como função regulamentar as atividades desenvolvidas por órgãos públicos e privados.

Sendo assim, as instituições que detém a concessão para a geração de energia hidroelétrica em território nacional precisam demonstrar sua responsabilidade civil e ambiental frente às agências reguladoras. O gerenciamento dos reservatórios deve atender demandas pertinentes à responsabilidade administrativa e penal das organizações, controlando os impactos de suas atividades, condição que obriga as concessionárias a aperfeiçoar seus processos de gestão.

Os órgãos reguladores podem solicitar as empresas que detém a concessão providências administrativas, tais como, requerimentos prévios, elaboração de estudos ambientais, implementação de ações para adequação das instalações, atividades, processos e serviços, além de

ações de remediação a serem realizadas no espaço de sua responsabilidade para que este apresente a qualidade mínima determinada para atendimento de suas funções sociais. Também devem ser realizadas ações que visem a compensação à partes eventualmente afetadas pelas atividades da organização. Desta forma, para que esta gestão seja eficaz, é necessário que seus métodos sejam conduzidos dentro de um sistema estruturado e integrado ao conjunto das atividades realizadas junto ao empreendimento.

A avaliação dos dados relativos à qualidade ambiental do entorno do reservatório auxilia as instituições a determinar quais são os potenciais riscos ao negócio relacionados ao cumprimento da legislação ambiental e energética vigente. Os custos advindos de problemas gerados pela falta de controle deste espaço, pode-se citar: a ocupação e a supressão da vegetação das APPs, o assoreamento do lago e a qualidade da água do reservatório, podem ser reduzidos caso ocorra a identificação dos riscos e posterior efetivação de políticas de gestão.

A necessidade de manter as Áreas de Preservação Permanente (APPs) é citada no Código Florestal Brasileiro redigido em 1934. Este código foi reformulado em 1965, porém, as APPs no entorno dos reservatórios artificiais só foram regulamentadas pela Resolução CONAMA nº. 302, de 20 de março de 2002.

As APPs têm, dentre outras, a função de diminuir o assoreamento do lago, fato que se constitui como um dos principais problemas das usinas hidroelétricas, visto que a chegada de um grande número de sedimentos no reservatório faz com que ocorra uma diminuição na capacidade de armazenamento de água do lago, comprometendo assim a produção de energia.

Diante do exposto, conter as invasões em APPs e a supressão da cobertura vegetal e o assoreamento do lago, deve ser uma das prioridades das concessionárias que, para tanto, devem se utilizar dos recursos existentes para facilitar o trabalho de gestão ambiental. A utilização do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em consonância à sistemas de apoio a tomada de decisão, podem trazer agilidade e segurança na avaliação dos cenários para posterior elaboração de ações que devem ser implementadas para a melhor gestão ambiental dos reservatórios.

Na Usina Hidroelétrica de Cana Brava o problema das ocupações irregulares em APP tem desafiado seus gestores, que em consequência lançaram a questão para o grupo de trabalho envolvido no projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL – projeto sistema especialista sócio patrimonial e ambiental em áreas de barragens

(SIG/SOPA). Este grupo foi composto por alunos de graduação e pós-graduação da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ambas com sede em Florianópolis – SC.

Apesar da área de estudo estar localizada no Estado de Goiás, o que em função da distância poderia se tornar um empecilho no desenvolvimento da pesquisa, esta pode ser executada devido a facilidade de acesso aos dados e pela assessoria dos colaboradores da Tractebel Energia, que são responsáveis pelo monitoramento contínuo da UHE Cana Brava.

O período em que a UHE Cana Brava foi concebida (entre 1998 e 2002) é outro detalhe significativa para a pesquisa, visto que ocorreram mudanças políticas e estruturais no país, tais como a adoção de uma nova política energética em resposta a crise que atingiu o setor em 2001 e 2002 e a publicação da Resolução CONAMA n° 320, de 20 de março de 2002. Esta última regulamentou as APPs em reservatórios artificiais, tornando-se um marco para o setor elétrico e na forma de gerir as usinas que seriam construídas a partir desta data.

A facilidade de acesso aos dados disponibilizados pela Tractebel Energia e o contexto que envolve o empreendimento, em parte resultado desta nova política energética, tornam a UHE Cana Brava um estudo de caso significativa para o desenvolvimento deste trabalho.

### 1.3 SUMÁRIO COMENTADO

Após a apresentação desta pesquisa, a partir da introdução, justificativa e da exposição dos objetivos gerais e específicos no Capítulo I, o Capítulo II tem como fim apresentar a fundamentação teórica necessária para o entendimento dos principais tópicos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Para tanto se apresenta uma breve perspectiva histórica do setor elétrico brasileiro seguido da abordagem da legislação que regulamenta as ações do setor, de modo a dar subsídios para o entendimento do cenário atual.

Posteriormente é exposto o conceito de gestão ambiental e são apresentadas as ferramentas utilizadas nesta pesquisa. Esta condição é atendida a partir de uma abordagem sobre o cadastro técnico multifinalitário onde se justifica a importância do seu emprego para a integração e organização dos dados em um banco. As ferramentas de SIG e os principais conceitos sobre os dados e informações espaciais, suas representações características e estruturas, também são descritos de forma a dar melhor entendimento a temática.

Dedica-se ainda um espaço para tratar dos dados *rasters*, da dinâmica do uso e cobertura do solo, dos atrativos da paisagem e dos vetores da ocupação humana, com a premissa de entender as ocupações irregulares. A parte final deste Capítulo II é destinada às teorias e fundamentos de modelagem da dinâmica espacial e a apresentação do aplicativo computacional Dinamica EGO, plataforma na qual foram elaboradas as simulações apresentadas neste estudo.

O Capítulo III, por sua vez, trata da descrição da área em estudo, de modo mais específico dos municípios goianos atingidos pela UHE Cana Brava: Minaçu, Cavalcante e Colinas do Sul. Em um primeiro momento é apresentada a localização, um breve histórico e particularidades socioeconômicas de cada um dos três municípios de forma individualizada. Após esta explanação descrevem-se as condições geográficas da área quais sejam: clima, hidrografia, geologia, pedologia, geomorfologia e cobertura vegetal. Características geográficas estas que fazem parte da simulação proposta como variáveis estáticas.

O Capítulo IV destina-se a apresentar os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. Descrevendo assim a geração e fonte dos dados empregados, bem como sua preparação para atender os objetivos propostos. No primeiro momento, descrevem-se os produtos cartográficos utilizados e especificam-se as ações para elaboração do banco de dados geográfico, que foi alimentado com os dados que irão compor os mapas temáticos das variáveis estáticas e dinâmicas. Expõem-se ainda as dificuldades encontradas no processo de geração dos dados vetoriais de uso do solo e as considerações adotadas para sanar os problemas encontrados. Neste mesmo contexto expõem-se todas as transformações executadas de modo a atender os requisitos solicitados para a utilização do software Dinamica EGO e, por fim, introduz-se o processo de modelagem dos dados espaciais considerando todas as etapas individualmente.

Os resultados obtidos são reportados no Capítulo V. Neste capítulo são apresentadas todas as informações resultantes da análise dos relatórios mensais disponibilizados pela Tractebel Energia, da tabulação cruzada do uso do solo e das simulações geradas até o ano de 2014.

O Capítulo VI é reservado para as conclusões e considerações acerca dos tópicos abordados durante o desenvolvimento da pesquisa.





## CAPÍTULO II

### 2. REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1. HISTÓRICO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em meados de 1800 as cidades brasileiras começam a apresentar um maior crescimento, o que, por consequência, resultou em um aumento do parque industrial e na modernização do país. Este cenário faz com que o Brasil comece a utilizar a energia elétrica, tendo as primeiras iniciativas sendo implantadas pelo setor público (GASTALDO, 2009).

A primeira fonte geradora de energia elétrica, movida a vapor proveniente de uma caldeira a lenha, começou a operar no Rio de Janeiro em 1883. Com capacidade de 52 KW mantinha 39 lâmpadas, fato que a tornou um marco na iluminação pública na América do Sul. A extração de minérios no Estado de Minas Gerais foi responsável pela implantação da primeira hidroelétrica e de muitas outras iniciativas que resultaram no aumento da capacidade de geração elétrica do país (GOMES, *et al.*, 2002).

Pesquisas censitárias realizadas em 1920 relataram a existência de doze usinas, principalmente termoelétricas com capacidade instalada superior a mil HP (0,7457 MW) (GOMES *et al.*, 2002). Essas usinas, como as de capacidade instalada inferior a mil HP, pertenciam em geral a concessionários ou autoprodutores distintos como a Light e Amforp, empresas que em 1930 já concentravam a maior parte das atividades ligadas à energia elétrica no Brasil (DIAS, 1995).

A partir de 1930, na chamada Era Vargas, devido à deflagração da crise mundial (Crise de 1929) e a consequente falência do modelo agroexportador, o Estado se vê obrigado a redefinir o seu papel e passa a se preocupar com a diversificação da estrutura produtiva e a intervir na esfera econômica do país. Em consequência deste processo o governo passa a arbitrar sobre as questões relativas ao setor elétrico.

Esta intervenção é materializada pelo Decreto Federal nº. 24.643, de 10 de julho de 1934, que estabelece o Código de Águas. O Artigo 195 deste decreto estabelece que as autorizações e concessões para a exploração de potencial hidroelétrico deverão ser conferidas exclusivamente a brasileiros ou empresas organizadas no Brasil (BRASIL, 1934), condição esta que ajudou a conter a participação das empresas internacionais nos projetos do setor energético, considerados

estratégicos para o país. Assim, a partir do Código de Águas, o governo brasileiro passa a ter competência de legislar e outorgar concessões de serviços públicos de energia.

Em 1946, durante o governo de Eurico Gaspar Dutra, é criado, a partir da Constituição o Conselho Nacional de Economia, um anteprojeto de lei com diretrizes que tinha como objetivo organizar e desenvolver o setor. No período compreendido entre 1956 a 1961 este projeto ainda estava sob comando da esfera pública, a qual criou companhias estaduais de energia elétrica e a Central Elétrica de Furnas (DIAS, 1995). Este foi o período do governo de Juscelino Kubitschek, conhecido pelo seu Plano de Metas, onde o país registrou o mais expressivo crescimento da economia, o que resultou no forte crescimento do setor elétrico.

Porém, no final da década de 1970, a conjuntura internacional favorável faz o país presenciar uma grande expansão da economia, denominado “milagre brasileiro”. Neste período o país estava sob a presidência do militar Emílio Garrastazu Médici que, para controle do processo inflacionário e contenção tarifária, obteve em outubro de 1970 do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) o maior empréstimo concedido a um país latino americano. Esta captação de recursos e posterior necessidade de pagamento da dívida, fez com que o crescimento do setor ficasse comprometido, devido ao gradativo processo de deterioração econômico-financeiro das concessionárias públicas.

Outro fator que contribuiu para exacerbação da crise que atingiu o setor elétrico, como argumenta Ferreira (2000), foi o crescente interesse dado às questões ambientais nos anos 80. Segundo o estudioso, com o ressurgimento da democracia em 1985, várias leis foram promulgadas obrigando o empreendedor que pretendesse implantar um empreendimento de porte no país como, por exemplo, uma usina hidroelétrica, a realizar um Estudo e um Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA). Essa nova exigência, na maioria dos casos, teve como resultado pagamentos significativos de indenizações a municípios e comunidades cujas propriedades eram atingidas pelos reservatórios das novas usinas hidroelétricas. Tais pagamentos, além de elevarem os custos dos projetos, tornaram-se mais frequentes e onerosos à proporção em que os governos locais recuperavam o poder no período de restauração da democracia no país (BANCO MUNDIAL, 2008).

Os anos 90 foram marcados pela limitação de crédito às estatais, que detinham o controle de grande parte dos processos de exploração energética. Esta condição acabou por sucatear estas empresas públicas o

que comprometeu a geração de energia. Diante deste cenário e com finalidade de dinamizar o setor, deu-se início a desestatização com liberação de acesso ao crédito às concessionárias privadas e, em menor instância, as públicas.

Em 1996, com a instituição da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através da Lei Federal nº. 9.427/96, sinaliza-se o início da reforma regulatória do setor elétrico. A ANEEL foi concebida como um órgão independente que deveria garantir o alcance dos seguintes objetivos: elaboração de parâmetros técnicos para garantir a qualidade do serviço aos consumidores, solicitação de licitações para novas concessões de geração, transmissão e distribuição, garantia do mercado atacadista de eletricidade de forma competitiva, estabelecimento de critérios para custos de transmissão e a fixação e implementação de revisões de tarifa no varejo (GOMES *et al.*, 2002).

O início tardio da reforma regulatória do setor somada ao sucateamento das empresas estatais e a escassez das chuvas no ano de 2001, resulta no desencadeamento de uma crise energética. Em meio à conjuntura adversa, o governo institui a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, que tinha como função implantar medidas para garantir que a demanda por energia fosse suprida em um curto período de tempo. A partir desse modelo foram criados programas de apoio para investimentos em projetos de pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) e na diversificação das fontes de energia que compõe a matriz energética brasileira. Este projeto manteve o Estado como órgão decisor e mantenedor das políticas que visam à regulação e o planejamento da produção de energia.

As Leis Federais nº. 10.847, que autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e nº. 10.848, que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, junto ao Decreto Federal nº. 5.081/2004, estabelecem regras e definem as funções e atribuições dos diversos agentes institucionais que tem como objetivo manter o suprimento de energia ao mercado e a expansão permanente do setor.

## 2.2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O SETOR ELÉTRICO

Data de 1934 o primeiro esforço legal para proteger os recursos florestais do país. Em 23 de janeiro deste ano, a partir do Decreto Lei nº. 23.793/34 é editado o Primeiro Código Florestal Brasileiro. Este documento sofre uma revisão e é revogado com a criação do Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº. 4.771, de 15 em setembro de 1965.

Conforme consta no Art. 1º do Código Florestal a partir do texto inserido pela Medida Provisória 2.166-67/2001, Área de Preservação Permanente (APP) significa:

(...) área protegida nos termos dos Arts. 2º e 3º desta Lei, 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.

A partir da definição do termo APP, verifica-se que estas diferem das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) em parte devido a sua função e característica. Considerada uma categoria de unidade de conservação, as APAs são definidas pelo Art. 15 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei nº. 9.985, de 18 de julho de 2000) como:

(...) uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais;

Podendo ser constituídas por terras públicas e privadas, são conferidas as APAs normas e restrições para sua utilização, pesquisa e visitação. Estas unidades de conservação devem ser geridas por um órgão específico constituído por representantes da sociedade civil e de entidades públicas.

A manutenção das APPs, por sua vez, é de responsabilidade exclusiva do proprietário do terreno onde esta se insere. É ele que responde por toda e qualquer ocorrência lesiva a esta faixa de vegetação. Desta forma a gestão das APAs, diferente das APPs, é feita pelo proprietário da parcela sem auxílio do Estado ou de qualquer outra organização civil.

Apesar da redação do Novo Código Florestal condicionar a preservação da cobertura vegetal ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios de água naturais ou artificiais, nas nascentes, ou mesmo

nos chamados olhos d'água, não há neste regulamento definição da área mínima de vegetação que deve ser mantida em seu entorno.

Em 18 de julho de 1978 são feitas alterações no Código Florestal a partir da Lei n.º. 7.803. A partir desta data altera-se a redação do Art. 2º onde são estabelecidas as áreas mínimas para manutenção da vegetação ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, nas nascentes e olhos d'água, mas ainda não traz orientações quanto à área mínima de preservação para lagos naturais ou artificiais. Desta forma a resolução do CONAMA n.º. 302 de 20 de março de 2002 vem complementar o Código Florestal dispondo sobre os parâmetros, definições e limites das APPs de reservatórios artificiais e o regime de uso do seu entorno.

Conforme disposto no Art. 3º da Resolução CONAMA n.º. 302/2002, constitui-se APP a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de:

I - trinta metros para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e cem metros para áreas rurais;

II - quinze metros, no mínimo, para os reservatórios artificiais de geração de energia elétrica com até dez hectares, sem prejuízo de compensação ambiental;

III - quinze metros, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até vinte hectares de superfície e localizados em área rural.

Verifica-se a partir do § 1º desta resolução que o empreendedor é o responsável por garantir a APP ao redor do lago com o auxílio do plano ambiental, que deve ser constituído conforme termo de referência expedido pelo órgão ambiental competente. Suscita-se também o descrito no § 4º onde consta que no plano ambiental de conservação e uso do entorno de reservatórios artificiais poderão ser indicadas áreas para implantação de polos turísticos e de lazer, desde que estes não excedam dez por cento da área total do seu entorno.

Referente à supressão da vegetação em APPs a legislação restringe sua ocorrência somente

em caso de utilidade pública ou de interesse social, devidamente caracterizado e motivado em

procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto (redação dada pela Medida Provisória nº. 2.166-67, de 2001).

No Código Florestal em seu Art. 26 apresentam-se os atos que representam uma contravenção penal quanto à APP, sejam eles:

- a) destruir ou danificar a floresta considerada de preservação permanente, mesmo que em formação ou utilizá-la com infringência das normas estabelecidas ou previstas nesta Lei;
- b) cortar árvores em florestas de preservação permanente, sem permissão da autoridade competente;
- c) penetrar em floresta de preservação permanente conduzindo armas, substâncias ou instrumentos próprios para caça proibida ou para exploração de produtos ou subprodutos florestais, sem estar munido de licença da autoridade competente; (...)  
(BRASIL, 1965)

Sendo estes atos puníveis com prisão simples, multa ou ambas as penas cumulativamente. Verifica-se a partir do exposto que, em se tratando de meio ambiente, existem recursos legislativos para garantir que a concessionária cumpra a função de manter as APPs. Há ainda outras leis que amparam o país ao regulamentar o uso da área que circunda os reservatórios. A Lei nº. 8.987 de 13 de fevereiro de 1995 que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos e descreve, em seu Art. 6, que “toda a concessão ou permissão pressupõe a prestação do serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários” (BRASIL, 1995). Para efeitos desta lei configura-se no parágrafo 1º que serviço adequado é aquele que atende, dentre outras, as condições de regularidade, eficiência, segurança e modicidade das tarifas. Neste mesmo dispositivo legal, em seu Art. 25, verifica-se que a instituição que obteve a concessão do serviço deve responder pelos prejuízos causados ao poder concedente, aos usuários ou a terceiros.

O Art. 31 da mesma lei adjudica a concessionária a: prestar serviço adequado; manter em dia o inventário e o registro dos bens vinculados à concessão; prestar contas da gestão do serviço ao poder concedente e aos usuários; cumprir e fazer cumprir as normas do serviço

e as cláusulas contratuais da concessão; permitir aos encarregados da fiscalização livre acesso, em qualquer época, às obras, aos equipamentos e às instalações integrantes do serviço, bem como a seus registros contábeis; promover as desapropriações e constituir servidões autorizadas pelo poder concedente; zelar pela integridade dos bens vinculados à prestação do serviço e captar, aplicar e gerir os recursos financeiros necessários.

Verifica-se a partir do exposto que as invasões em APP comprometem a qualidade ambiental do lago e põem em risco a permanência da concessão de exploração de energia à concessionária. Tais condições só podem ser controladas quando se executa a gestão ambiental eficaz deste espaço.

### 2.3. CONCEITO DE GESTÃO

Para melhor entender o conceito de gestão é necessário partir do conceito de território. Para Souza o território é “um espaço definido e delimitado por e a partir de relações de poder” (1995, p.78). O exercício do poder pode ocorrer de várias formas sobre este espaço, que também pode ser entendido como um espaço concreto, uma parcela geográfica que compreende as terras emersas, o espaço aéreo, os rios, os lagos, as águas e todas as infraestruturas construídas pelo homem. Este mesmo espaço conta ainda com a diversidade de um grupo social que tem neste território sua identidade sociocultural, uma vez que o território quando ocupado é visto como gerador de raízes e identidade de um povo (Souza, 1995). Os espaços territoriais são formados por um conjunto de fatores naturais e de bens de capital capazes de determinar as opções de localização das instituições empresariais e o deslocamento da mão de obra. Os laços informais também devem ser considerados pois as interações construídas moldam os indivíduos criando uma identidade que influencia de modo direto no uso do território.

Por sua vez os atos de administrar e gerir são interpretados muitas vezes como sendo sinônimos, porém segundo Dias (2002), existe uma diferença entre administração e gestão. Dias (2002) define administração como o ato de planejar, organizar, dirigir e controlar de forma eficiente e eficaz os objetivos de uma organização. Enquanto que gestão é:

(...) lançar mão de todas as funções – técnica, contábil, financeira, segurança e administração – e conhecimentos – antropologia, psicologia, estatística, mercadologia, ambiental entre outras –

para através das pessoas se atingirem os objetivos de uma organização de forma eficiente e eficaz (p. 11).

O conceito de gestão ambiental se aproxima muito da definição dada por Dias (2002), visto que esta considera uma abordagem integrada que tem por fim abarcar questões relativas ao meio ambiente natural ou construído bem como as interações que envolvem os diferentes sistemas que os constituem. Philippi e Bruna (2004) definem gestão ambiental como sendo um ato de reger ou administrar as partes que constituem o meio ambiente, sejam eles ecossistemas naturais e sociais, em que o homem esta inserido alterando processos a partir de suas atividades sem comprometer a qualidade dos recursos naturais.

Considerando a definição de Dias (2002) e de Philippi e Bruna (2004) como adequada, o termo gestão ambiental se aplica corretamente nesta pesquisa visto que, devido à complexidade e a imensa gama de fatores a ser considerada, a área de entorno da UHE Cana Brava não pode ser vista de forma segmentada, ao contrário, para que ocorra uma gestão eficiente deste território deve-se ter uma visão integrada e multidisciplinar de todo o sistema físico e social.

A gestão eficiente do espaço de influência direta das usinas hidroelétricas traz grandes benefícios ao empreendedor que conquistou a concessão para a prestação dos serviços e para a população que vive em seu entorno. A partir das considerações e características destes habitantes é que as funções do território deverão ser organizadas, de forma a melhor atender suas necessidades e garantir a sustentabilidade das obras e a qualidade de vida dos habitantes que vivem na circunvizinhança.

É relevante ressaltar que se torna difícil realizar gestão ambiental de forma a garantir o bem estar da população se esta não for implementada de forma participativa. Para a gestão de determinada área é necessário ter conhecimento da situação existente constatando a real condição do espaço a ser gerido. No caso da UHE Cana Brava existe a necessidade de localizar as áreas que foram invadidas para que seja possível não só recuperar as APPs degradadas, mas também, estudar uma forma de manter o espaço nas condições requeridas pela legislação. É importante que o ambiente seja entendido como um todo para que a gestão deste espaço resulte eficaz. Os gestores do espaço compreendido como de influência direta das usinas hidroelétricas, tem como principal função conhecer a dinâmica da área sob sua responsabilidade a fim de garantir que ela se apresente da forma mais adequada. Para tanto, tem-se



atualmente diferentes ferramentas que auxiliam os gestores nesta tarefa, dentre elas pode-se citar o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM).

## 2.4. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

### 2.4.1 Contextualização e breve histórico

Apesar de existirem evidências que povos primitivos desenvolveram técnicas de medição, o cadastro cujo conceito se conhece hoje foi instituído na França durante o governo de Napoleão Bonaparte.

Napoleão, em sua estratégia para dominar a Europa, usou o cadastro para identificação de terras em um mapa que detalhava sua localização e fronteiras. Posteriormente ele foi usado como base para definir tributos com objetivos fiscais e como registro legal para os entes privados (LARSSON, 1996 apud NERIS, [s.d.]).

Segundo Neris [s.d.], Napoleão instituiu instruções referentes a criação do cadastro baseado em levantamento topográfico a partir da publicação de uma lei no ano de 1807. Em 1808, Napoleão publica um decreto de regulamentação elaborado por um grupo técnico, sendo então o cadastro finalizado em 1850.

Devido à falta de atualização dos registros o cadastro francês não teve todo o seu potencial explorado, no entanto, a herança napoleônica referente ao trabalho com o cadastro foi repassada a grande parte dos países europeus que, durante o século XIX, instituíram seus cadastros tendo como base os critérios definidos por Napoleão.

Em meados do século XIX a Alemanha introduz o registro de título baseado no levantamento cadastral que foi finalizado em 1900. “Entre 1900 e 1935, outros países como a Áustria, Suíça, Dinamarca, Iugoslávia, Suécia e Noruega, também seguiram na mesma direção” (NERIS, [s.d.], p. 08).

No Brasil, a questão dos tributos é tratada na Constituição de 1946 (Artigo 28), onde fica estabelecido que cabe aos municípios a decretação e arrecadação dos impostos bem como a aplicação desta renda. Condição esta que sugere uma movimentação para elaboração de cadastros fiscais imobiliários em âmbito municipal. No entanto, segundo Pereira (2009) foi somente com o Estatuto da Terra instituído a partir da Lei n.º. 4.504 de 30 de novembro de 1964, que tinha o objetivo levantar todas as terras para fins de reforma agrária, onde ocorreu a regulamentação do processo de cadastramento de imóveis.

Não tendo cumprido de forma plena este objetivo, e restando grandes extensões do território sem medição e registro, criou-se em 9 de julho de 1970, a partir do Decreto Lei nº 1.110, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Esta autarquia federal foi gestada com a incumbência primeira de “realizar a reforma agrária, manter o cadastro nacional de imóveis rurais e administrar as terras públicas da União” (INCRA, 2011). Ressalta-se, no entanto, que a partir desta data se estabelece no país as diretrizes para o cadastro das propriedades rurais não considerando o território rural como um todo, ou seja, o que não se constituía como uma gleba privada não era considerada objeto de cadastro (PEREIRA, 2009). Assim, em 28 de agosto de 2001 foi publicada a Lei nº 10.267, conhecida como a lei de georreferenciamento dos imóveis rurais, que estabelece uma nova regulamentação e modifica alguns dispositivos do Estatuto da Terra.

Verifica-se a partir do exposto que apesar dos esforços empreendidos tanto no Estatuto da Terra quanto e na Lei nº 10.267, não se encontra, em ambos, nenhuma menção ao cadastro urbano, isto se deve ao fato das cidades atingirem maior significância em meados século XX, de forma mais específica a partir de 1970, quando em todo o país ocorreu um aumento da população urbana, conforme relata Santos (1988).

A falta de regulamentação para o cadastro urbano começa a ser objeto de estudo somente em 2003, com a criação do Ministério das Cidades, onde dá-se início a um processo de capacitação dos servidores que trabalham em órgãos públicos na área de cadastro técnico. Outro fator preponderante trabalhado é a inclusão e geração dos mapas temáticos cadastrais como ferramentas de apoio a gestão pública. Estes produtos cartográficos auxiliam as diferentes esferas governamentais ou privadas no reconhecimento da condição real das áreas que estão sob sua responsabilidade. Tais empenhos para a aplicação do cadastro vem de encontro com a importância do reconhecimento do território que pode ser considerado um dos maiores ganhos quando da aplicação do cadastro, pois este fornece uma riqueza de informações sistematizadas, confiáveis e úteis para análise e posterior execução de uma gestão adequada (PEREIRA, 2009).

#### **2.4.2 O CTM como ferramenta de gestão**

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) é uma ferramenta que deve ser utilizada para integrar, através da organização de um banco

de dados, informações sobre determinada parcela (unidade territorial jurídica). O CTM da parcela registrado sob um código único permite identificar os indivíduos que nela residem, o uso que lhe é dado e o histórico da sua evolução (LOCH e ERBA, 2007).

Ainda, segundo Loch (2005), o CTM abarca a cartografia e as medições, a legislação aplicada e a avaliação socioeconômica da população. De forma mais ampla o CTM permite apresentar a descrição geométrica das parcelas, ligando-as aos demais registros que descrevem a natureza dos interesses, incluindo os aspectos legais e fiscais de forma a auxiliar na gestão do uso e ocupação do solo (FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DOS GEÔMETRAS - FIG, 2009).

Conforme Portaria n° 511, de 7 de dezembro de 2009, o cadastro, como repositório de informações, “atende necessidades sociais, ambientais, econômicas, da administração pública, da segurança jurídica e da sociedade” (BRASIL, 2009) e auxilia a partir do seu histórico no acompanhamento da evolução ou mudanças temporais das atividades que ocorrem em diferentes espaços quando na análise de uma parcela (LOCH, 1993).

Outra questão que deve ser destacada é a confiabilidade que o dado ou informação adquire quando organizada sob a ótica do cadastro, visto que as ações feitas sobre o território refletirão a veracidade destes insumos permitindo ao gestor ter um amplo panorama da área estudada. Esta junção de informações, que considera os vários aspectos desta unidade de paisagem, permite análises mais apuradas que garantirão uma tomada de decisão mais acertada.

Ainda para Briassoulis (2000), a classificação do uso da terra torna-se muito mais detalhada quando trabalhada no âmbito da parcela, devido a escala é possível coletar dados ambientais, socioculturais, demográficos, econômicos dentre outros.

Vislumbrando este propósito, diferentes instituições das esferas públicas e privadas tem utilizado o CTM para estruturar grandes quantidades de informação com as mais diferentes finalidades, dentre elas pode-se citar a gestão territorial e ambiental.

Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) o CTM ganhou um aliado que permite parametrizar modelos de planejamento e visualizar os dados de forma gráfica (ou cartográfica) espacialmente, conferindo maior facilidade de compreensão se comparado a dados tabulares ou relatórios elaborados a partir de documentos de texto (ERBA, 2005, p.27).

Considerando o exposto acredita-se que a utilização do conceito de cadastro somada a espacialização dos dados através do SIG, auxiliará

de forma significativa a avaliação das parcelas que sofreram ocupação irregular em sua APP, uma vez que grande parte dos dados da área em estudo está disponível apenas em documentos de texto.

## 2.5. GEOPROCESSAMENTO E SIG

Obter e organizar uma grande quantidade de dados e informações sobre determinada área é uma tarefa muito trabalhosa e importante, especialmente para os gestores que tem como premissa executar ações ou propor políticas sobre o território. Esta tarefa, que até pouco tempo era realizada de forma analógica, com o advento da informática tem sido realizada de forma digital tornando os processos mais eficientes.

Dentro deste contexto, e com o propósito de armazenar e representar informações geográficas surgiram as técnicas de geoprocessamento. Conforme Câmara e Medeiros (1998, p. 3) “geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas”. Um exemplo de ferramenta utilizada para executar o geoprocessamento são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os Sistemas de Informação Geográfica são um conjunto de hardware e software que realizam o tratamento computacional de dados espaciais, considerando não só suas características alfanuméricas, mas também a localização espacial dos objetos. Estes sistemas auxiliam em análises complexas quando criam um banco de dados a partir de dados provenientes de diversas fontes como, por exemplo, dados *rasters*, vetoriais, numéricos, descritivos e temporais (CÂMARA e CLODOVEU, 2009).

Ainda, segundo Câmara e Medeiros (1998), um SIG deve apresentar condições para armazenamento de informações espaciais (mantendo a geometria e os atributos dos dados) através de um banco de dados geográfico, suportar análises espaciais de diversos fenômenos e, por fim, permitir a produção de mapas.

O mercado oferece uma gama de softwares voltados ao tratamento e análise de informações geográficas dentre eles pode-se citar o ArcGis, família de softwares de SIG da ESRI.

### 2.5.1 Dados e informações espaciais

Para entender o significado de informações espaciais é necessário conhecer o conceito de dados espaciais, uma vez que uma informação é

basicamente a interpretação e compreensão de um conjunto de dados, ou seja, uma informação espacial é resultado da análise de um conjunto de dados espaciais.

Dados espaciais são dados que se referenciam no espaço terrestre por meio de coordenadas que descrevem a localização e uma variável que representa o atributo.

O dado espacial se refere à localização, a forma e as relações entre as entidades espaciais. Um dado espacial é um elemento localizado no espaço mediante um sistema predefinido de coordenadas que podem ser descritas por meio de atributos e sua relação com outros elementos pode ser perfeitamente estabelecida.

### **2.5.2 Representação e estrutura dos dados espaciais**

Ponto, linha e polígono são as notações básicas para representar dados.

Quanto à estrutura, os dados espaciais podem ser apresentados de duas formas: matricial ou *raster* e vetorial.

- Matricial ou *raster*: São elementos compostos por *pixels* ou células e descrevem o espaço na forma de uma matriz. Imagens de satélite e imagens de radar são exemplos de dados *rasters*.

- Vetorial: São os pontos, linhas e polígonos que descrevem os objetos como, por exemplo, fronteiras e delimitação das áreas dos municípios, redes viárias e hidrográficas.

### **2.5.3 Características dos dados espaciais**

Segundo Paredes (1994) os dados geográficos possuem propriedades específicas que são: a localização, volumetria, dimensionamento, continuidade, tamanho, distribuição, padrão, vizinhança, contiguidade, forma e escala.

Referente às características deve-se considerar que os dados espaciais representam objetos do mundo real em termos de posição (sistema de coordenadas), de atributos e de parâmetros espaciais pelas relações de topologia que descrevem na união entre si (PAREDES, 1994). Desta forma a localização define a condição geométrica de um objeto, a relação define a topologia e a descrição define os atributos das entidades.

Os dados espaciais vetoriais são divididos em classes que são definidas conforme a sua dimensão espacial. Um ponto é um objeto sem dimensão que especifica uma localização geométrica e que, por sua vez, não possui área. A linha é um objeto com uma dimensão que admite formas complexas, retas e curvas resultantes de funções matemáticas onde se diferencia claramente um ponto final e um ponto inicial, e o polígono que é considerado um objeto com duas dimensões e uma área, este último também pode se apresentar de várias formas.

Os atributos, ou dados descritivos, são formados por informações relativas aos aspectos físicos, ambientais, socioeconômicos, agrupados em:

- Físico-ambientais: pode-se citar, o uso do solo, topografia e estruturas arquitetônicas;
- Sociais: Dados referentes à população e habitação são exemplos de dados sociais.
- Econômicas: dados de emprego e renda e finanças públicas;
- Infraestruturas: Os dados relacionados a serviços urbanos e rurais, sistema viário e energia.

Deve-se citar que certos dados podem possuir características temporais e espaciais como, por exemplo, a relação entre densidade populacional e o nível de desemprego em um dado espaço de tempo. Alguns estudos podem apresentar padrões temporais regulares o que facilita o processo de interpretação, enquanto outros podem apresentar regularidade cíclica ou mesmo serem irregulares.

#### **2.5.4 Fontes dos dados espaciais**

Os dados espaciais são provenientes de diversas fontes, como: dados administrativos, censitários, relatórios, levantamento e observações de campo, levantamentos socioeconômicos, topográficos, mapas bi e tridimensionais, relatórios estatísticos, levantamentos de população e outras fontes de informações obtidas por intermédio de restituidores e dos produtos oriundos do sensoriamento remoto (PAREDES, 2004).

## 2.6. IMAGENS DO SATÉLITE QUICKBIRD

O satélite QuickBird, desenvolvido pela empresa norte-americana DigitalGlobe, foi lançado em outubro de 2001 com o objetivo de captar imagens pancromáticas e multiespectrais de alta resolução espacial da superfície terrestre.

Operando no modo pancromático e multiespectral, nas faixas do visível ao infravermelho, as bandas coletadas apresentam resolução espacial de 0,61 e 2,44 m respectivamente, o que permite a fusão para a geração de uma imagem colorida (cor real) com resolução espacial de 0,61 m.

Com uma revisita de aproximadamente três dias o satélite tem capacidade de coletar imagens com agilidade, garantindo assim a obtenção de dados sobre determinada área. Os dados por este satélite coletados destacam-se no auxílio da gerência territorial devido à possibilidade de utilização deste produto na atualização do cadastro e de diferentes mapeamentos temáticos.

As características técnicas associadas ao satélite QuickBird e as diferentes resoluções disponibilizadas pelos seus sensores imageadores, são apresentadas na tabela 01.

Tabela 01 - Características do satélite QuickBird

Bandas Espectrais		Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
Pancromática	P&B	405-1053 nm	61 a 72 cm	1 a 3,5 dias dependendo da latitude	16,5 x 16,5 km
Multiespectral	Azul	430 - 545 nm	2,4 a 2,8 m		
	Verde	466 - 620 nm			
	Vermelho	590 - 710 nm			

Fonte: DigitalGlobe (2011)

Nota: Adaptado pela autora

Devido a estas características, os dados coletados por este satélite têm sido amplamente utilizados por instituições públicas ou privadas.

Para a realização desta pesquisa, a resolução espacial das Imagens QuickBird foi um fator determinante na escolha do produto. As imagens adquiridas através do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL já estavam corrigidas radiométrica e geometricamente, ou seja, já haviam passado pelo processo de ortorretificação, o que permitiu realizar um mapeamento em uma escala próxima a 1:10.000. Processamentos digitais efetuados com o objetivo

de melhorar o aspecto visual da cena também foram executados, assim as imagens foram recebidas equalizadas e mosaicadas, não sendo necessário, portanto, executar nenhuma técnica de processamento dos dados *rasters*.

Através da boa qualidade visual das imagens, tornou-se possível a vetorização manual do uso e cobertura do solo, considerando um grande número de classes, da APP da UHE Cana Brava, o que permitiu posterior identificação das mudanças que ocorrem na área e a caracterização da intervenção do homem.

Para a realização do mapeamento temático de uso e cobertura do solo, cujo conceito será apresentado a seguir, que é a principal fonte de dados desta pesquisa, foram utilizados mosaicos na composição cor real coletadas em diferentes datas nos anos de 2004, 2005 e 2008.

## 2.7. DINÂMICA DE USO E COBERTURA DO SOLO

Quando se faz necessário considerar a dinâmica do uso e/ou cobertura do solo em um estudo é comum se considerar uma janela temporal que poderá indicar padrões ou tendências das mudanças que ocorrem em determinado espaço de interesse. Para tanto atualmente conta-se com uma gama de tecnologias que auxiliam nesta tarefa, desde a coleta destes dados a partir de sensores remotos até sua manipulação a partir de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). No entanto, a qualidade dos dados ainda está relacionada com a capacidade do usuário destes sistemas em definir as classes adequadas para atender os objetivos propostos e efetuar as técnicas mais apropriadas para o processo de extração dos elementos.

Antes que se possa iniciar o trabalho de extração e manipulação dos dados, é importante entender e definir o conceito de uso e de cobertura do solo, visto que por vezes estes termos são usados como sinônimos.

Segundo Turner *et al.* (1994, p. 92) “as mudanças na cobertura do solo são causados pelos usos da terra que, por sua vez, são governados por forças humanas”. Ou seja, a pesquisadora entende a cobertura do solo como sendo a caracterização física (biótico ou abiótico), ou a composição do ambiente no local e o uso do solo, como a mudança ou conversão desta composição para atender as demandas geradas pela sociedade que vive neste ambiente.

Briassoulis (2000) reforça este conceito quando descreve que o estudo das mudanças no uso do solo é, essencialmente, o estudo da relação entre as pessoas e a terra, e que a análise destas mudanças deve



se dar pelo conhecimento de quem é o ator que decide alterar a cobertura do solo, onde, quando e porque este ator quer executar as modificações. A autora ainda destaca que podem ocorrer mudanças na cobertura do solo sem que necessariamente haja mudança no seu uso, por exemplo, quando da ocorrência de fenômenos naturais. Existe ainda a possibilidade de ocorrência de diferentes coberturas em um só sistema de uso, como os sistemas agrícolas que normalmente apresentam áreas cultivadas, pastagens, áreas construídas, dentre outros.

Considerando o exposto, esta pesquisa mapeará a partir de dados *rasters* a cobertura e o uso do solo com o objetivo de identificar os elementos naturais que compõe as parcelas, compartimento de paisagem adotado neste trabalho, que podem ser considerados atrativos para intervenção humana em APPs.

## 2.8. ATRATIVOS DA PAISAGEM E OUTROS VETORES DE OCUPAÇÃO HUMANA

O clima, a geologia, as formas de relevo (geomorfologia) ou mesmo o tipo de solo de uma dada região, influenciam na forma como os indivíduos fazem uso do território em que se encontram. Partindo-se deste pressuposto, as características físicas de determinadas regiões podem ser consideradas atrativas para a ocorrência de ocupação irregular em APP. De modo a melhor entender a relação destas variáveis físicas com as ocorrências das invasões registradas, deve ser adotado um recorte de paisagem. Estes recortes, que nesta pesquisa correspondem à parcela, são chamados de compartimentos de paisagem.

### 2.8.1 Compartimentos da Paisagem

Uma determinada porção da configuração territorial que é possível se abarcar com a visão, local onde estão representadas as relações entre o homem e a natureza, assim Santos (1996) define paisagem e a diferencia do espaço. Para ele a paisagem pode ser entendida como uma combinação de “objetos naturais e objetos fabricados, isto é, a acumulação da atividade de várias gerações” (SANTOS, 1997, p. 37), condição esta que se modifica conforme as mudanças e as novas necessidades impressas pelo homem. Santos (1997) disserta ainda que o espaço se altera para dar lugar a uma outra forma de paisagem que atenda as necessidades da estrutura social.

Conforme Silveira (2009) foi Humboldt que no final do século XVIII considerou a noção de paisagem como categoria de análise. O pesquisador ainda destaca a importância do estudo das paisagens como elemento “transformador e condicionador que compõe aspectos culturais relevantes da sociedade, que exprime valores, posturas e a própria existência humana” (p.12). Sendo esta uma unidade de estudo interessante para avaliação das questões ambientais e das ações humanas que ocorrem sobre o território e que culminam na alteração constante destas paisagens.

Considerando a paisagem como a materialização da atividade de várias gerações e que esta muda conforme as necessidades apresentadas pela estrutura social, é possível que se encontre nestes cenários as amenidades. Amenidades segundo Corrêa (1989) são estruturas ou elementos naturais que tornam determinada área atrativa. Desta forma, as amenidades se constituem de serviços públicos, benfeitorias coletivas como postos de saúde, escolas, creches ou mesmo as áreas de lazer sejam elas construídas pelo homem como, por exemplo, as praças e parques ou mesmo as áreas cujas características naturais tornam a paisagem atrativa a dada sociedade.

Compondo os atrativos da paisagem encontra-se um conjunto de potenciais naturais, definidos pela sua geologia, geomorfologia, vegetação, solo, hidrografia, dentre outros. Os componentes da paisagem permitem que esta seja compartimentada de forma a facilitar a análise dos potenciais naturais que são modificados pela ação das sociedades humanas (FONTOURA, VERDUM e SILVEIRA, 2003). Este recorte da paisagem pode ser definido de acordo com o ponto de vista do observador. Segundo Fontoura, Verdum e Silveira (2003) é possível trabalhar com pequenas escalas para trabalhar as grandes estruturas da paisagem, ou aumentar a escala de forma a identificar os detalhes em nível de parcela. Dentre estes recortes, é possível distinguir o compartimento onde se verificam os componentes da paisagem tais quais as condições do meio que marcam a ocupação do território (FONTOURA, VERDUM e SILVEIRA, 2003).

Dado o exposto, verifica-se que analisar a paisagem no estudo das invasões em APPs, auxiliará na identificação dos potenciais elementos presentes nestas áreas que inibem ou facilitam a ação humana. Isto por que quando da análise das invasões na APP do lago da UHE Cana Brava, deverão ser identificados os elementos visuais do uso da terra e as características naturais que permitem verificar a influência da configuração da paisagem no agir humano. Para tanto se observará a cobertura e uso do solo e as estruturas produtivas, que caracterizam as

práticas desenvolvidas pelos moradores do entorno do lago, inclusive considerando o histórico da ocupação humana, intrínseco a paisagem.

Estas variáveis serão estudadas com o objetivo de identificar às áreas mais suscetíveis a invasão, condição que permitirá a projeção de cenários futuros. Estes cenários futuros são projetados a partir das chamadas ferramentas de modelagem dinâmica espacial ou ferramentas de suporte a decisão.

## 2.9. CONCEITOS RELATIVOS À SIMULAÇÃO E A MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL

### 2.9.1 Conceitos básicos de simulação

A simulação pode ser entendida como a imitação, gerada a partir da criação de uma história artificial, da operação de um sistema e desta a inferência de como um sistema real funcionaria. Assim a construção de um modelo de simulação envolve um conjunto de considerações relacionadas ao funcionamento de determinado conjunto de objetos que estão juntos em alguma interação ou interdependência.

Em síntese, modelos de simulação são uma forma de analisar os sistemas e por esse motivo a construção destes arquétipos apresenta numerosas vantagens, dentre elas: a possibilidade de elaboração de novas políticas públicas e a avaliação de procedimentos operacionais ou regras de negócio sem ter que, para tanto, alterar o espaço real. Sistemas de transportes podem ser analisados antes de ocorrer investimento de recursos na sua alteração, hipóteses sobre como e porque certos fenômenos ocorrem podem ser testadas e, é possível a partir do modelo, entender a interação das variáveis em estudo.

Dentre os modelos utilizados com o fim de simular sistemas se pode citar os modelos Estáticos ou Dinâmicos e Discretos e Contínuos. As características básicas de cada um deles são:

- Estáticos: são modelos onde a passagem do tempo é irrelevante;
- Dinâmicos: sistemas cujos resultados variam com o tempo.
- Discretos: são modelos de simulação que consideram somente a alteração do sistema desconsiderando o tempo decorrido;
- Contínuos: são modelos de simulação que consideram a mudança do sistema a cada fração de tempo.

Para a elaboração de um projeto de simulação, algumas etapas devem ser seguidas, sejam elas (SAKURADA e MIYAKE, 2009):

- Formulação do problema;
- Determinação dos objetivos: que é o planejamento global do projeto ou questões que devem ser respondidas pela simulação;
- Construção do Modelo: que trata do processo de modelagem propriamente dito, que é facilitado se definidas as partes essenciais de um problema. Selecionar e modificar as considerações básicas que caracterizam o sistema enriquece a elaboração do modelo até a aproximação de resultados úteis;
- Coleta de dados: quanto mais complexo o modelo mais dados são necessários;
- Codificação: definição das funções matemáticas;
- Validação: verifica se o modelo é uma representação fiel do sistema que se quer modelar, caso negativo, é nesta fase que se executa os ajustes para que o modelo se aproxime da realidade apresentada pelo sistema em sua condição real e em consequência, do problema modelado.

## **2.9.2 Modelagem dinâmica espacial**

Apesar do avanço das geotecnologias na representação e análise de fenômenos espaciais estáticos, busca-se ainda melhorar e transpor as dificuldades para representar de forma apropriada os fenômenos espaço-temporais, ou seja, os fenômenos dinâmicos. Isso ocorre em função do espaço ser uma unidade de estudo não homogênea tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura.

Segundo Pedrosa (2003, 23 p.) a modelagem dinâmica tem a função de realizar uma “simulação numérica de processos dependentes do tempo” como, por exemplo, os processos naturais ou antrópicos.

Assim, modelos espaciais dinâmicos devem, a partir de escalas temporais e espaciais, descrever determinado acontecimento de forma quantitativa e prever sua evolução. Para tanto, um modelo deve considerar relacionamentos e processos, de um número mínimo de elementos variáveis, que serão diferentemente destacados em função do objetivo que se deseja alcançar com a construção do modelo. Esta condição, segundo Pedrosa (2003), permite classificar os modelos dinâmicos em: empíricos e sistêmicos.

- **Modelos Empíricos**

Podem ser entendidos como modelos matemáticos simples que se utilizam de poucas variáveis para explicar determinado fenômeno. Outra característica dos modelos empíricos é que estes não apresentam dificuldades para serem implementados em SIG e aceitam em sua modelagem dados oriundos de fontes de sensoriamento remoto (PEDROSA, 2003).

Os modelos em questão são construídos a partir das interações entre as variáveis observadas no passado e consideradas contínuas no futuro. Para Pedrosa (2003) este modelo necessita de: uma configuração inicial, resultante de uma análise temporal do elemento em estudo, uma função de mudança e uma configuração de saída. A utilização desta configuração é considerada eficiente para modelar processos estacionários e gerar prognósticos (PEDROSA, 2003).

- **Modelos sistêmicos**

Segundo Pedrosa (2003) modelos sistêmicos consideram processos complexos que levam em consideração as interações entre todos os componentes de determinado sistema. As relações de vizinhança são avaliadas a partir da sobreposição de múltiplas escalas que os torna eficientes na abordagem da dimensão espacial.

Por oferecerem condições de execução de várias simulações a partir de diferentes cenários, os modelos sistêmicos, também considerados exploratórios, exigem grande conhecimento sobre o elemento que é objeto da pesquisa. Condição que os torna sistemas altamente especializados dificultando a aplicação do mesmo sistema a outros fenômenos (PEDROSA, 2003).

### **2.9.3 Modelagem a partir de autômatos celulares**

Autômatos celulares podem ser entendidos como sistemas baseados em grades, nas quais os processos de mudanças são representados célula a célula, onde é mapeado o estado atual de uma célula e das suas vizinhas para o estado da mesma no instante de tempo seguinte (ALMEIDA, 2003). Gremoni e Vicentini (2008) apresentam um conceito muito próximo para os autômatos celulares: são delimitados por uma malha contendo células de mesmo tamanho e forma. São modelos matemáticos cuja evolução pode ser regida por

regras simples, se considerado que estas células são identificadas por estados que evoluem a partir de regras de interação e com evolução temporal discreta.

Autômatos celulares têm capacidade de alterar seu próprio estado, em função das regras de transição. É composto por um conjunto de estados que se deslocam em resposta a entradas externas (GREMONINI e VICENTINI, 2008). A forma como estes estados evoluem permite distinguir os autômatos celulares em “determinísticos” e “não determinísticos ou probabilísticos”.

- Determinístico: quando um autômato celular não pode estar em mais de um estado em qualquer instante. Considera-se assim que um estado inicial é alterado por uma função de transição toda vez que um símbolo de entrada é processado, resultando em um conjunto finito de símbolos de entrada e num conjunto finito de estados;
- Não determinístico ou probabilístico: é quando o autômato pode estar em vários estados ao mesmo tempo. De tal modo que a partir de um dado estado ou de um dado símbolo de entrada este pode apresentar diferentes números de transições (inclusive zero).

Dada a grande diversidade de formas com as quais os autômatos celulares podem ser trabalhados, surgiram estudos que propuseram diferentes modelos. Dentre eles se pode citar o modelo proposto por John Von Neumann e Stanislaw Ulam, uma variação deste primeiro modelo apresentada por Stephen Wolfram, o Jogo da Vida, modelo proposto por John Horton Conway (GREMONINI e VICENTINI, 2008) e a proposta do *Research Institute for Knowledge Systems (RIKS)*.

Conforme a revisão bibliográfica elaborada por Gremonini e Vicentini (2008) no início dos anos 50, o modelo de autômato celular foi apresentado a John Von Neumann por Stanislaw Ulam. Este último utilizava-se de uma malha de células para estudar a formação de cristais e sugeriu a John Von Neumann que a utiliza-se em seu estudo onde tentava criar um sistema que se replicasse (GREMONINI e VICENTINI, 2008).

A partir de suas pesquisas considerando os autômatos celulares, Neumann apresenta um modelo cuja célula tinha 29 estados, provando que este modelo pode ser universal ou computacionalmente completo. O mesmo trabalho concluiu também que o conteúdo inicial das células de um autômato celular é resultado do seu Estado inicial. Ou seja, quando se considera a atribuição de qualquer valor (normalmente entre zero e um) a uma célula, pode ser verificado o desencadeamento de um

processo de evolução do autômato (GREMONINI e VICENTINI, 2008).

Considerando os estudos de Neumann, Stephen Wolfram desenvolveu uma variação do modelo de autômatos celulares. O modelo proposto por Stephen Wolfram considera sistemas naturais organizados a partir de uma malha de células iguais e discretas onde cada célula tem seu valor sobre um conjunto finito (GREMONINI E VICENTINI, 2008). Estes valores evoluem a partir de regras determinísticas que consideram o valor das células vizinhas para especificar o valor de cada célula. O estudo de Wolfram provou que um autômato celular pode exibir comportamento complexo mesmo considerando só regras locais. Nesta proposta os valores das células vizinhas possibilitam descobrir os estados para a atualização de cada célula no instante  $t+1$  (GREMONINI E VICENTINI, 2008).

John Horton Conway idealizou no ano de 1970 outra variante do modelo de autômato celular. Este modelo denominado Jogo da Vida (*Game of Life*) foi, segundo Almeida (2003), o modelo responsável por imortalizar o conceito de autômato celular quando comprovou que, mesmo utilizando autômatos celulares simples e aplicando regras locais pode-se obter padrões globais complexos. Para Conway uma grade quadrada regular bidimensional representa o espaço celular, onde a vizinhança é composta por oito vizinhos imediatos sendo quatro vizinhos ortogonais e quatro diagonais. Neste jogo considera-se que a célula pode estar viva ou morta como resultado de duas regras simples:

uma célula morta torna-se viva se há exatamente três células vivas imediatamente adjacentes à mesma. Uma célula permanece viva se há duas ou três células vivas nas suas adjacências, senão ela morre. Isto significa que uma célula morre de isolamento ou superpopulação (ALMEIDA, 2003, p.78).

Enfatiza-se que este jogo faz uma analogia com o processo de uma sociedade de organismos que ascende, alterna e, por fim, sofre uma queda. As regras instituídas consideravam locais de transição e arranjos espaciais que não permitissem que grupos de células morressem ou se alastrassem rapidamente. Percebe-se a partir do exposto que o modelo em questão permite a geração de um grande número de padrões de comportamento dinâmico e, por apresentar estas características, pode ser

considerado um modelo de simulação que se assemelha aos processos da vida real (SOARES-FILHO *et al.* 2004).

Ainda como uma variante das propostas para modelos de autômatos celulares há a proposta do *Research Institute for Knowledge Systems (RIKS)*. Este modelo propõe que seja feita uma modelagem considerando dados em multiescalas (Macro e Micro).

Segundo Engelen *et al.* (1995) nenhum modelo consegue considerar toda a gama de fenômenos que influenciam o sistema. Dentro desta perspectiva ele sugere o uso de uma modelagem composta por dois subsistemas conectados, um para o nível macro dos processos e outro no nível micro. Onde as respostas dadas pelos processos interagiriam continuamente através de uma rede de influência mútua e recíproca, em ambas as escalas a partir de um banco de dados geográficos alimentado para ser utilizado nas simulações, conforme representado na figura 01.

Nesta proposta de modelo os elementos das áreas ecológicas e socioeconômicas, que tentem a afetar o sistema como um todo, são tratados na macroescala, enquanto que a dimensão espacial do modelo é trabalhada na microescala. Conforme estudo elaborado por Pedrosa (2003) a macro e a microescala possuem as seguintes características:

- Macroescala: representam três subsistemas, o subsistema natural que abrange as condições climáticas, o social que trata de dados demográficos, e o econômico que é resultado das mudanças ocorridas nos dois primeiros. Estes subsistemas tem como objetivo estabelecer as relações de causa e efeito entre as variáveis de forma a identificar as demandas externas que influenciam na nova configuração do uso do solo. Esta demanda identificada na macroescala é então aplicada à microescala;

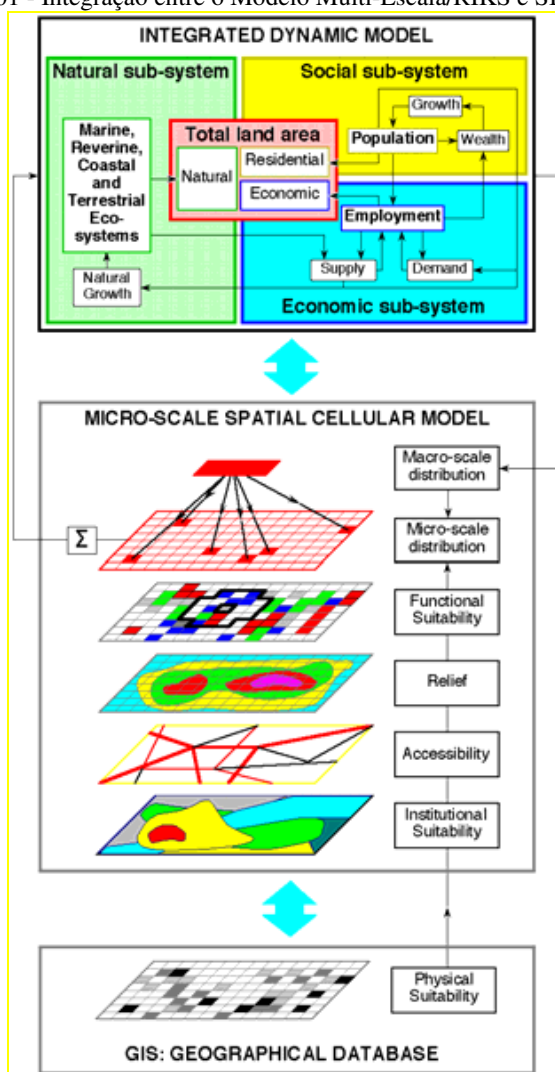
- Microescala: representa o uso do solo onde são aplicadas as regras de transição para calcular as mudanças nos autômatos celulares. As células na microescala são divididas em duas categorias, funções e feições. Usos do solo ativos, ou funções, são considerados passíveis de sofrerem mudanças como, por exemplo, uso residencial ou comercial. Enquanto que as feições representam os usos do solo fixos, ou que não estão sujeitos a mudanças geradas pelas regras de transição, tais como corpos d'água, relevo e clima. Estas feições podem eventualmente sofrer mudanças quando da ocorrência de um evento especial ou uma intervenção vinda de fora.

A partir do exposto verifica-se que modelos baseados em autômatos celulares podem estimar demandas de uso do solo,



considerando simultaneamente a capacidade de suporte ambiental da área em estudo (subsistema natural), assim como também as restrições existentes em nível local quando da necessidade de cumprimento de condições legislativas, funcionais, institucionais e de infraestrutura (ALMEIDA, 2003).

Figura 01 - Integração entre o Modelo Multi-Escala/RIKS e SIG



Fonte: Engelen *et al.* (1995)

## 2.9.4 Métodos de análise

Para a geração de um modelo faz-se necessário definir o conjunto de variáveis que influencia sobremaneira o sistema. Assim são utilizadas técnicas matemáticas, para simular as mudanças da paisagem, e para representar tais mudanças são utilizadas as matrizes de transição. Enquanto que para identificar e quantificar o conjunto de variáveis espaciais que de alguma forma influenciam a ocorrência destas mudanças utilizam-se métodos de probabilidade e estatística, tais como o Modelo de Pesos de Evidência e o Teste da Incerteza da Informação Conjunta.

- **Matrizes de transição e método de pesos de evidências**

A execução de modelos de simulação de mudanças de paisagem pode ser entendida através de uma função que apresenta mudanças nos padrões espaciais onde:  $X_t$  é o padrão espacial no tempo e  $Y_t$  é o conjunto de variáveis que interferem na mudança, conforme descrito na equação 01.

Equação 01

$$X_{t+v} = f(X_t, Y_t)$$

A partir desta equação percebe-se que para modelagem de sistemas dinâmicos é necessário definir os processos no tempo  $t$  que determinam o desenvolvimento padrão para o tempo  $t+v$ . Assim os aspectos da condição atual fornecem indicações do potencial de mudança diante dos diferentes cenários. Desta forma inicia-se a construção do modelo a partir do mapeamento de padrões mutáveis de uso e cobertura do solo de determinada área (SOARES-FILHO, B. S. *et al*, 2004).

Para a simulação das mudanças nos padrões espaciais devem ser definidos os elementos ou estados de uma paisagem e as transições possíveis. Como forma de representar estes modelos podem ser utilizadas as matrizes de transição, como ilustra a equação 02.

Equação 02

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{\cdot 1} & P_{j1} \\ P_{12} & P_{22} & P_{\cdot 2} & P_{j2} \\ P_{1\cdot} & P_{2\cdot} & P_{\cdot\cdot} & P_{j\cdot} \\ P_{1j} & P_{2j} & P_{\cdot j} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \cdot \\ j \end{bmatrix}_{t=0}$$

Onde  $P_{ij}$  é a matriz de transição na qual as probabilidades são representadas pelas colunas de um determinado estado  $i$  permanecer no mesmo estado ou mudar para o estado  $j$  no período de tempo  $t \rightarrow t + v$ .

Para a criação de modelos de simulação faz-se necessário identificar e quantificar o conjunto de variáveis espaciais que de alguma forma influenciam a ocorrência de mudanças. A análise destas variáveis deve possibilitar a geração de um mapa de probabilidade de ocorrência de mudanças. Para a geração deste produto podem ser utilizados diferentes métodos, dentre eles pode-se citar a regressão logística e o método de pesos de evidências.

O método de pesos de evidências, também conhecido como método Bayesiano, consiste na probabilidade de um evento acontecer condicionada pela ocorrência de certa evidência (MOREIRA, ALMEIDA FILHO e CÂMARA, 2003). Ou seja, tendo como exemplo o objeto desta pesquisa que trata da mudança do uso do solo devido a ocorrência de invasões em APP, o método é aplicado para calcular a probabilidade de ocorrência de desmatamentos a partir de locais considerados favoráveis a ocorrência de invasões.

Baseado em manipulações algébricas da função logarítmica, neste método, a implicação de uma variável em dada transição é calculada de forma independente. Segundo Soares-Filho *et al.* (2004) a influência de dada variável na probabilidade espacial de uma transição  $de i \Rightarrow j$  é dada pelas equações 03 e 04:

Equação 03:

$$O\{D/B\} = O\{D\} \frac{P\{B/D\}}{P\{B\}}$$

Equação 04

$$\log\{D/B\} = \log\{D\} + W^+$$

Onde  $O\{D\}$  e  $O\{D/B\}$  são as probabilidades, respectivamente, de ocorrer *a priori* o evento  $D$  e ocorrer  $D$  dado um padrão espacial  $B$ . E a

evidência de ocorrer o evento  $D$ , dado um padrão espacial  $B$  é dada por  $W^+$ .

A possibilidade de ocorrer *a posteriori* de uma transição  $i \Rightarrow j$ , dado um conjunto de dados espaciais se considerado  $O\{D\} = 1$ , uma vez que já esta inserida ao modelo via matriz de transição, é expressa pela equação 05 (SOARES-FILHO *et al.*, 2004).

Equação 05

$$P(i \Rightarrow j(x, y)/V) = \frac{e^{\sum_k Wkn_{i \Rightarrow j}(v)^{xy}}}{1 + \sum_{ij} e^{\sum_k Wkn_{i \Rightarrow j}(v)^{xy}}}$$

“onde  $V$  representa um vetor de  $k$  variáveis espaciais, medidas nas localidades  $x, y$  e representadas por seus pesos  $W^{+}_{k1xy}, W^{+}_{k2xy} \dots, W^{+}_{knxy}$ , sendo  $n$  o número de categorias de cada variável  $k$ ” (SOARES-FILHO *et al.*, 2004, 07 p.)

Dentre as vantagens deste método se destaca a possibilidade de combinar diferentes mapas de evidência em um modelo razoavelmente simples de ser utilizado, além de permitir o cálculo do efeito de dada variável de forma isolada de uma solução conjunta, necessitando que as variáveis de entrada sejam independentes (SOARES-FILHO *et al.*, 2004). Esta condição pode ser testada a partir de diferentes métodos, entre eles cita-se o Teste da Incerteza da Informação Conjunta.

#### • Teste da Incerteza da Informação Conjunta

A Incerteza de Informação Conjunta (U) concerne à classe das medidas de entropia. A entropia por sua vez é uma grandeza que tem por objetivo medir a desordem de um sistema e, desta forma, quanto maior a entropia maior a desordem, ou quanto menor a entropia possível mais perfeitamente ordenado estaria o sistema (ALMEIDA, MONTEIRO e CÂMARA, 2003). A variação de entropia, quando da mudança em um sistema, é obtida independentemente de como os elementos se transformam, ela é resultado dos Estados inicial e final do sistema. Esta grandeza é obtida a partir da matriz de tabulação cruzada, que pode ser utilizada para medir as associações.

Assim sendo, analisando a tabulação cruzada  $T$ , e considerando que os valores  $T_{ij}$  sejam transformados em proporções de área  $p$ , dividindo-se cada elemento de área pela soma total de  $T_{..}$  tem-se:  $p_{ij} = T_{ij} / T_{..}$ , e as proporções marginais são determinadas como  $p_{i.} = T_{i.} / T_{..}$  e como  $p_{.j} = T_{.j} / T_{..}$ . Conclui-se que as medidas de entropia são determinadas usando as proporções de área como estimativas de probabilidade (ALMEIDA, MONTEIRO e CÂMARA, 2003).

Ainda conforme Almeida, Monteiro e Câmara (2003), se  $T$  determinou a matriz de proporções de área para os mapas  $A$  e  $B$ , então a entropia de  $A$  e de  $B$  são definidas pelas equações 06 e 07:

Equação 06

$$H(A) = - \sum_{j=1}^m p_{.j} \ln p_{.j}$$

Equação 07

$$H(B) = - \sum_{i=1}^n p_{i.} \ln p_{i.} ,$$

Onde  $\ln$  é o logaritmo natural. Por sua vez a entropia conjunta da combinação  $H(A,B)$ , é dada pela equação 08 :

Equação 08

$$H(A, B) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

A Incerteza de Informação Conjunta de  $A$  e  $B$ ,  $U(A,B)$ , pode ser usada ainda como uma medida de associação e é determinada pela equação 09:

Equação 09

$$U(A, B) = 2 \left[ \frac{H(A) + H(B) - H(A, B)}{H(A) + H(B)} \right]$$

a qual varia entre 0 e 1. Quando os dois mapas são completamente independentes, então  $H(A,B) = H(A) + H(B)$  e  $U(A,B)$  é 0, e quando os dois mapas são completamente dependentes,  $H(A) = H(B) = H(A,B) = 1$ , e  $U(A,B)$  é 1.” (ALMEIDA, 2003, p. 11).

## 2.10. O SIMULADOR DINAMICA EGO

O software Dinamica EGO pode ser entendido como um SIG dinâmico que se utiliza de camadas de informação como mapas de infraestrutura, uso e cobertura do solo, unidades administrativas, áreas protegidas, aspectos físicos dentre outros, para reproduzir padrões de mudança de um determinado sistema (SOARES-FILHO *et al.*, 2005). Ou ainda, conforme definição de Almeida (2003), o Dinamica EGO “é um modelo de autômatos celulares, implementado através de algoritmos algébrica de alocação do uso do solo” (p.180).

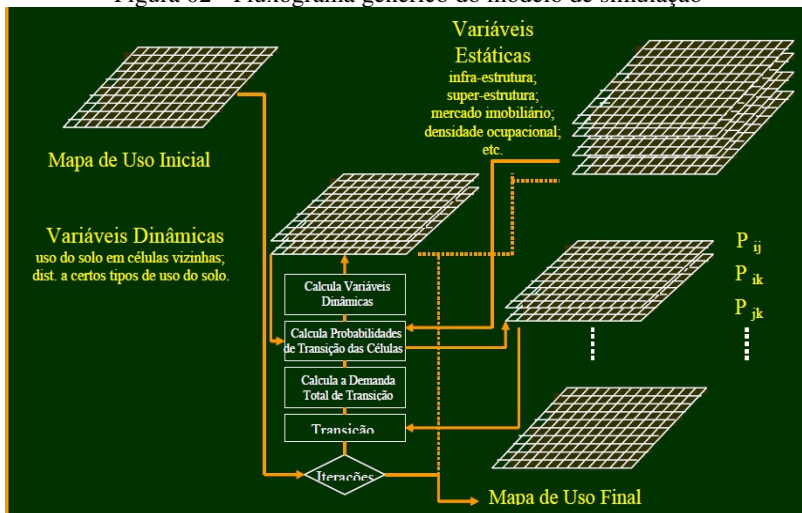
O software de simulação de dinâmicas do uso da terra em questão é resultado de projetos realizados no Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Seu ambiente de modelagem foi desenvolvido nas linguagens computacionais C++ e Java, permitindo a construção de modelos espaciais estáticos ou dinâmicos. Outra característica do Dinamica EGO é a possibilidade de considerar na simulação fatores como, por exemplo, retroalimentação dinâmica, abordagem multirregiões, manipulação e combinação algébrica de dados. (SOARES-FILHO, RODRIGUES e COSTA, 2009).

Segundo Almeida (2003) a utilização deste ambiente de modelagem requisita “um mapa inicial de uso do solo e dois conjuntos de dados correspondentes as variáveis estáticas ou dinâmicas” (p.180) (ver fluxograma genérico de um modelo de simulação apresentado na figura 02).

- Variáveis estáticas: são elementos que não se alteram com facilidade tais como: mapas geológicos, geomorfológicos, hidrografia, zoneamento urbano, infraestrutura dentre outros;
- Variáveis dinâmicas: referem-se a mapas de distância a certos tipos de uso do solo. São variáveis que sofrem alterações a cada função do programa e que são continuamente atualizadas de modo a influenciar o cálculo das probabilidades de transição na próxima iteração. Desta

forma a cada iteração rodada ocorrem mudanças no Estado nas células que representam o uso e cobertura do solo.

Figura 02 - Fluxograma genérico do modelo de simulação



Fonte: Almeida (2004, p. 181)

Os mapas de mudanças na cobertura e uso do solo são gerados a partir das possibilidades de transição para posteriormente serem usados na calibração do modelo. Definidas as probabilidades de transição e o número de mudanças das células, é gerado o mapa final do solo urbano que será resultado das iterações geradas para o sistema em estudo.

Segundo Almeida (2003), os parâmetros utilizados pelo Dinamica EGO são:

- Arquivo que contém os valores dos pesos positivos de evidência ( $W+$ ) ou os parâmetros ( $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ), dependendo do método de estimativa adotado, dos modelos de regressão logística;
- As probabilidades globais de transição, no período de simulação considerado, para cada mudança de uso do solo identificada;
- A variância e o tamanho de manchas para cada transição;
- A proporção dos algoritmos de transição ou alocação (função *expander* e função *patcher*) considerando-se cada transição; e,
- O número total de iterações.

O *Expander* e *Patcher* são dois algoritmos utilizados pelo Dinamica EGO para transição do uso do solo e ajuste dos parâmetros de média e variância das manchas. Tais algoritmos adotam um processo estocástico de simulação e alcançam boa precisão uma vez que o ambiente de modelagem utiliza como base as regras dos autômatos celulares (DELANEZE *et al.*, 2011).

Segundo Almeida 2003 a modelagem no ambiente Dinamica EGO deve seguir a seguinte ordem:

- Geração, coleta e processamento de dados de entrada, tais como dados cartográficos e censitários que devem ser inseridos em um banco de dados geográfico;
- Seleção de variáveis a partir de uma análise exploratória dos dados de entrada;
- Modelagem gerada a partir dos cálculos de taxas de transição que podem ser obtidos através de diferentes métodos, dentre eles cita-se o método de pesos e evidências;
- Execução das simulações, calibração e validação do modelo; e
- Simulação de cenários futuros.



## CAPÍTULO III

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Situada entre os paralelos 13°22' S e 13°52' S e meridianos 47°59' W e 48°18' W, a Usina Hidroelétrica (UHE) Cana Brava foi construída no Estado de Goiás entre os municípios de Cavalcante, Minaçu e Colinas do Sul (ver mapa de localização - figura 03). O reservatório deste empreendimento hidroelétrico abrange 92 km do Rio Tocantins limitando-se a montante pelo empreendimento de Serra da Mesa e a jusante pelo Reservatório do Peixe.

Os primeiros estudos para a construção deste reservatório hidroelétrico datam 1979 quando, por iniciativa do governo federal, iniciaram-se as pesquisas para elaboração do projeto de aproveitamento energético do rio Tocantins e de seus afluentes. O projeto de construção da UHE Cana Brava, em específico, fazia parte do Programa Decenal de Expansão da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) de 1998-2007 que, com o objetivo de atender a demanda por energia elétrica, projetava um aumento da capacidade instalada de 59.300 MW para 95.700 MW (FARIA, 2003).

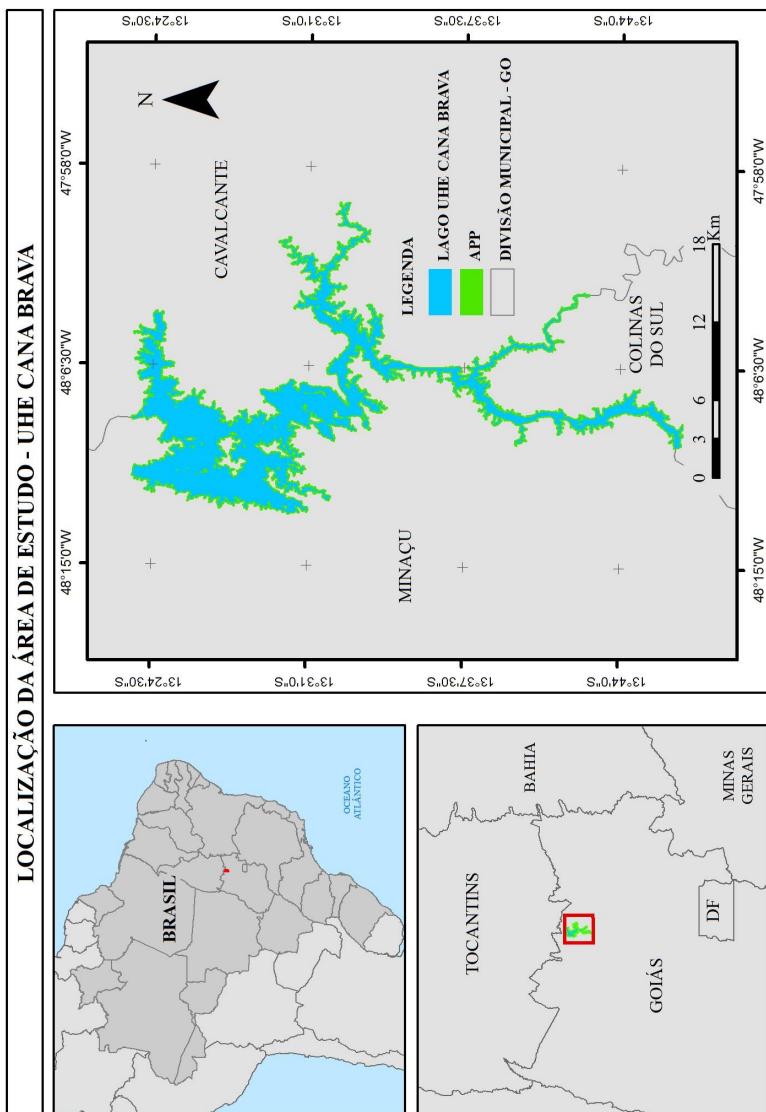
A empresa estatal Furnas, que detinha a responsabilidade sobre o projeto, desenvolveu o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Em 1987 estes estudos foram submetidos à avaliação da Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Goiás (FEMAGO), que os aprovou e emitiu a Licença ambiental Prévia (LAP) em 1990. Esta licença foi renovada em 1995.

Com a premissa de atrair investimentos do setor privado, a concessão da UHE Cana Brava foi licitada pela ANEEL em março de 1998. Desta concorrência internacional saiu vencedora a empresa Tractebel Brasil Ltda., que através da sua subsidiária Tractebel Energia S.A., criou a Companhia Energética Meridional (CEM) que ficou encarregada de executar o projeto (FARIA, 2003).

O Contrato nº. 185/1998 que trata desta Concessão foi firmado em 7 de agosto de 1998, entre a ANEEL, que representa o governo brasileiro, e a CEM. Após a sua assinatura os trabalhos para a implantação da usina foram dinamizados, de forma que em maio de 1999 o canteiro de obras já havia sido instalado. O empreendimento foi construído em 36 meses, o que permitiu a inauguração da primeira unidade de geração em 24 de maio de 2002.

A partir da assinatura deste contrato de concessão, a Tractebel obtém os direitos de uso do potencial hidráulico da UHE Cana Brava por um período de 35 anos e assume a responsabilidade de manter a qualidade ambiental da área, fazer cumprir a legislação ambiental brasileira, desapropriar e reassentar as famílias afetadas, construir a usina e manter sua operação. Segundo FARIA (2003, p. 86) a “(...) titularidade, desenvolvimento, projeto, financiamento, seguro, construção, operação e manutenção da usina hidroelétrica pela CEM está sujeita, *inter alia*, aos termos e condições deste contrato”.

Figura 03 - Localização da área de estudo



### 3.1. O POVOAMENTO DO EXTREMO NORTE DE GOIÁS

Os primeiros povoadamentos que ocorreram em Goiás são resultado direto das expedições bandeirantes que percorriam o território brasileiro a procura de ouro. Após a exploração das jazidas em Minas Gerais houve o interesse de explorar ouro nos Estados de Goiás e Mato Grosso.

Neste mesmo período verifica-se a presença dos jesuítas que vinham do Pará para Goiás a procura de índios para acultramento em aldeias existentes na Amazônia. Porém nem os bandeirantes, nem os jesuítas tinham como objetivo fixar-se em Goiás e, tampouco, criar povoações (PALACÍN, 1989).

Foi devido ao interesse do Sr. Bartolomeu Bueno da Silva, mais conhecido como Anhanguera, que se iniciou o povoamento do Estado. Anhanguera, que já havia trabalhado na busca do ouro em Minas Gerais, solicitou ao rei permissão para organizar uma bandeira que partisse para Goiás em busca do metal precioso. A empreitada pelo ouro durou três anos, tendo muitos integrantes da Bandeira desistido antes desta chegar ao seu final. No entanto, devido a persistência de Anhanguera, após três anos da Bandeira ter partido para Goiás, esta voltou a São Paulo em 21 de outubro de 1725 com pouco ouro, mas o suficiente para viabilizar a organização de novas expedições (PALACÍN, 1989).

Destaca-se, no entanto, que o povoamento proveniente da mineração é instável visto que, após o ouro se esgotar, os mineiros se mudam para outro lugar. Segundo Palacín (1989), nos primeiros 20 anos da mineração quase todo o território goiano foi percorrido, restando por fim somente três zonas povoadas com relativa densidade. A primeira zona estava localizada no centro do Estado, e era resultado de uma rede desconexa que fazia o caminho a São Paulo. A segunda zona localizava-se na região do Tocantins, onde se encontrava as mais densas povoações, e por último a povoação do norte da capitania que abrangia uma grande área entre o Tocantins e os Chapadões dos limites com a Bahia. Dentre as cidades fundadas nesta última zona cita-se: Arraias, São Felix, Natividade, Porto Real e Cavalcante. As demais áreas, do Estado como, por exemplo, o sul e o sudeste goiano, só viriam presenciar a ocupação humana a partir da extensão da pecuária e da agricultura durante os séculos XIX e XX (PALACÍN, 1989).

Após a decadência das minas, o Estado começa a passar por grandes dificuldades econômicas, condição esta que começou a mudar a partir do incremento da pecuária. A pecuária por sua vez trouxe junto consigo o aumento da população devido às correntes migratórias que

eram provenientes principalmente do Pará, Maranhão, Bahia e de Minas Gerais (PALACÍN, 1989).

Segundo Palacín (1989) as condições de comunicação que detinha o Estado em 1900 eram irrisórias, mantendo grandes áreas do Estado quase incomunicáveis como, por exemplo, toda a parte norte onde destaca-se a região do Araguaia e os chapadões da divisa com a Bahia. Mesmo com a ineficiência dos meios de comunicação, a população de Goiás demonstra algum crescimento atingindo, em 1920, aproximadamente 500 mil habitantes. Em 1940, à construção de Goiânia e de Brasília e a campanha nacional da “Marcha para o Oeste”, fizeram com que Goiás alcançasse um ritmo acelerado de crescimento. Em 1960 população era de aproximadamente 1.954.860 habitantes alcançando quase três milhões em 1970. Este último acréscimo de população se deu devido à grande migração vinda dos Estados limítrofes: Maranhão, Bahia e Minas Gerais (FERREIRA e MENDES, 2009).

Segundo Almeida (2002) a mineração foi um dos fatores responsáveis pela grande diferença regional que ocorreu no povoamento e desenvolvimento do sul e do norte do Estado. Para o estudioso, foi a construção da BR 153 que permitiu uma melhor comunicação, auxiliando assim na reorganização das funções urbanas e na integração do Estado com o país.

Almeida (2002) destaca ainda a importância econômica dos municípios de Porangatu, Niquelânida, Uruaçu e Minaçu. Este grupo que forma o chamado “Quadrilátero do Norte”, e que em um primeiro momento, era uma das regiões com maior dificuldade de comunicação, hoje detém grande importância na produção pecuária e mineral da região.

### **3.1.1 Município de Minaçu - GO**

A ocupação do território que se configura hoje o município de Minaçu – GO, ocorreu no final da década de 50 em função da formação de fazendas para criação de gado. Em 1962 descobriu-se próximo a região conhecida como Cana Brava uma grande mina de amianto crisólita, abrangendo cerca de 45 km<sup>2</sup>, que pouco depois foi vendida para a empresa franco brasileira Sama Mineração de Amianto Ltda. Com o estabelecimento da Sama, criou-se o povoado que mais tarde foi chamado de Minaçu.

Minaçu que em Tupi-Guarani significa Mina Grande obteve sua emancipação em 14 de maio de 1976, a partir da Lei Estadual nº. 8.085. Com uma área de 2.860,73 km<sup>2</sup>, e uma população de 31.154 habitantes,

que representa uma densidade demográfica de 10,89 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), a cidade de Minaçu tem sua economia baseada na indústria, com destaque para a geração de energia devido à presença em seu território das usinas hidroelétricas de Serra da Mesa e Cana Brava. Outra grande fonte de renda local é a empresa de mineração Sama Mineração de Amianto Ltda. Esta última contribui com grande parte da arrecadação do ICMS do município.

No entanto, são as usinas hidroelétricas que tem movimentado o setor de serviços voltados ao turismo e entretenimento. O turismo e o lazer, criado em função dos lagos de Serra da Mesa e Cana Brava tem atraído a atenção de empresários do segmento de hospedagem e alimentação.

Além da indústria e do turismo o município possui uma produção agrícola expressiva. Conforme censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2006 o município produz carvão vegetal, madeiras de lenha, arroz, milho, abacaxi, cana de açúcar, mandioca, melancia e banana. Contando ainda com um rebanho de aproximadamente 102 mil cabeças de gado, que engloba a produção de bovinos, equinos, bubalinos, asininos, muares, caprinos e ovinos. Destaca-se ainda a produção de suínos que chega a 7.400 cabeças e a produção avícola com 20.000 cabeças (IBGE, 2006). O PIB per capita do município, conforme dados do IBGE de 2009, é de aproximadamente R\$ 19.398,21 (dezenove mil trezentos e noventa e oito reais e vinte um centavos).

### **3.1.2 Município de Cavalcante - GO**

Com uma unidade territorial de 6.953,65 km<sup>2</sup>, a cidade de Cavalcante conta com uma população de aproximadamente 9.392 habitantes, número que corresponde a uma densidade populacional de 1,35 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), deve seu povoamento a mineração. Existem relatos que o primeiro garimpeiro, que descobriu uma mina de ouro em grande profundidade na área (IBGE, s.d.), foi Julião Cavalcante em 1736. A partir desta data, a notícia da presença de ouro trouxe, a estas terras, aventureiros das mais diversas cidades iniciando-se assim o povoado.

Segundo dados históricos apresentados pelo IBGE (s.d.), a partir de um Decreto, em 1831, Cavalcante é elevada a categoria de vila e, em 3 de julho de 1835, a partir da Lei Provincial n° 14, a vila passa para a condição de freguesia.

Com um PIB per capita de aproximadamente R\$ 17.891,77 (dezesete mil oitocentos e noventa e um reais e setenta e sete centavos),

conforme dados do IBGE de 2009, a economia do município de Cavalcante é marcada pela produção rural. Segundo o censo agropecuário, a produção pecuária do município é composta por bovinos, bubalinos, equinos, asininos, muares, caprinos e ovinos que juntos somam aproximadamente 65 mil cabeças de gado, deste número 60.162 correspondem a bovinos (IBGE, 2006). O município ainda produz cerca de 3.670 cabeças de suínos e 32.125 cabeças de aves.

A produção agrícola também é diversificada, nas terras desta porção do Cerrado, o município ainda produz banana, café, laranja, cana de açúcar, feijão, mandioca, milho e soja.

### **3.1.3 Município de Colinas do Sul - GO**

O relevo acidentado da região, que apresenta colinas e abismos, deu origem ao nome deste município que se localiza entre a Chapada dos Veadeiros e os Lagos das Usinas de Serra da Mesa e Cana Brava.

O povoado que deu origem a Colinas do Sul começou a se formar na década de 50 com a ocupação das margens do córrego Almécegas.

Desmembrado de Cavalcante, o distrito de Colinas foi elevado à categoria de município pela Lei Estadual nº. 10.403, de 30 de dezembro de 1987, com a denominação de Colinas do Sul, em função de já existir uma cidade batizada com o nome de Colinas no Estado do Maranhão.

Com uma área territorial de 1.708,18 km<sup>2</sup>, a economia da cidade se concentra no turismo e na criação de gado de corte. Conforme dados do censo agropecuário do IBGE, realizado em 2006, o município tem um rebanho bovino de aproximadamente 26.000 cabeças e um rebanho equino de 1.050 cabeças. Rios, cachoeiras, serras e cavernas constituem os belos cenários naturais onde os visitantes podem praticar pesca esportiva e participar de trilhas. O turismo, pouco explorado, mantém a estrutura de termas, hotéis e pousadas instaladas no município. A economia incipiente confere a Colinas do Sul o menor PIB per capita dos três municípios atingidos pelo lago da UHE Cana Brava, R\$ 5.360,35 (cinco mil trezentos e sessenta reais e trinta e cinco centavos).

Conforme censo realizado pelo IBGE em 2010 atualmente o município conta com uma população aproximada de 3.523 habitantes, o que corresponde a uma densidade demográfica de 2,06 hab/km<sup>2</sup>.

## 3.2. CLIMA

Segundo Silva, Santana e Pelegrini (2006) o Estado de Goiás apresenta um clima tropical, com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca.

### 3.2.1 Pluviosidade

O Estado de Goiás apresenta um período chuvoso que ocorre de outubro a abril e outro seco entre maio e setembro, tendo dezembro e janeiro como a época mais chuvosa abarcando próximo de 95% de toda a precipitação anual (SILVA, SANTANA e PELEGRINI, 2006).

A média anual do índice pluviométrico no Estado de Goiás é de aproximadamente 1.532 mm. Sendo julho, de modo geral, o mês que apresenta o menor índice de precipitação (5,8 mm). As precipitações no período chuvoso apresentam valores médios entre 1.300 e 1.500 mm e no período seco os índices pluviométricos, para a maior parte do Estado, não ultrapassam 100 mm (ALMEIDA *et al.*, 2006).

### 3.2.2 Temperatura Máxima e Mínima

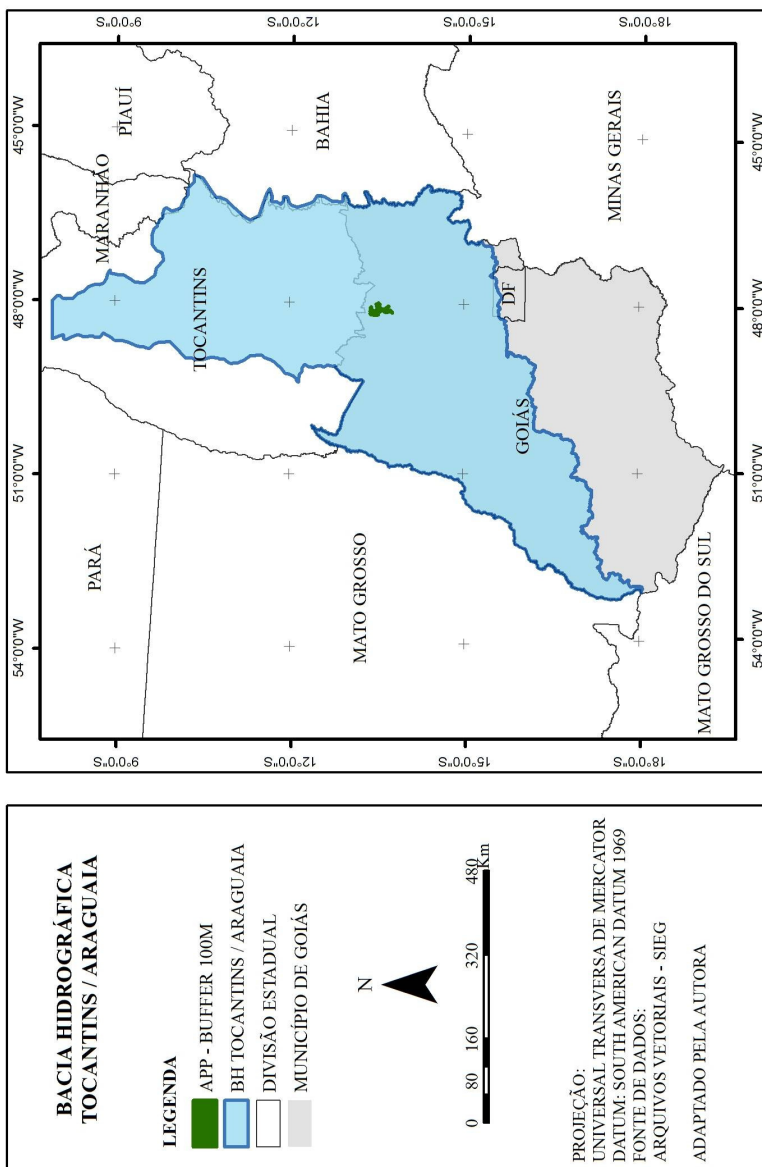
Agosto e setembro são os meses em que se verificam os maiores índices térmicos no Estado de GO, com valores médios que ficam em torno de 34° C. As temperaturas mínimas do ar que se apresentam próximo aos 12° C, ocorrem nos meses de junho e julho (SILVA, SANTANA e PELEGRINI, 2006).

## 3.3. HIDROGRAFIA

O Estado de Goiás abrange três importantes bacias hidrográficas: Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná. A UHE Cana Brava, área de estudo desta pesquisa, esta localizada na bacia hidrográfica Tocantins/Araguaia, conforme pode ser visualizado na figura 04.



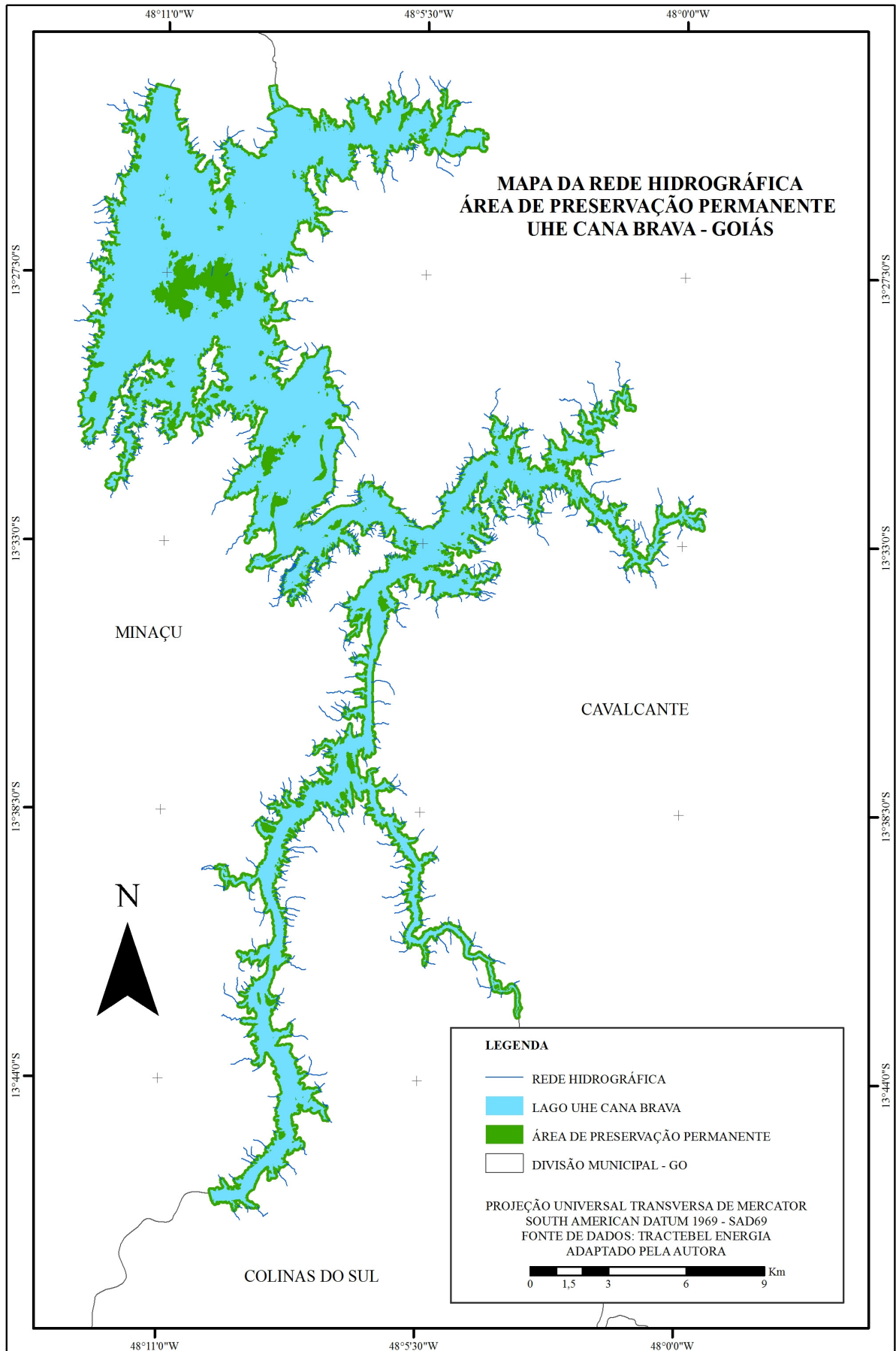
Figura 04 - Bacia hidrográfica Tocantins / Araguaia



Os rios que tem maior representatividade são os que dão o nome a bacia, rios Araguaia e Tocantins. O rio Tocantins, onde foi construído o empreendimento hidroelétrico Cana Brava, é formado a partir da junção dos rios Maranhão e Tocantinzinho. Seus afluentes têm cursos que drenam preferencialmente nos sentidos nordeste e noroeste. Em áreas de serras suas nascentes se localizam em altitudes que variam de 900 a 1600 metros, enquanto que na parte norte do Estado as altitudes médias estão entre 200 e 500 metros (ALMEIDA *et al.*, 2006). Sua rede de drenagem pode ser considerada densa e os tributários que fazem parte desta rede em geral apresentam porte considerável.

Na área em estudo a rede de drenagem também é bastante densa. Foram mapeados aproximadamente 900 afluentes que correm direto para o lago da UHE Cana Brava (ver figura 05). Seus portes variam, mas no geral são cursos d'água de pequeno e médio porte.

Figura 05 - Mapa da rede hidrográfica



### 3.4. COBERTURA VEGETAL - SAVANA (CERRADO)

Considerado um dos principais biomas do país, o cerrado ou savana brasileira ocupa cerca de 22% de todo o território nacional.

Este bioma tem como característica principal a presença de vegetação xeromorfa, que são plantas adaptadas a climas semiáridos. No Brasil sua presença é mais frequente na região central, sendo Goiás o Estado da federação que apresenta maior representatividade. Neste Estado é possível encontrar diferentes tipos de savana tais quais: savana florestada, savana arborizada, savana parque e a savana gramíneo-lenhosa (SANO *et al.* 2008).

Conforme o IBGE (1992) as savanas são subdivididas em quatro subgrupos de formação: Savana Floresta ou Cerradão, Campo Cerrado ou Savana Arborizada, Savana Parque e a Savana Gramíneo-Lenhosa. As principais características destes subgrupos são:

- Savana Floresta ou Cerradão: São encontradas em áreas cujos solos são areníticos, lixiviados, profundos e bem drenados. A fisionomia desta vegetação é caracterizada por fanerófitos típicos. Pode se citar como representantes o Angico Preto (*Anadenanthera peregrina*) e o Pau Santo (*Kielmeyera coriácea*).

- Savana Arborizada ou Campo Cerrado: Desenvolvendo-se em terrenos degradados, este subgrupo tem formação natural ou antrópica. Sua “fisionomia é nanofanerofítica rala ou hemicriptofítica graminóide, contínua, sujeita a fogo anual” (IBGE, p. 27). A composição florística da savana arborizada é semelhante à savana floresta, porém possui ecótipos dominantes que caracterizam as áreas ocupadas.

- Savana Parque: Desenvolvendo-se em solos bem drenados, a savana parque se constitui de um estrato gramitóide de florística natural ou antrópica entremeado por nanofanerófitos, “com conotação típica de um parque inglês” (IBGE, p. 27).

- Savana Gramíneo-Lenhosa: Presentes em solos com diferentes graus de fertilidade (solos litólicos, cambissolos e/ou solos hidromórficos), esta savana pode ser encontrada em diferentes topografias (SANO *et al.*, 2008). É nesta formação que encontramos os chamados campos limpos, que segundo Sano *et al.* (2008) podem ser classificados em função da proximidade do lençol freático com a superfície. Quando o lençol freático está próximo a superfície tem-se o campo limpo úmido, quando longe ou profundo se sobressai o campo limpo seco e quando ocorre em áreas adjacentes à cursos d’água, e

portanto periodicamente inundadas, denominam-se campo de várzea. Esta fisionomia é marcada por gramados que se intercalam com um número pequeno de arbustos e subarbustos. A ausência completa de árvores, também é uma característica deste subtipo de savana.

### 3.5. GEOLOGIA

Dentro do contexto geotectônico geral de cada conjunto litológico agrupado a área compreendida pelo reservatório da UHE Cana Brava apresenta as seguintes formações geológicas: Grupo Paranoá (de idade Meso/Neoproterozóica), e Complexo Máfico e ultramáfico Cana Brava, Complexo Rio Maranhão, Grupo Serra da Mesa e Grupo Arai (de idades Paleo/Mesoproterozóicas). Estas formações podem ser visualizadas na figura 06.

#### 3.5.1 Grupo Paranoá (MPpa3 / MPpa4 / MPpa4cc)

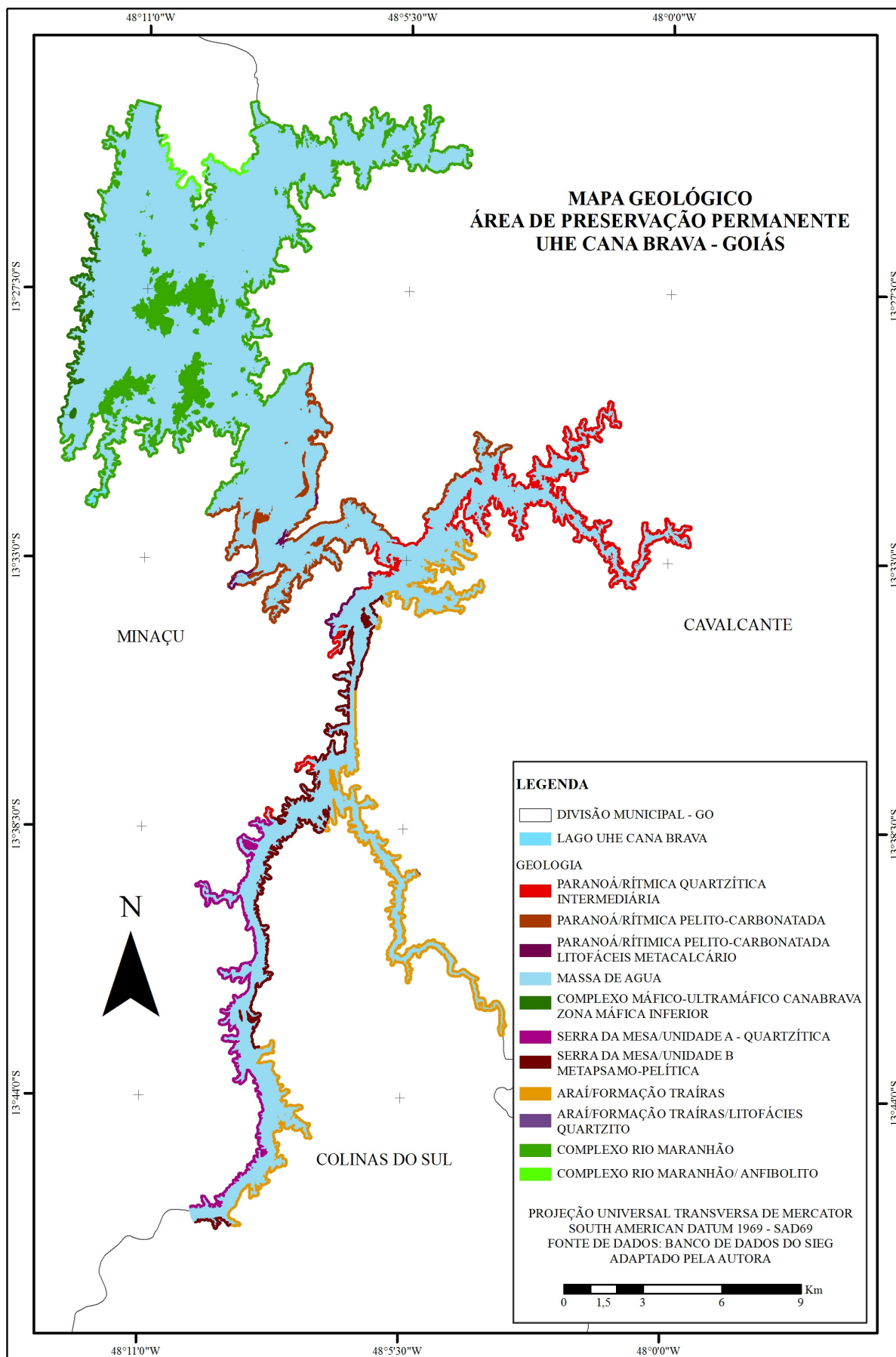
O Grupo Paranoá “apresenta idade meso-neoproterozóica, tem origem deposicional em ambiente marinho de plataforma epicontinental, sendo suas feições petrográficas controladas por ciclos transgressivos e regressivos” (ALMEIDA *et al.*, 2006, p. 33).

Este grupo foi subdividido em 11 unidades por Faria (1995, apud ALMEIDA *et al.*, 2006) as quais são: SM - conglomerado São Miguel, R1 - metarritmito inferior, Q1 - quartzito fino, R2 - metarritmito, Q2 - quartzito conglomerático, S - metassiltito, A - ardósia, R3 - metarritmito arenoso, Q3 - quartzito médio, R4 - metarritmito argiloso e PPC - psamo-pelito-carbonatada.

#### 3.5.2 Complexo Rio Maranhão (PP gamma rm / PP gamma rma)

O Complexo Rio Maranhão é uma depressão que interpenetra no Planalto do Alto Tocantins-Paraíba, assumindo um caráter de intermontana (NASCIMENTO, 1991). Este complexo é constituído por rochas pré-cambrianas do Complexo Basal Goiano, que compreendem granitos e gnaisses e rochas do Grupo Araxá onde de forma predominante se encontra micaxistos e quartzitos.

Figura 06 - Mapa geológico



### **3.5.3 Complexo Máfico e Ultramáfico Cana Brava**

Inserido na porção interna da unidade geotectônica Faixa Brasília, entre os crátons Amazônico e do São Francisco, o Complexo Máfico-Ultramáfico de Cana Brava apresenta cerca de 22 km<sup>2</sup> de área, condição esta que o coloca como o terceiro maior conjunto em extensão dentre os exemplos mundiais deste tipo de complexo (CERQUEIRA, 2009). Este Complexo faz parte de um conjunto magmático formado pelos Complexos de Niquelândia e Barro Alto (CERQUEIRA, 2009).

Segundo Cerqueira (2009) o Complexo Máfico e Ultramáfico Cana Brava apresenta rochas da Sequência Metavulcanossedimentar de Palmeirópolis a oeste, e as rochas do Complexo Granito-Gnáissico a leste, apresentando associações gabronoríticas, piroxenitos e serpentinitos.

### **3.5.4 Grupo Serra da Mesa / Serra Dourada (PP4sma / PP4smb)**

No grupo Serra da Mesa / Serra Dourada encontra-se uma sucessão “caracterizada por quartzitos, quartzitos micáceos, lentes de mármore e xistos representados pela muscovita-biotita com clorita, granada e plagioclásio” (ALMEIDA *et al.*, 2006, p. 31). Encontra-se próximo aos corpos graníticos a estaurolita, cianita, anfibólio e outros minerais de maior grau metamórfico (ALMEIDA *et al.*, 2006).

### **3.5.5 Grupo Araí (PP4t / PP4tqt)**

Este grupo é formado por rochas definidas por metassedimentos depositados em ambientes continentais e plataformais. Segundo Almeida *et al.* (2006) o Grupo Araí ocorre

(...) sobre o embasamento granito-gnáissico e a Formação Ticunzal, sendo recoberto por metassedimentos dos grupos Paranoá e Bambuí. A presença de filossilicatos nas paragêneses minerais define o grau de metamorfismo destas rochas variando de anquimetamórfico a xisto-verde baixo (p. 32).

Dentre os grupos que compreendem a área de entorno da usina, o complexo máfico-ultramáfico Canabrava – zona inferior e complexo rio

Maranhão – anfibolito constituem-se de rochas que dão origem a solos com maior fertilidade, pois se alteram facilmente e contêm muitos minerais máficos, como cálcio, magnésio e fósforo.

Por sua vez os grupos Paranoá ritimítica pelito - carbonatada - litofácies metacalcário e Paranoá ritimítica pelito - carbonatada também contam com a presença de carbonatos que conferem certo grau de fertilidade ao solo. Da mesma forma, o grupo Araí Traíras pode apresentar rochas com minerais, que quando livres por causa do intemperismo, também geram solos férteis.

O Complexo Rio Maranhão (granitos, gnaisses e quartzitos) e o grupo Serra da Mesa (metapsamito pelítica) não têm só quartzo, mas também tem materiais finos (filitos e ardósias) que são elementos conhecidos por não conferirem fertilidade aos solos.

Os grupos Serra da Mesa, Araí Traíras (litofácies e quartzito) e Paranoá ritimítica quartzítica intermediária são, dentre todas as rochas presentes na área de estudo, as que proveêm menos fertilidade ao solo, pois tem sua composição, como mineral principal, o quartzo. Outra característica destas rochas é a formação de solos muito arenosos e suscetíveis à erosão por escoamento superficial.

### 3.6. GEOMORFOLOGIA

O Estado de Goiás e Distrito Federal apresentam formas de relevo onde prevalecem os processos erosivos ou denudacionais. Segundo Almeida *et al.* (2006, p.47), “97% da superfície deste Estado insere-se em sistemas denudacionais, enquanto uma pequena parte em sistemas agradacionais (2%) ou são recobertos por massas d’água (1%)”.

O estudo desenvolvido por Latrubesse e Carvalho (2006) indica que na área de influência direta da UHE Cana Brava (figura 07) encontram-se as seguintes categorias de sistemas de relevo denudacionais:

- BQA-ED-IP (mfo): Estrutura Braquianticlinal (Estrutura Dobrada) com dissecação muito forte, associada a corpo Intrusivo Plutônico;
- MC: Relevo de Morros e Colinas;
- MC-FCE (fo): Relevo de Morros e Colinas com dissecação forte e forte controle estrutural;



- SRAIVA (fr): Superfície Regional de Aplainamento IVA com cotas entre 400 e 550m, com dissecação fraca, desenvolvida principalmente sobre rochas pré-cambrianas;
- ZER-SRAIVA-HB-ED-MC/I (fo): Zona de Erosão Recuante com dissecação forte, relacionada a geração da SRAIVA a partir da erosão da SRAI; associada a Hogback e Morros e Colinas;
- BQA-ED-IP (mfo): Estrutura Braquianticlinal (Estrutura Dobrada) com dissecação muito forte, associada a corpo Intrusivo Plutônico;

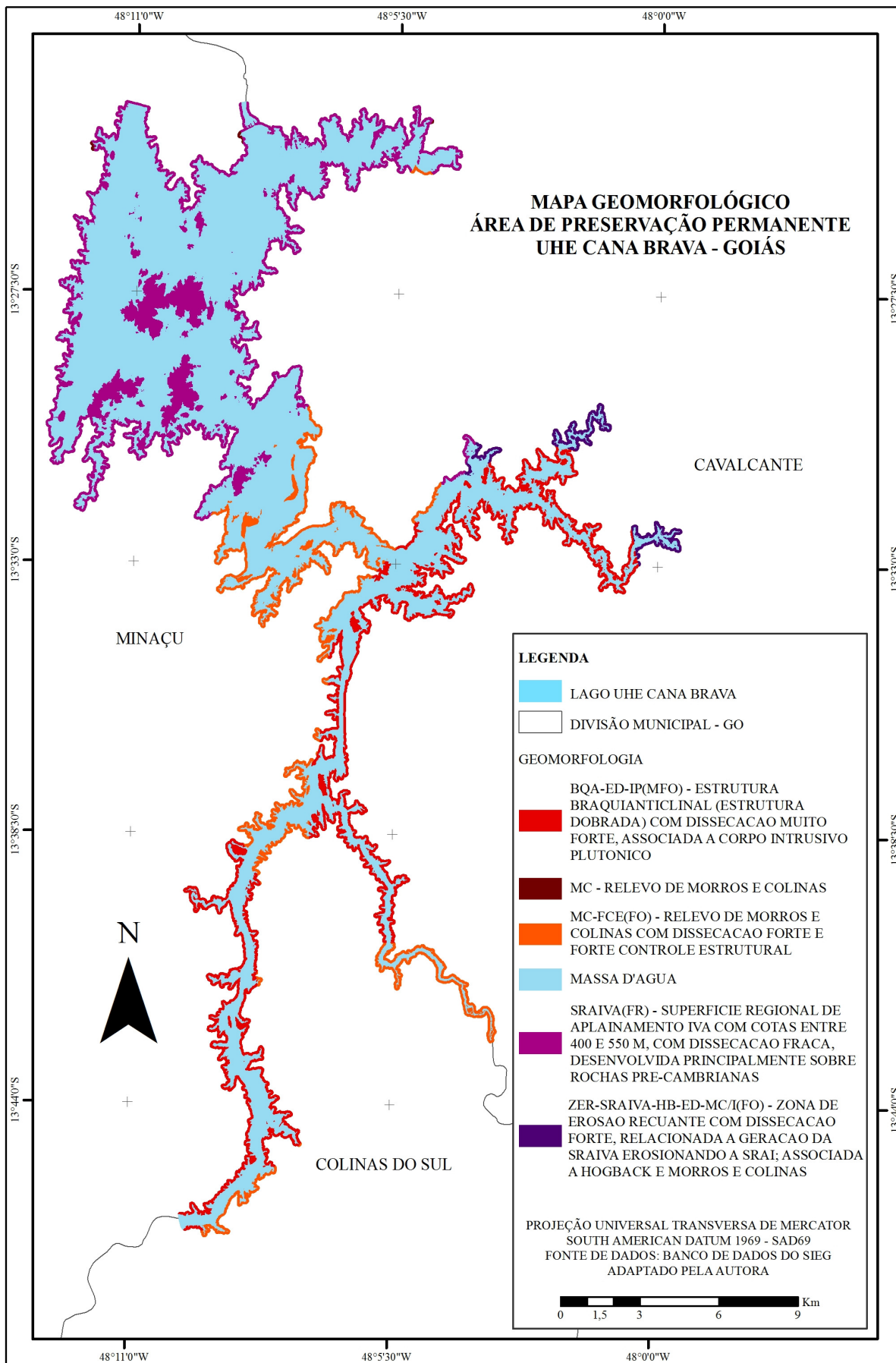
### **3.6.1 Estrutura Dobrada – ED / Estrutura Braquianticlinal (QBA ED IP)**

As estruturas dobradas (ED) apresentam uma série de morros, colinas e estruturas dômicas relacionadas à tectônica de dobramento em rochas pré-cambrianas, tendo como formas características os *hogbacks* e domos (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006).

As braquianticlinais (BQ) são estruturas de destaque que formam entre outras, a Serra da Mesa e a Serra Dourada. Apesar desta feição apresentar rochas dobradas, os domos foram criados pela ação de rochas intrusivas plutônicas que formam o núcleo destas estruturas (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006).

A estrutura Braquianticlinal (Estrutura Dobrada) com dissecação muito forte, associada a corpo Intrusivo Plutônico é o relevo que dentre todos os encontrados na área de estudo constitui-se como o menos favorável a utilização, pois além das declividades serem acentuadas, há afloramentos rochosos. Contudo, do ponto de vista de belas paisagens, como atrativo ao turismo essa unidade de relevo seria valorizada.

Figura 07 - Mapa geomorfológico



### **3.6.2 Superfície Regional de Aplainamento IV A (SRAIVA)**

A SRAIVA está associada a morros e colinas com Braquianticlinais com forte controle estrutural.

Seu relevo é normalmente pouco resistente a erosão apresentando sistitos, argilitos e calcários com fraco padrão de dissecação. Esta categoria de relevo exibe ainda:

uma extensa cobertura detrito-laterítica, com presença de crostas ferruginosas e sedimentos friáveis na forma de manto de lavagem da superfície de etchplanação formado por silte-argilas e silte-argila-areia, frequentemente incluindo pequenos fragmentos de lateritas desmanteladas (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006, p. 37).

Com cotas que variam entre 400 e 550 m, com dissecação fraca, desenvolvida principalmente sobre rochas pré-cambrianas, a SRAIVA normalmente apresenta pouca declividade e rochas que podem dar origem a bons solos para uso agrícola.

### **3.6.3 Zonas de Erosão Recuante (ZER SRAIVA)**

Zonas de erosão recuante são a evolução da erosão de antigas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA) associadas a redes de drenagem, que resultam em novas SRA (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006). Assim as ZER podem ser consideradas uma transição para as SRA.

As características da superfície é que determinam o grau de evolução das ZER, e o tamanho das bacias hidrográficas onde estas desenvolvem é que determinam as áreas por elas atingidas. Em grandes bacias de drenagem podem ser encontrados recuos expressivos e vales com vertentes que apresentam depósitos coluviais. Em outras condições podem ser limitadas a escarpamentos de chapadões podendo apresentar inclusive taludes formados por quedas de bloco.

### **3.6.4 Morros e colinas / Morros e colinas com dissecação forte (MC / MC-FCE)**

Devido ao aumento das ZER o recuo das vertentes também ocorre um aumento de morros e colinas que podem ser vistos a frente

das escarpas. Existe na região morros e colinas que são testemunhos de litologias mais resistentes a erosão e que foram preservados à medida que uma SRA evolui com tendência recuante (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006).

Latrubesse e Carvalho (2006) argumentam que apesar desta geoforma estar distribuída por toda a região, estas unidades ocorrem de forma mais preponderante no eixo Minaçu – Goiás. Segundo os estudiosos destacam-se ainda, sobre as superfícies aplainadas circundantes, morros e colinas menores que formam os chamados *inselbergs*.

Desta forma os morros e colinas, devido as suas características e a ocorrência em menores declividades, podem ser considerados bons relevos para atividade agrícola, enquanto que morros e colinas com dissecação forte não o são devido às declividades acentuadas que apresentam em alguns pontos.

### 3.7. PEDOLOGIA

Encontra-se na região compreendida pela UHE Cana Brava, segundo o mapeamento realizado por Almeida *et al.* (2006), os seguintes tipos de solo: Associação de Argissolo / Nitossolo, Neossolo Litólico e Cambissolo, conforme pode ser observado no mapa pedológico (ver figura 08).

#### **3.7.1 Associação de Argissolo / Nitossolo – Textura média arenosa cascalhenta**

Considerando que, do ponto de vista hidrogeológico, Argissolos e Nitossolos possuem características semelhantes, no trabalho elaborado por Almeida *et al.* (2006) eles foram agrupados e são apresentados como uma associação.

- Argissolo: Abrangendo aproximadamente 15% da área do Cerrado, os Argissolos conhecidos também como Solos Podzólicos, apresentam como principal característica o horizonte B textural resultante da movimentação da argila dos horizontes superiores. São solos razoavelmente férteis, eutróficos e pouco profundos. Segundo Santos *et al.* (2006) estes solos são muito suscetíveis a erosão quando localizados em fortes declives, condição esta que também os tornam impróprios para a agricultura sendo assim utilizados para pastagem ou reflorestamento. No entanto, quando ocorrem em terrenos planos ou

pouco ondulados, estes mesmos solos, desde que sejam feitas as correções da acidez e adubação, podem ser empregados para a produção de diversas culturas.

- Nitossolo: solos férteis derivados de rochas máficas, anteriormente conhecidos como Terra Roxa Estruturada. Os Nitossolos são normalmente bem drenados e com estrutura bem desenvolvida o que permite armazenar e disponibilizar uma grande quantidade de água. Apresentam de média a alta profundidade com textura argilosa ou muito argilosa ao longo do perfil e quando localizados em relevo ondulado podem ser pedregosos ou rochosos e suscetíveis a erosão (SANTOS *et al.*, 2006).

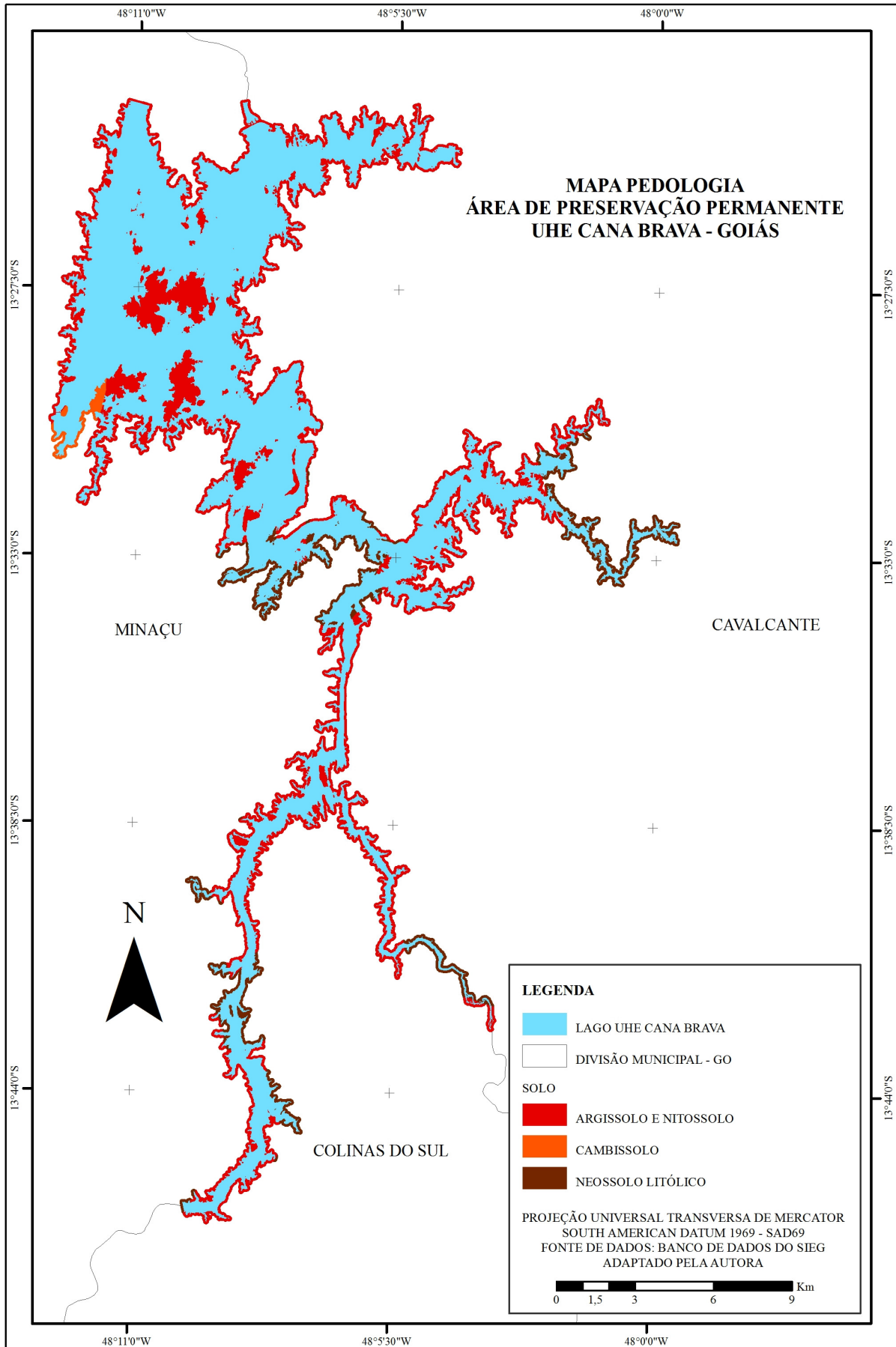
### **3.7.2 Neossolo Litólico**

Anteriormente chamados de Solos Litólicos os Neossolos, ocupam cerca de 10% da área do Cerrado brasileiro. Estes solos são normalmente encontrados em morros, serras e sopés de chapadas, onde as declividades são muito acentuadas e por isso não consegue desenvolver o manto de alteração. Dentre outras características são pouco profundos e na grande maioria das vezes cascalhentos e com pouca permeabilidade, sendo esta última característica responsável pela sua suscetibilidade à erosão. No Cerrado estes solos são considerados distróficos e ácidos, desta forma, recomenda-se o uso destes solos somente para pastagem visto que apresentam limitação para crescimento radicular em profundidade.

### **3.7.3 Cambissolo**

São solos medianamente desenvolvidos, onde o horizonte B ainda é pouco expressivo. Os cambissolos apresentam horizonte A ou hístico com espessura menor que 40 cm e horizonte B incipiente. Como solos pouco evoluídos, comumente são pedregosos, o que faz com que sejam pouco utilizados na agricultura mecanizada. São solos que apresentam características bastante variáveis que são resultantes da origem do material que os constituem, da geomorfologia e do clima. Porém de modo geral são considerados “bem drenados, pouco profundos ou rasos, com teores de silte elevados, e constituídos por mais de 4% de minerais primários e mais de 5% de fragmentos de rocha semi-intemperizada” (ALMEIDA *et al.*, 2006, 92 p.)

Figura 08 - Mapa pedológico



## CAPÍTULO IV

### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à solicitação da ANEEL, que ocorreu em maio de 2001, a empresa Tractebel Energia implantou um Plano de Gestão Ambiental e Sócio Patrimonial (PGASP). Com este fim a mesma contratou a empresa Mirllan Vigilância Ambiental e Patrimonial – GO, para realizar mensalmente um relatório que tem como objetivo identificar alterações na qualidade ambiental do lago e da área de entorno da UHE Cana Brava, considerando para tanto as ocorrências de invasões em APP.

Estes relatórios apresentam informações relativas: ao n°. parcela que abrange a APP que sofreu a incursão, a identificação do ex-proprietário, o nome do ator que cometeu a infração e o endereço onde ocorreu o registro, um par de coordenadas, a natureza da irregularidade e suas dimensões, a distância da infração até o lago e um croqui com a localização e registro fotográfico da situação encontrada. Um exemplo destes relatórios pode ser visualizado nas figuras 09 e 10.

Apesar da dificuldade encontrada, num primeiro momento, de se ter um panorama geral das invasões, uma vez que os dados são apresentados em documentos de texto, a utilização do código identificador da parcela, junto com o par de coordenadas facilitou o processo de organização, tabulação e posterior espacialização dos dados.

A adoção da parcela como unidade de análise, identificada com um código único, permitiu a associação de cada ocorrência registrada a parcela correspondente. Este registro garantiu o resgate do histórico de cada parcela, tornando-se possível contabilizar o número de vezes que houve registro de infração em determinada parcela e os usos feitos da área invadida. A identificação do ex-proprietário da parcela permitiu verificar se os atores que cometeram a infração eram os mesmos proprietários indenizados ou se eram pessoas alheias ao processo de construção da usina.

Considerando a riqueza de informações, para a realização desta pesquisa, estes relatórios foram lidos e suas informações foram tabuladas de forma facilitar a localização e quantificação das invasões que foram registradas durante o período de 2003 a 2008 na APP da UHE Cana Brava.

Mosaicos de imagens de alta resolução espacial do satélite QuickBird coletadas em diferentes datas dos anos de 2004, 2005 e 2008,

também auxiliaram nesta tarefa. Porém faz-se necessário ressaltar que não foi possível fazer uma comparação do número de invasões dos dados coletados em campo com os dados extraídos das imagens, pois existe uma grande incompatibilidade dentre eles devido a diferentes fatores, tais quais:

- O tamanho da APP considerada nesta pesquisa que é de 100 m, não considerando os 30 m da área urbana;
- As classes de uso e cobertura do solo vetorizadas e a as invasões indicadas nos relatórios diferem-se pelo espaço temporal das imagens tornam difícil executar a identificação de determinadas invasões. Um exemplo que elucida esta condição são os acessos. Nos relatórios mensais novos acessos abertos são considerados invasões, enquanto que na vetorização do uso do solo eles foram considerados somente acessos, pela dificuldade em diferenciar um novo acesso aberto em APP de um acesso existente desde o enchimento do lago;
- As diferenças de data das cenas e da coleta dos dados em campo;
- A dificuldade de visualização das invasões que ocorrem sob a vegetação densa.

Desta forma optou-se por executar análises e gerar resultados sobre o número de ocorrências de invasões, considerando as duas fontes de informação de forma individualizada.

Para identificar os potenciais e características presentes na paisagem que inibem ou facilitam a intervenção em APP trabalhou-se com o método de tabulação cruzada. A tabulação cruzada foi executada a partir da ferramenta “*Tabulate Area*” disponibilizada pela extensão “*Spatial Analyst*” da ESRI.

Estas tabulações consideraram os vetores das parcelas invadidas, identificadas a partir dos dados contidos nos relatórios, a vetorização do uso e cobertura do solo e os dados de geologia, geomorfologia e solos disponibilizados pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG). A declividade da área foi gerada a partir do vetor das curvas de nível cedido pela Tractebel Energia.

Para a execução deste trabalho as parcelas invadidas foram organizadas em intervalos de dois anos. A vetorização do uso e cobertura do solo de 2004 foi cruzada com as invasões que ocorreram no período de 2005/2006 e 2007/2008. A vetorização do uso e cobertura do solo de 2005 foi cruzada somente com o período de 2007/2008.





As invasões que ocorreram no período que compreende 2003/2004 não foram cruzadas com nenhum dado, pois não há vetorização dos anos anteriores que possam indicar a configuração da paisagem. Do mesmo modo, não foi possível executar uma tabulação cruzada considerando a vetorização do uso e cobertura do solo de 2008 visto que não foram considerados os dados de invasão dos anos seguintes.

Os materiais cartográficos gerados a partir dos dados relativos às características físicas, junto ao mapeamento de uso e cobertura do solo alimentaram um sistema de apoio à tomada de decisão. O sistema escolhido para a realização das simulações é o Dinamica EGO que, com o apoio do SIG e das tecnologias de modelagem, permitiu a geração de cenários futuros. Estes cenários futuros foram construídos de forma a entender como as invasões que ocorrem em APP podem mudar a paisagem do entorno da UHE Cana Brava num espaço de tempo de 06 anos.



O processo desta pesquisa pode ser verificado a partir do fluxograma apresentado na figura 11.

Figura 09 - Exemplo do relatório gerado em campo (parte 1)

		<b>RO-11</b> U.O. - UHCB - MEIO AMBIENTE		
<b>USO IRREGULAR DAS MARGENS</b> <b>REGISTRO DA OCORRÊNCIA Nº 251000127 UHCB</b>				
Localização	Lote(s)	Localidade	Distância da Barragem	Coordenadas (UTM)
		Balsa São Félix	18,5 Km	
Município / Estado: Cavalcante / GO				
Roteiro	Ex-proprietário:			
Infrator	Nome:	Tel:	Profissão:	
	Endereço:	CPF:		
Natureza da Irregularidade	<input checked="" type="checkbox"/> Ocupação não autorizada <input type="checkbox"/> Acesso <input type="checkbox"/> Estrada <input checked="" type="checkbox"/> Edificação <input type="checkbox"/> Rampa <input type="checkbox"/> Pórtico <input type="checkbox"/> Guincho <input type="checkbox"/> Outro(s): Aterro	<input type="checkbox"/> Uso inadequado <input type="checkbox"/> Caça <input type="checkbox"/> Movimento de terra <input type="checkbox"/> Vazamento de combustíveis <input type="checkbox"/> Efluentes domésticos <input type="checkbox"/> Lavoura <input type="checkbox"/> Pastagem <input type="checkbox"/> Criação de gado <input type="checkbox"/> Passagem <input type="checkbox"/> Supressão vegetal <input type="checkbox"/> Outro(s)	<input checked="" type="checkbox"/> Uso de APP <input type="checkbox"/> Retirada de madeira <input type="checkbox"/> Pastagem <input type="checkbox"/> Supressão vegetal <input type="checkbox"/> Criação de gado <input type="checkbox"/> Lavoura <input type="checkbox"/> Estrada <input checked="" type="checkbox"/> Edificação <input type="checkbox"/> Outro(s):	
	Tempo	( ) dias	( )	( ) dias
Testemunhas	Nome:	Ass.:		
	Nome:	Ass.:		
<b>Observações:</b> Em vistoria rotineira constatou-se que no lote BACB-D 0109_ (Indenizado) adquirido do Sr. _____, o Sr. _____ suprimiu a vegetação e construiu uma casa dentro da área de preservação permanente - APP.				
Irregularidades	Casa			
Distância do Lago	21,0 m			
Comprimento	14,0 m			
Largura	13,80 m			
Área	193,20 m <sup>2</sup>			
Material	Alvenaria			
Croquis da área com a localização da irregularidade (delimitar a área com coordenadas UTM):				
				
Escala 1: 2178				
→ Registro de ocorrência enviado para: Meio Ambiente - UHCB – Clóvis A. da Silva / Andréia R. Soares				
Técnico	Nome:	Assinatura:		
	Local: Minaçu-GO	Data: 18 de janeiro de 2007		

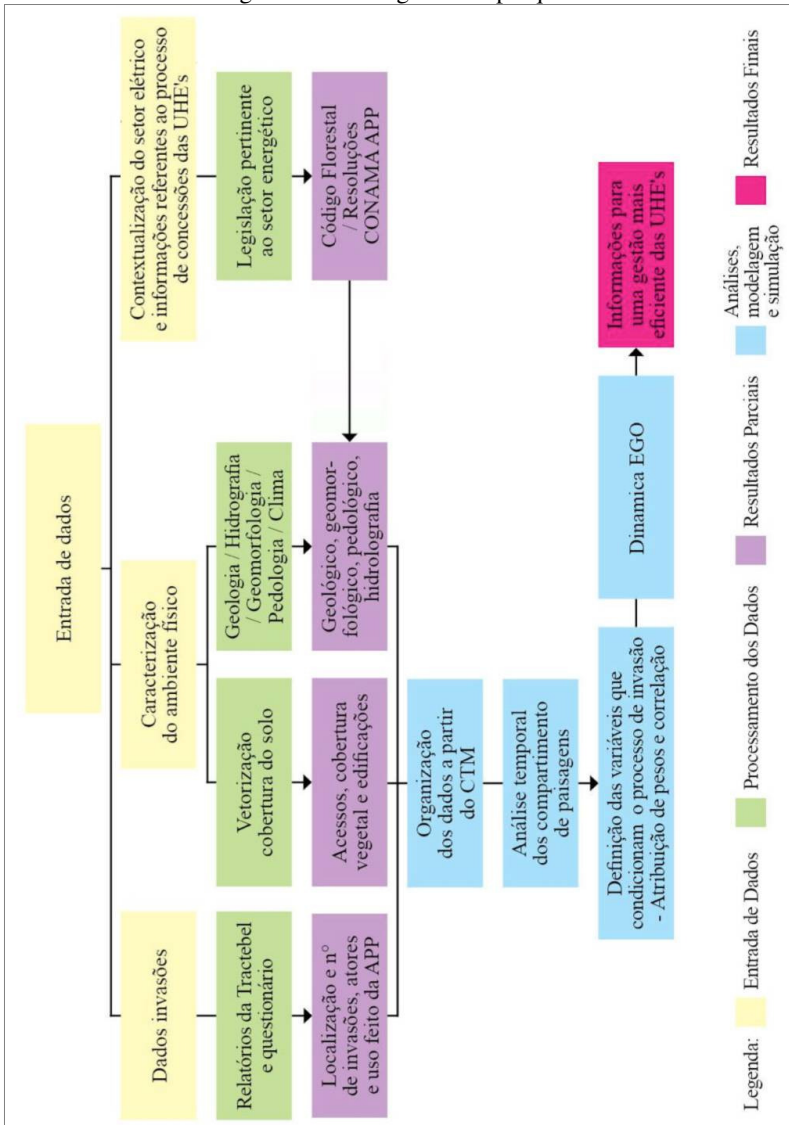
Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia  
 Nota: Dados organizados e tabulados pela autora

Figura 10 - Exemplo do relatório gerado em campo (parte 2)

		U.O. – UHCB-MEIO AMBIENTE
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>		
		
<p>Supressão da vegetação e construção irregular de casa dentro da Área de Preservação Permanente (APP)</p>		
<p>→ Registro fotográfico vinculado ao Registro de Ocorrência – RO 11-Nº 251000127 UHCB</p>		
Técnico	Nome:	Assinatura:
	Local: Minaçu -GO	Data: 18 de janeiro de 2007

Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia  
 Nota: Dados organizados e tabulados pela autora

Figura 11 - Fluxograma da pesquisa



#### 4.1. MATERIAIS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Os produtos cartográficos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram:

- Mosaicos de imagens de alta resolução espacial (0,60 m) do satélite QuickBird, ortorretificadas e equalizadas, com escala aproximada de 1:5.000, coletadas em:

Tabela 02 - Data de coleta das imagens QuickBird

2004	2005	2008
30. Abril. 2004		
13. Maio. 2004		
18. Maio. 2004	14. Julho. 2005	10. Abril. 2008
31. Maio. 2004	27. Julho. 2005	03. Maio. 2008
05. Junho. 2004		

- Dados vetoriais de uso e cobertura do solo gerados pela autora em conjunto com o grupo de pesquisa do projeto SIG/SOPA, a partir dos mosaicos das imagens QuickBird na escala de 1:10.000;
- Dados vetoriais de geologia, geomorfologia e pedologia provenientes do banco de dados do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG) na escala de 1:250.000;
- Dados vetoriais de curva de nível com equidistância de 5 metros, área do lago, sistema hídrico e parcelas na escala de 1:10.000 disponibilizados pela empresa Tractebel Energia;
- Dados vetoriais do sistema hídrico na escala de 1:10.000, com adaptações feitas pela autora, disponibilizados pela empresa Tractebel Energia;
- Dados relativos às incursões em APP provenientes dos relatórios de campo elaborados pela empresa Mirllan Vigilância Ambiental e Patrimonial – GO. Organizados, compilados, tabulados e espacializados pela autora.

Os dados vetoriais acima descritos alimentaram um banco de dados espaciais modelado a partir do software ArcInfo da ESRI.

#### 4.1.1 Elaboração do banco de dados espaciais

Para o gerenciamento dos arquivos vetoriais em ambiente SIG, foi criado um *Personal Geodatabase* (banco de dados geográfico do ArcGis). Este banco de dados espacial foi alimentado com os arquivos vetoriais organizados em uma mesma estrutura e mesmo sistema de coordenadas e *datum*. Neste caso foi utilizado o sistema UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Zona 22 Sul e o Datum SAD69 (*South American Datum*).

O *Personal Geodatabase* permitiu além do gerenciamento dos dados a realização de análises topológicas dos arquivos vetoriais de uso e cobertura do solo. Este processo identificou erros de edição e permitiu sua correção, ora de forma automática, ora de forma manual, mas em ambos os casos com produtividade satisfatória.

#### 4.2. MAPAS TEMÁTICOS - VARIÁVEIS DINÂMICAS

A vetorização da evolução temporal de uso e cobertura do solo deu origem aos mapas que apresentam as variáveis dinâmicas consideradas neste trabalho.

##### 4.2.1 Mapeamento temático de cobertura do solo através de vetorização manual

O mapeamento temporal da cobertura e uso do solo teve como objetivo identificar as variáveis que afetam a dinâmica espacial das áreas de entorno do reservatório em estudo.

Os vetores com a classificação temporal da cobertura do solo foram gerados a partir da vetorização manual das imagens QuickBird. A área vetorizada abrange aproximadamente 61 km<sup>2</sup> que é o resultado da criação de um *buffer* de 100 m ao redor do lago da UHE Cana Brava. Este *buffer* corresponde a APP aplicada pela Resolução CONAMA n°. 302/2002 para reservatórios artificiais localizados em áreas rurais. Este *buffer* não foi aplicado as ilhas, onde toda a sua área foi vetorizada, uma vez que, conforme esta resolução, as áreas correspondentes às ilhas são consideradas APPs, e, portanto, não podem ser ocupadas.

É importante destacar que apesar da área urbana de Minaçu fazer parte da área atingida pela construção da UHE Cana Brava, a APP nesta região foi considerada como sendo de 100 m, e não 30 m conforme institui resolução CONAMA n°. 302/2002. Esta condição foi adotada

como forma de padronizar as análises e facilitar a aplicação dos processos.

A resolução espacial das imagens QuickBird (0,60 m) permitiu que a vetorização atingisse um bom nível de detalhamento, sendo esta realizada na escala 1:2.000, o que gerou um produto final compatível com a escala de 1:10.000. Os mapas de uso e cobertura do solo podem ser visualizados nos anexos 01 a 03 que seguem em CD-ROM.


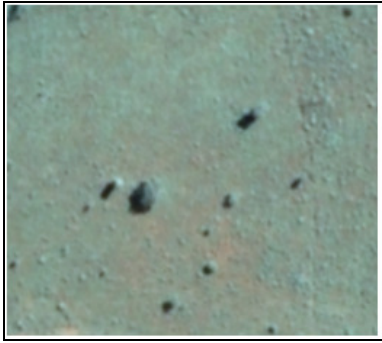
#### 4.2.2 Definição das classes de uso e cobertura do solo – variáveis dinâmicas

A definição das classes utilizadas neste mapeamento busca identificar os subgrupos da formação savana (cerrado), encontrados na área de estudo e atender os objetivos desta pesquisa.

Listam-se abaixo cada classe elegida e breve descrição seguida de uma amostra da resposta espectral apresentada pelos dados *rasters*.

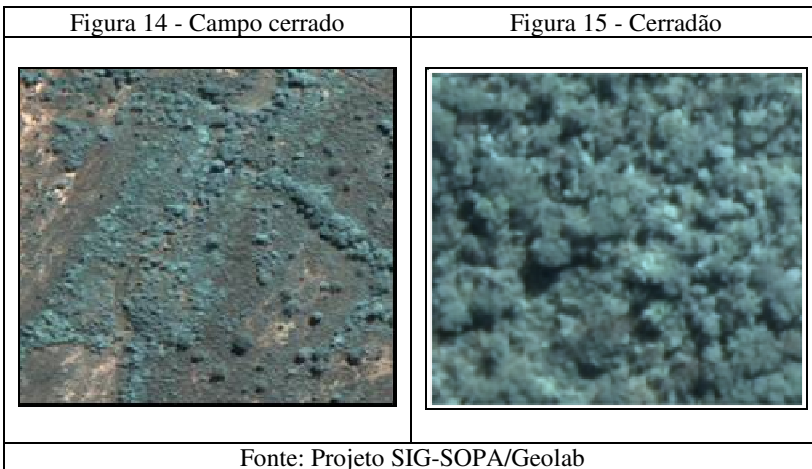
**Solo exposto:** Local que sofreu interferência antrópica.

**Campo limpo:** Podendo resultar de processos naturais ou antrópicos as áreas de campo limpo são geralmente utilizadas como pastagens. A falta de vegetação pode ser considerada um facilitador no processo de ocupação das APPs.

Figura 12 - Solo exposto	Figura 13 - Campo limpo
	
<p>Fonte: Projeto SIG-SOPA/Geolab</p>	

**Campo Cerrado:** Subgrupo da formação natural do bioma cerrado em área com restrição de água ou com solos pobres. Como as áreas de campo limpo, as áreas de campo cerrado também não oferecem grandes obstáculos à ocupação humana.

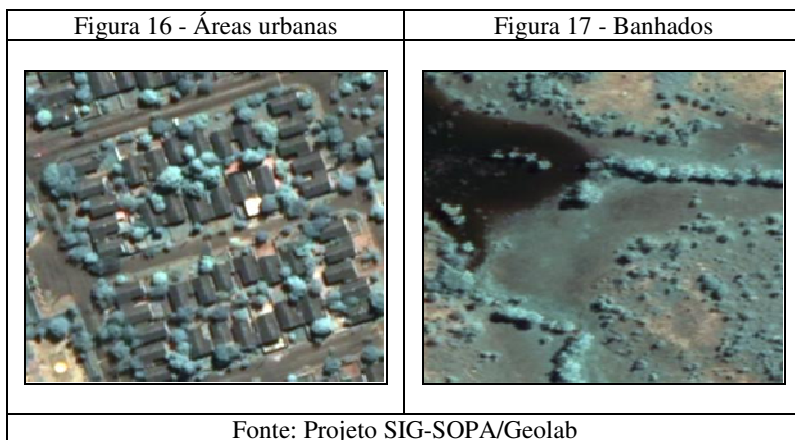
**Cerradão:** As áreas de cerradão tem como característica a existência de uma vegetação densa, de porte arbóreo e arbustivo. A densidade da vegetação pode ser considerada um fator complicador no processo de invasão da APP.



**Áreas Urbanas:** As áreas urbanas são consideradas de grande relevância na questão das incursões em APP, devido à constante migração para estas áreas. Condição que pode tornar a APP mais suscetível a invasões.

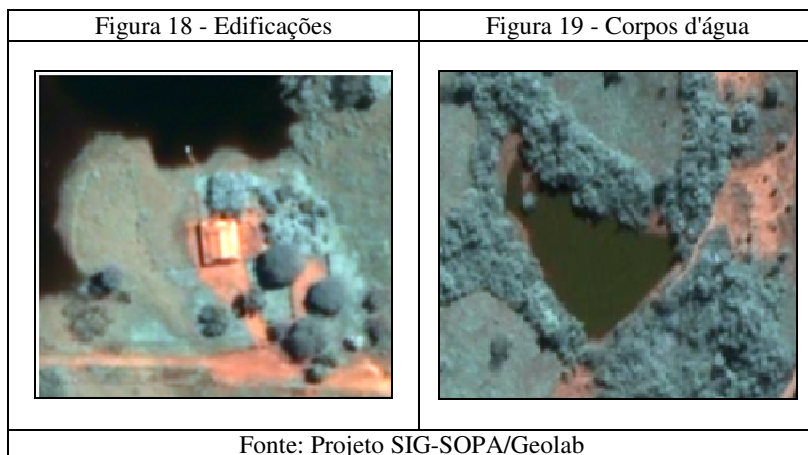
**Banhados:** São ambientes úmidos, geralmente com solo não drenado. Condição que pode tornar a área pouco atrativa a ocupação.





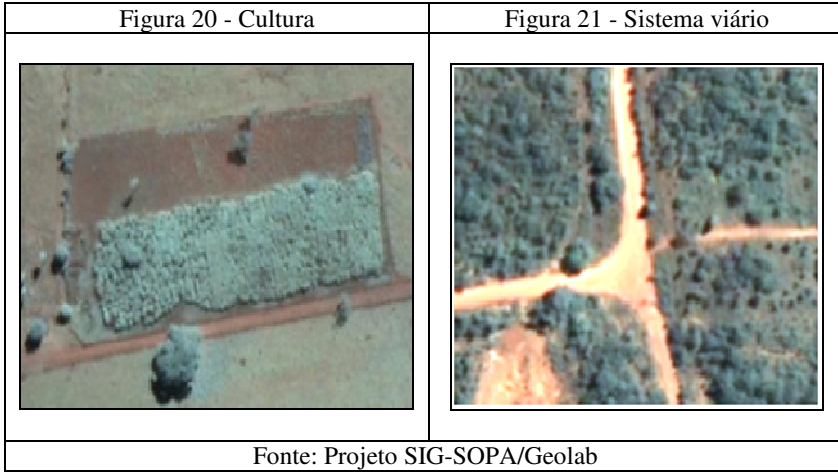
**Edificações:** São consideradas a materialização das invasões em APP.

**Corpos d'água:** São utilizados para pesca, recreação ou mesmo para dessedentação de animais.



**Cultura:** Utilização da APP para cultivo, condição esta que, como ocorre com a edificação, materializa a intervenção humana na APP.

**Sistema viário:** São considerados vetores de desmatamento, bem como uma condição facilitadora do processo de invasão.



**Mata Ciliar:** Condição que visa atender a legislação brasileira referente às APPs, mesmo antes do enchimento do lago.

Figura 22 - Mata ciliar



Fonte: Projeto SIG-SOPA/Geolab

A classificação da cobertura e uso do solo foi vetorizada manualmente em função da resolução dos dados *rasters* (0,60 m). No entanto, é importante ressaltar que em um primeiro momento a responsabilidade de vetorização foi dividida entre os integrantes do grupo de pesquisa, permitindo que os mosaicos gerados a partir das imagens fossem classificados por técnicos com diferentes interpretações. Estas diferenças foram muitas vezes ampliadas em função da resposta espectral das cenas. O fato do mosaico ser gerado com imagens coletadas em diferentes datas dificultou o processo de equalização das imagens o que, em alguns casos, comprometeu a resposta espectral destas cenas favorecendo a ambiguidade quando da sua interpretação.

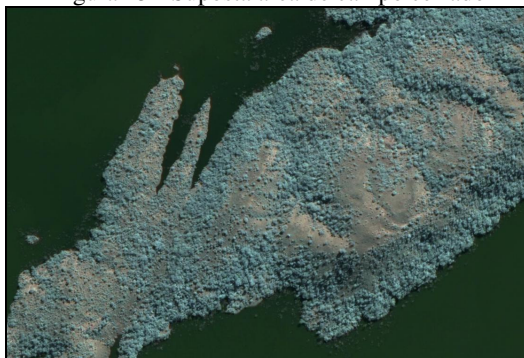
Outras dificuldades ocorreram devido ao próprio bioma Cerrado que apresenta características muito específicas.

#### 4.2.3 Áreas que apresentaram dificuldades de interpretação

Conforme dito anteriormente, durante os trabalhos de vetorização, foram encontradas áreas que imprimiram certa dificuldade a interpretação. Estas dificuldades ora eram devidas ao processamento digital das imagens, ora devido às características particulares do bioma Cerrado. Considerando este último, constatou-se dificuldade recorrente quando da ocorrência de áreas de campo limpo ou campo cerrado. A dúvida gerava em torno da forma de criação destas áreas, uma vez que no bioma Cerrado tais coberturas podem ser consideradas uma adaptação às condições edáficas e/ou climáticas locais ou ainda um estágio recente de regeneração da vegetação original.

Para ilustrar o descrito apresenta-se na figura 23 o exemplo de uma área considerada campo cerrado.

Figura 23 - Suposta área de campo cerrado



Fonte: Projeto SIG-SOPA/Geolab

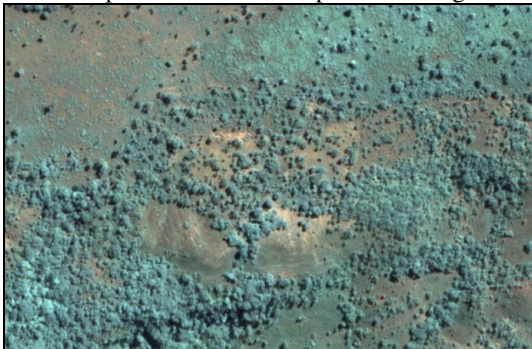
Outro motivo de dúvida foi a ocorrência de solo exposto, visto que este pode ser resultado de ações humanas ou de um processo natural de queimada que ocorre nas savanas. Nesta ocorrência um fator que influenciou de forma significativa a interpretação das imagens foi a utilização concomitante de imagens cor real e falsa cor, esta última ressaltava a vegetação, mas também as áreas com ausência desta, em muitos casos confundindo os técnicos, conforme pode ser identificado nas figuras 24 e 25.

Diante dos problemas encontrados e da impossibilidade de efetuar um trabalho de campo de forma a sanar estas dúvidas, optou-se por determinar uma interpretação única para estas áreas.

Referente às áreas de campo cerrado, considerou-se quando da sua ocorrência como sendo uma área própria do bioma cerrado. No caso específico dos problemas relacionados à identificação de áreas com solo exposto, optou-se por utilizar apenas os mosaicos em cor real e considerar áreas de solo exposto somente aquelas onde ficava perceptível a intervenção humana.

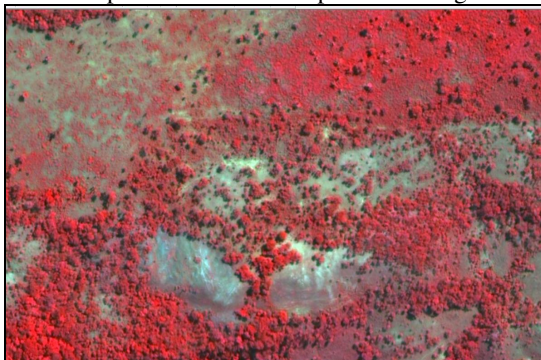
Em consonância a esta decisão foi necessário proceder com um trabalho de revisão das áreas vetorizadas, para homogeneização do trabalho de classificação. Depois que estes trabalhos de correção da classificação foram finalizados, foi gerada a topologia que corrigiu possíveis sobreposições e espaços vazios entre os polígonos. Após estes processos obteve-se o produto cartográfico corrigido e homogeneizado, que permitiu identificar as variáveis dinâmicas que serão trabalhadas em conjunto com as variáveis estáticas.

Figura 24 - Suposta área de solo exposto em imagem cor real



Fonte: Projeto SIG-SOPA/Geolab

Figura 25 - Suposta área de solo exposto em imagem falsa cor



Fonte: Projeto SIG-SOPA/Geolab

### 4.3. MAPAS TEMÁTICOS – VARIÁVEIS ESTÁTICAS

As variáveis estáticas, assim denominadas por serem consideradas variáveis que não sofrem alterações temporais durante a janela temporal analisada, são apresentadas a partir de mapas temáticos. Todas as representações gráficas são resultados de informações vetoriais que posteriormente foram convertidas para o formato *raster* com o uso das ferramentas disponíveis no software ArcInfo.

#### 4.3.1 Mapa geológico

O mapeamento geológico apresentado neste trabalho (ver figura 06) foi gerado a partir de dados vetoriais sobre a geologia do Estado de Goiás, na escala de 1:250.000, disponibilizado no endereço eletrônico do SIEG. A partir da ferramenta *clip* disponível no ArcInfo foi feito um recorte destes dados considerando somente a área de interesse desta pesquisa, 100 m correspondente a APP em área rural da UHE Cana Brava. O mapa geológico foi usado como auxílio na análise do relevo e do solo, já que ambos são produtos das rochas encontradas no local.

#### 4.3.2 Mapa geomorfológico

O mapa geomorfológico (ver figura 07) para análise das características físicas/morfológicas também foi gerado a partir dos dados vetoriais disponibilizados pelo SIEG na escala de 1:250.000. O vetor foi manipulado para que pudesse representar somente a área de interesse.

### 4.3.3 Mapa pedológico

A partir da análise dos dados provenientes dos relatórios mensais da Tractebel, verificou-se que o cultivo é um dos usos feitos da APP. Considerando esta hipótese entendeu-se necessário verificar a fertilidade dos solos presentes na faixa de 100 m que compreende a APP da UHE Cana Brava.

Assim como os mapas de geologia e geomorfologia, o mapa pedológico (ver figura 08), foi gerado a partir dos dados vetoriais do SIEG na escala de 1:250.000.

### 4.3.4 Mapa de declividade

O mapa de declividade da APP (ver figura 26) do reservatório foi gerado a partir do arquivo vetorial das curvas de nível com equidistância de 5 m disponibilizadas pela empresa Tractebel Energia. A declividade foi gerada, a partir do *tin* criado na extensão *3D Analyst* da ESRI. Para a classificação da declividade foi utilizada a metodologia elaborada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1999) e pode ser visualizada na tabela 03.

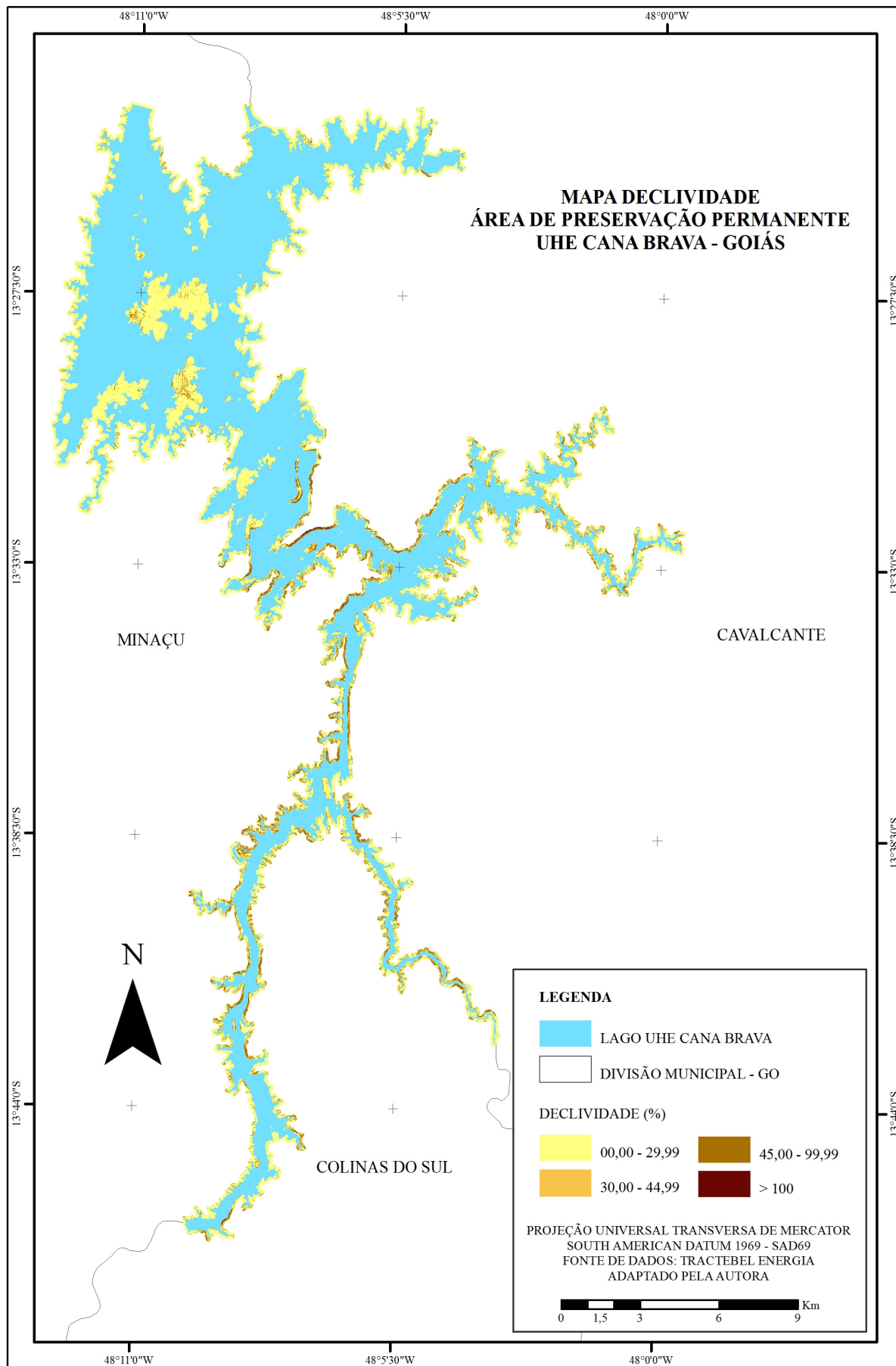
Tabela 03 - Classes de relevo

Declividade (%)	Classe relevo (EMBRAPA)	Características
0 – 3	Plano	Terras fáceis de serem cultivadas inclusive com uso de mecanização agrícola. Não apresentam indícios de erosão.
3 – 8	Suavemente ondulado	Solos moderadamente suscetíveis à erosão. Terras também consideradas fáceis de serem cultivadas inclusive com uso de mecanização agrícola.
8 – 20	Ondulado	Solos muito suscetíveis à erosão. São áreas que podem apresentar algumas restrições para a utilização agrícola.
20 – 45	Fortemente ondulado	Solos fortemente suscetíveis à erosão. Uso restrito para atividade agrícola.
45 – 75	Montanhoso	Solos fortemente suscetíveis à erosão. Inapto para atividade agrícola.
>75	Escarpado	Solos fortemente suscetíveis à erosão. Inapto para atividade agrícola. Conforme o Código Florestal encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive são consideradas APPs e desta forma estas áreas não podem ser ocupadas.

Fonte: EMBRAPA (2009)

Nota: Tabela adaptada pela autora

Figura 26 - Mapa de declividade



## 4.4. MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS NO DINAMICA EGO

### 4.4.1 Conversões e adequações necessárias ao processo de modelagem

O software Dinamica Ego aceita apenas conjuntos de dados *rasters* em três formatos: ER Mapper, Geotiff e ArcView ASCII. Os sistemas de coordenadas suportados variam de acordo com o formato do dado. Desta forma foi adotado como padrão o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e sistema de referência WGS 84. Os dados não foram gerados neste sistema pois, inicialmente, eles faziam parte de um projeto maior no qual havia sido instituída a utilização do sistema de projeção UTM e como sistema de referência SAD 69.

Após este processo todas as variáveis, dinâmicas ou estáticas, em formato vetorial, que alimentariam o processo de simulação, foram reprojetadas e convertidas para o formato matricial. Outra condição necessária para a execução da simulação é que todos os dados *rasters* utilizados no processo tenham uma matriz de mesmo tamanho (número de linhas e colunas), a mesma resolução espacial e o mesmo bloco de coordenadas.

Foi executado ainda um processo de reclassificação dos dados *rasters*, uma vez que é necessário atribuir valores para as células nulas e padronizar os níveis de cinza para as classes resultantes do mapeamento.

Estes processos de adequação dos dados foram todos executados no próprio ArcInfo a partir das extensões *conversion tools* e *spatial analyst*, não sendo necessário para tanto utilizar um software específico para processamento digital de imagens.

A conformação dos dados para a simulação foi executada na sequência apresentada abaixo:

- Definição e reprojeção dos dados para uma mesma referência (UTM/WGS84);
- Transformação de dados vetoriais em dados *rasters* no formato GeoTiff;
- Reclassificação das imagens quanto à resolução espacial e classes temáticas.

Referente à resolução espacial considerou-se, em um primeiro momento um pixel de 1,5 m, uma vez que a vetorização do uso do solo foi elaborada a partir de imagens com 60 cm de resolução. Nesta



condição as imagens foram geradas com uma matriz de 15.869 x 28.468 *pixels*. Na execução do primeiro processo de modelagem verificou-se que não era possível processar a simulação considerando este nível de detalhe, devido ao tamanho de memória RAM solicitada. Desta forma os dados *rasters* foram gerados novamente considerando um pixel de 5 m, que resultou em uma matriz de 4.761 x 8.540 *pixels*, viabilizando assim o processo de simulação.

Outra limitação encontrada foi a impossibilidade de considerar, na execução do modelo, todas as classes de uso e cobertura do solo que foram vetorizadas. Esta condição foi identificada quando da geração do arquivo de pesos de evidências. Em função da complexidade gerada pelo número de variáveis, o software não conseguia identificar padrões. Assim o uso do solo foi reclassificado considerando apenas três classes:

- Classe 01: classes vetorizadas que tem origem a partir de ações antrópicas, tais quais: área urbana, cultura, edificação, sistema viário e solo exposto;
- Classe 02: classes que supostamente não são resultantes de interferência humana como: banhado, campo cerrado, campo limpo, cerradão e mata ciliar;
- Classe 03: representa o corpo hídrico, classe que não participará das transições.

Quando da execução do processo considerando as três classes acima descritas, verificou-se no momento da calibragem a ocorrência de erros provenientes da identificação de estruturas. Um exemplo desta condição foi a expansão de manchas de invasão próximas a estrutura da barragem, sendo que o sistema a identificava como uma intervenção humana. Outro fator que dificultou a calibragem foi o solo exposto vetorizado em função da diminuição do nível da água do reservatório<sup>1</sup>. Nesta condição a descrição as áreas eram interpretadas como resultado de intervenção humana, o que não condizia com a realidade. Considerando estas particularidades e os dados resultantes da comparação da evolução da paisagem entre 2004 e 2008 foi trabalhada uma terceira classificação, inserindo um nova classe (classe 04). Nesta última a classificação da vetorização foi assim distribuída:

---

<sup>1</sup> Esta condição é abordada no item 5.3 que trata da análise dos dados temporais gerados a partir da vetorização do uso do solo.

- Classe 01 - classes vetorizadas que tem origem a partir de ações antrópicas, tais quais: área urbana, edificação e sistema viário;
- Classe 02 - classes que supostamente não são resultantes de interferência humana como: campo cerrado, campo limpo, cerradão e mata ciliar;
- Classe 03 - representa o corpo hídrico, classe que não participará das transições.
- Classe 04 - composta pelos vetores classificados como: banhado, cultura e solo exposto. Esta classe assim como a classe 03 não participou do processo de modelagem.

Esta última tentativa de adequação do uso do solo foi a que apresentou melhor resultado quando da calibração do sistema. Após a adequação das classes o processo de modelagem e simulação pode ser totalmente executado.

#### **4.4.2 Processo de modelagem e simulação**

A modelagem dos dados abrange vários processos, desta forma para melhor compreensão das etapas, os processos serão abordados de forma sequencial.

##### **Etapa 01**

Dá-se início ao processo de modelagem no Dinamica Ego com o cálculo das matrizes chamadas “*single step transition matrix*” e “*multiple step transition matrix*”, que conferem valores aos processos de transição ocorridos entre dois mapas de uso e cobertura do solo no tempo um e dois (instante inicial e final). Sendo que a matriz “*single-step*” apresenta os processos de transição entre as classes durante todo o período de análise e a matriz “*mult-step*”, por sua vez, indica as transições ocorridas a cada passo de tempo do período analisado (SOARES-FILHO, RODRIGUES e COSTA, 2009).

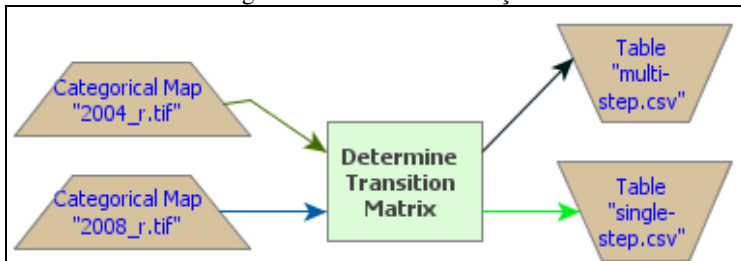
Neste caso a simulação considerou um mapa inicial de uso e cobertura do solo do ano de 2004 e um mapa final de 2008, o que gerou uma matriz *mult-step* de quatro anos.

Este processo pode ser visualizado a partir da figura 27 e considera os seguintes parâmetros:

- Parâmetros de entrada (*input*): mapa de uso e cobertura do solo inicial e final;

- Parâmetros do modelo (*determine transition matrix*): intervalo de tempo considerado (*time steps*);
- Parâmetros de saída (*output*): arquivo de matriz “*single step.csv*” e “*multiple step.csv*”.

Figura 27 - Matriz de transição

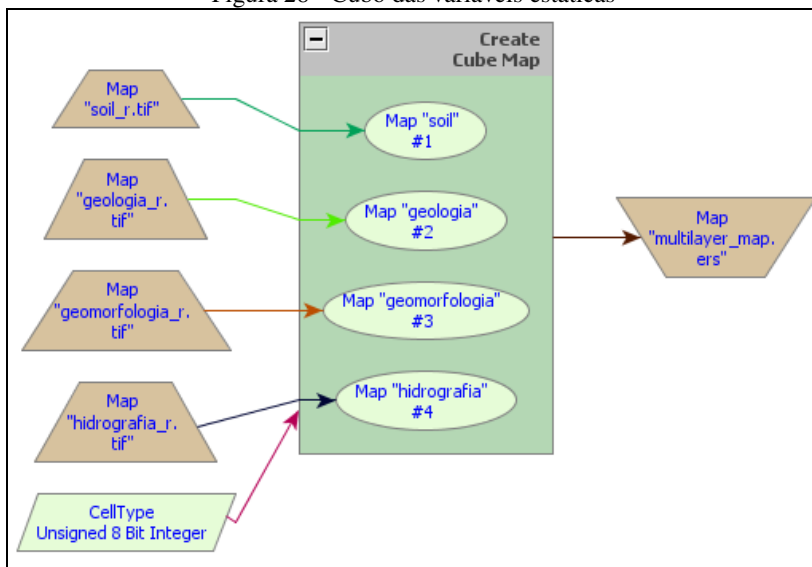


## Etapa 02

O processo 02 foi aplicado para a construção de um cubo de dados *rasters* com as variáveis estáticas, conforme pode ser visualizado na figura 28. Os parâmetros deste processo consistem em:

- Parâmetros de entrada (*input*): mapas das variáveis estáticas (solo, geologia, geomorfologia e hidrografia) e o functor “*cell type*” que define o número de bits que a célula deste cubo de dados *rasters* suportará. No caso desta pesquisa os mapas estáticos foram gerados com uma informação de 8 bits;
- Parâmetros do modelo (*create cube map*): identificação dos nomes e números dos mapas das variáveis estáticas (*name map*) que deverão ser mantidas durante todo o processo;
- Parâmetros de saída (*output*): arquivo em formato \*.ers nomeado “*multilayer map*”.

Figura 28 - Cubo das variáveis estáticas



### Etapa 03

O processo seguinte consistiu em classificar em níveis de cinza os dados cujos valores são contínuos (atividade chamada de “fatiamento”). A partir da classificação dos níveis de cinza foi possível calcular as faixas de distância em relação a cada classe temática considerada no processo. Nesta etapa os mapas são classificados em categóricos e não categóricos. Categóricos são os mapas cujas variáveis não necessitam ser classificadas visto que os dados contidos respondem a classificação dada ao *pixel* no momento da reclassificação do dado *raster*. Os mapas não categóricos por sua vez precisam ser classificados. Dois mapas foram reclassificados, o mapa de declividade (*slope*) e o mapa de distância entre as variáveis inseridas no processo.

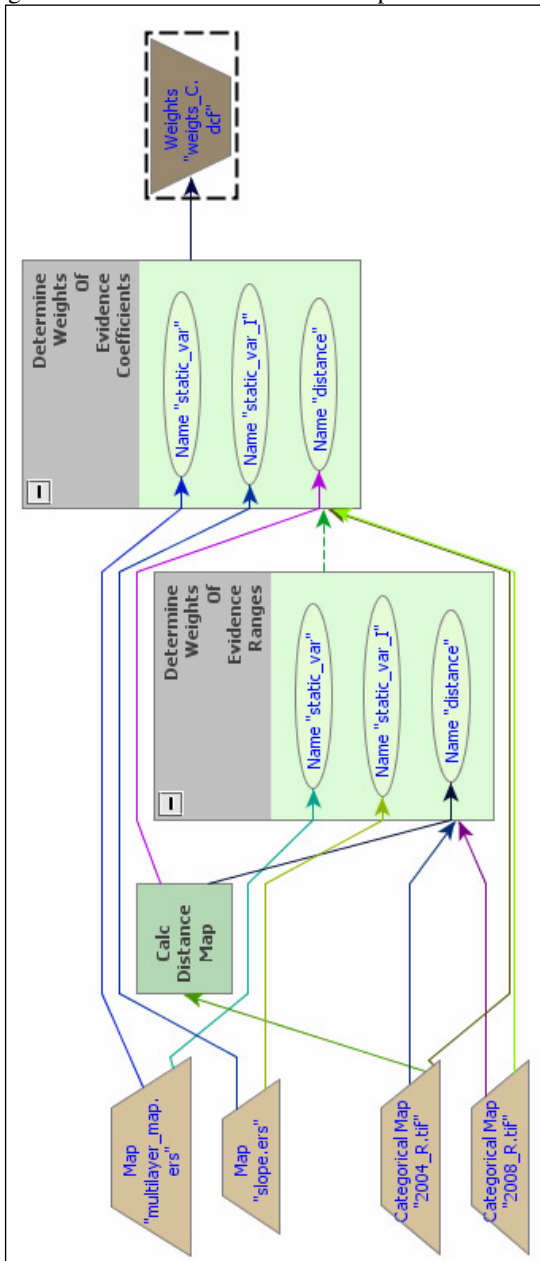
- Parâmetros de entrada (*input*): mapa de uso e cobertura do solo inicial e final e mapa das variáveis estáticas (*cube map e slope*);
- Parâmetros do modelo (*Determine Weights Of Evidence Ranges*): cálculo do mapa de distância, com inserção do número de classes consideradas, classificação das variáveis estáticas ou dinâmicas a cada transição analisada e definição da resolução espacial adotada;

- Parâmetros de saída (*output*): nome para o arquivo resultante do fatiamento - “*weights skeleton.dcf*”.

Para efetuar o cálculo dos coeficientes pelo método dos pesos de evidência é executado o mesmo processo descrito na etapa 03 (ver processo na figura 29), considerando exatamente os mesmos parâmetros e variáveis, porém utilizando o functor – “*Determine Weights Of Evidence Coefficients*”, tendo como parâmetros de entrada e saída:

- Parâmetros de entrada (*input*): mapa de uso e cobertura do solo inicial e final, *multilayer map* e o arquivo *weights skeleton* gerado no processo anterior somado ao functor “*Determine Weights Of Evidence Coefficients*”;
- Parâmetros do modelo: os mesmos do functor anterior;
- Parâmetros de saída (*output*): nome para o arquivo resultante - “*weights.dcf*”.

Figura 29 - Fatiamento das variáveis / pesos de evidência

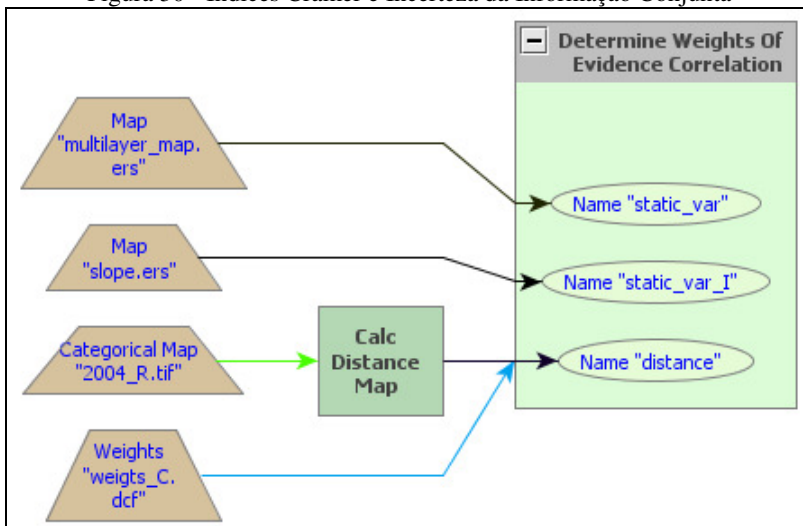


## Etapa 04

Para dar andamento ao processo geram-se os “mapas de correlação” nos quais são calculados os Índices Cramer (V) e da Incerteza de Informação Conjunta (U). O resultado deste processo (ver figura 30) é a identificação das variáveis que devem permanecer ou ser desconsideradas na execução do modelo. Os parâmetros utilizados foram:

- Parâmetros de entrada (*input*): mapa de uso inicial, mapa de variáveis estáticas; arquivo de pesos de evidência “weights”;
- Parâmetros do modelo (*Determine Weights of Evidence Correlation*): cálculo do mapa de distância, com inserção do número de classes e transições consideradas;
- Parâmetros de saída (*output*): Não há neste processo um produto, o que ocorre é que na janela “log” do sistema as variáveis com pesos mais altos são apresentadas. A partir desse dado o usuário abre o arquivo “weights” gerado no processo anterior exclui manualmente as variáveis que devem ser desconsideradas salvando o arquivo renomeado - “new\_weights.dcf”.

Figura 30 - Índices Cramer e Incerteza da Informação Conjunta



## **Etapa 05**

A execução final do modelo é realizada a partir da construção de um *container* denominado *Repeat*. Neste *container* serão executados os operadores para quatro iterações correspondentes ao número de períodos de simulação, conforme descrito na relação de parâmetros. Este processo conta com sete funtores localizados dentro do *container Repeat* conforme pode ser verificado na figura 31.

- Parâmetros de entrada (*input*): arquivo de matriz *mult-step*; mapa de uso inicial; mapas das variáveis estáticas; arquivo de pesos de evidência (*weights*);

- Parâmetros do modelo – funtores utilizados no *container Repeat*:

- *Mux Categorical Map*: este functor atualiza do mapa de uso e cobertura inicial e final;

- *Calc Change Matrix*: calcula taxas brutas a partir das taxas líquidas inseridas no processo pela matriz de transição;

- *Calc Distance Map*: calcula as distâncias de uma classe para outra;

- *Modulate Change Matrix*: define as taxas percentuais de mudança para as transições consideradas;

- *Expander*: define as propriedades espaciais para a transição das manchas já existentes. Este algoritmo requer a inserção dos valores média, variância e grau de isometria;

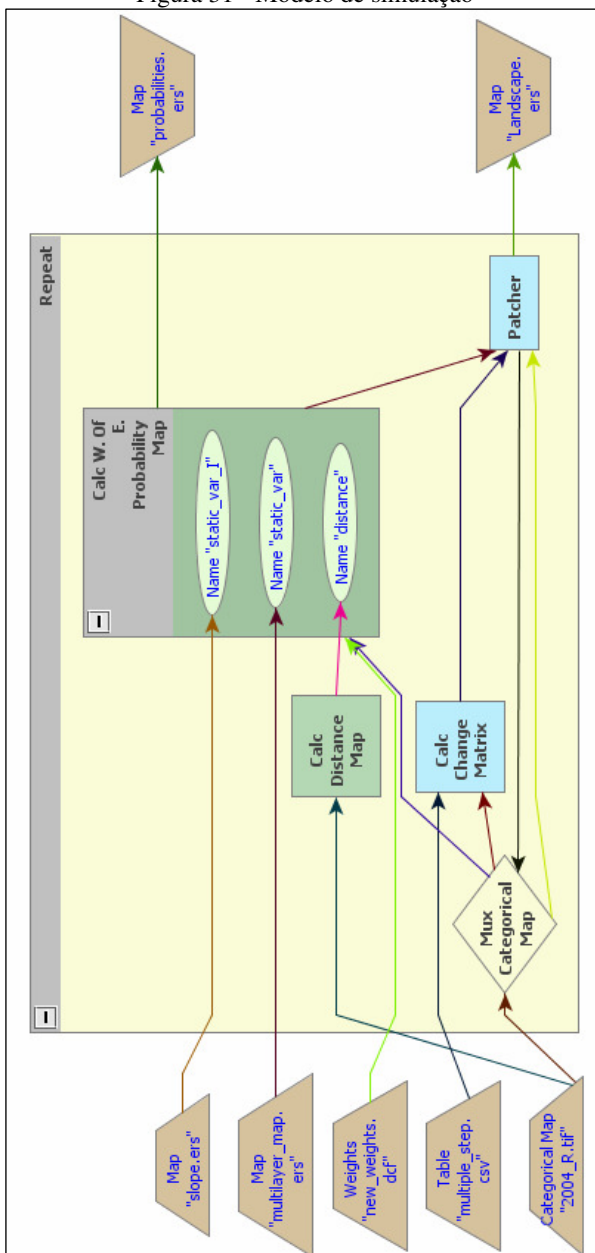
- *Patcher*: é o algoritmo de transição que define os valores que irão gerar as novas manchas. Para tanto é necessário inserir no modelo o tamanho da célula (*pixel*) em hectares (ha) e os valores de variância e isometria;

- *Calc Weights of Evidence Probability Map*: calcula um mapa de probabilidade para cada transição especificada.

Parâmetros de saída (*output*): denominação para o mapa resultante de uso e ocupação do solo resultante - “*landscape.ers*”; e denominação para o mapa de probabilidade de mudanças - “*probabilities.ers*”.



Figura 31 - Modelo de simulação



## **Etapa 06**

Após a execução do modelo faz-se necessária a comparação do mapa gerado, pois este pode não apresentar padrões de similaridade e concordância espacial nas proximidades das células. Para executar este processo (ver figura 32) é necessária a inserção dos parâmetros abaixo relacionados:

- Parâmetros de entrada (*input*): mapa de uso e cobertura do solo inicial e final e o mapa resultante da simulação;

- Parâmetros do modelo: funtores utilizados no *container Group*:

- *Calc Categorical Map*: responsável pelo cálculo da categorização do mapa;

- *Calc Reciprocal Similarity Map*: executa uma função de decaimento exponencial, que calcula a similaridade entre dois mapas, considerando a distância, para ajustar a distribuição da situação de uma célula em suas vizinhas;

- *Calc Value*: avalia os valores resultantes do *Calc Reciprocal Similarity Map*, considerando um valor de “0 - 1”, que resulta nos valores de *First Similarity* e o *Second Similarity*;

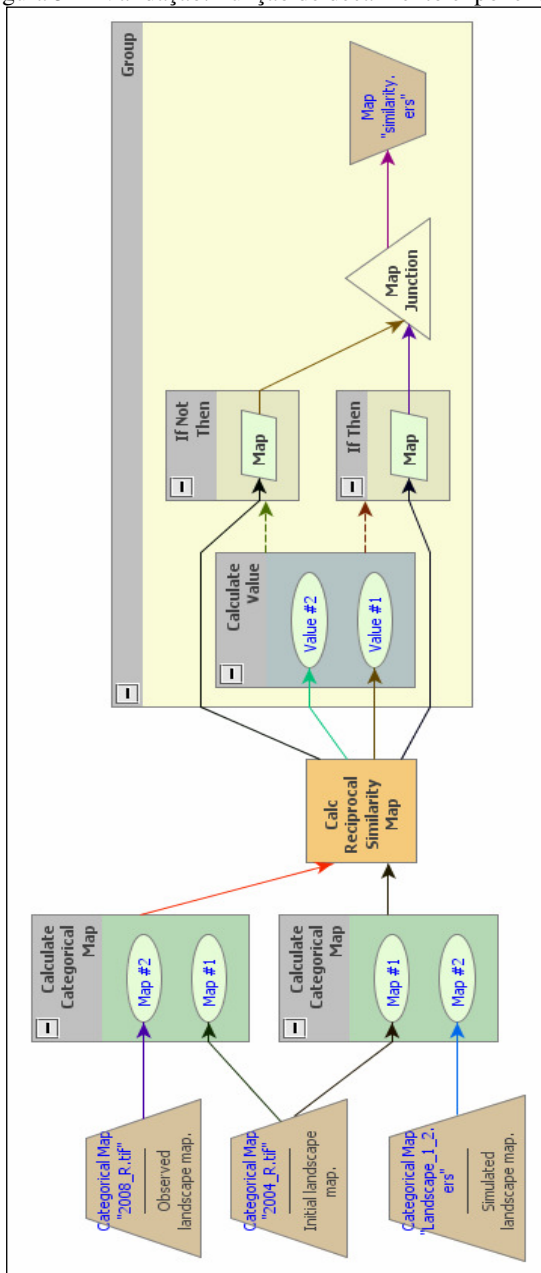
- *If Not Then*: recebe o resultado *Second Similarity* com o qual é calculado e gerado um resultado booleano;

- *If Then*: recebe o resultado do *First Similarity* com o qual é calculado e gerado um resultado booleano;

- *Map Junction*: recebe um dos resultados (o resultado de maior valor) gerados pelos funtores *If Not Then* e *If Then*, para que seja gerado um mapa com o menor valor de similaridade.

- Parâmetros de saída (*output*): nome para mapa resultante da validação - “*similarity.ers*”.

Figura 32 - Validação: Função de decaimento exponencial



## **Etapa 07**

Esta etapa é similar a anterior, a diferença esta no *container* denominado *For*. Neste processo uma função de decaimento constante é utilizada. São utilizados ainda parâmetros de entrada idênticos ao do processo anterior somado a uma gama de funtores inseridos no *container For* (ver figura 33). Abaixo são descritos somente os parâmetros que diferem:

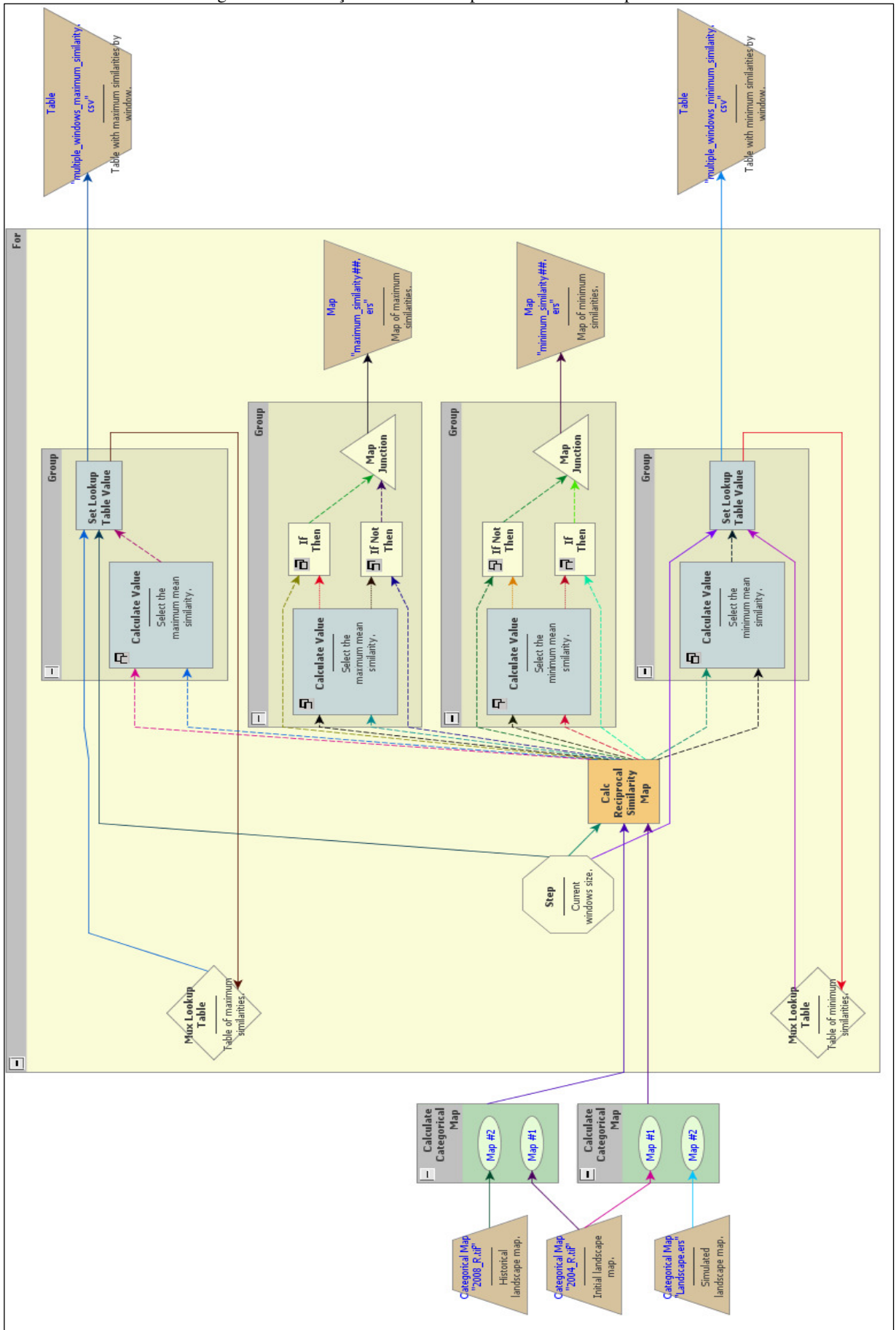
· Parâmetros do modelo – funtores utilizados no *container For*:

- *Step*: passa o valor das iterações ao *Calculate Map*;
- *Mux Lookup Table*: atualiza as médias de similaridade mínima por tamanho da janela;
- *Calc Reciprocal Map*: calcula valores de similaridade e os envia para o *Calculate Value*;
- *Calc Value*: seleciona o menor valor do ajuste;
- *Set Lookup Table*: recebe os valores selecionados pelo *Calc Value*.

· Parâmetros de saída (*output*): nome para a tabela resultante do processo de similaridade por janela - “*multiple windows minimum similarity.csv*” e o “*multiple windows maximum similarity.csv*”.

Nesta etapa a similaridade é medida através do valor resultante do processo. Este valor esta no intervalo de 0 a 1. Onde quanto mais próximo de 1 é o valor, maior o nível de acerto da simulação. Conforme indicado em Soares Filho, Rodrigues e Costa (2009) para que a simulação seja considerada valida esta taxa deve estar entre 0,3 a 0,6.

Figura 33 - Validação: Janelas múltiplas e decaimento exponencial



## **Etapa 08 e 09**

O processo 08 trata da execução da simulação com formação de manchas. Esta etapa usa os mesmos parâmetros do processo n° 05 e tem por objetivo avaliar os resultados da simulação e executar a calibragem final do resultado.

No processo 09 são inseridos três funtores junto aos parâmetros usados no processo 05. Quais sejam: *Modulate Change Matrix*, *Expander* e *Add Change Matrix* (ver figura 34). O functor *Expander* é responsável pela expansão ou contração das manchas existentes na classe trabalhada.

## **Etapa 10**

Após ter sido executada a calibragem final dos produtos gerados é possível simular a dinâmica de um modelo reproduzindo os padrões espaciais de forma a projetar os impactos e consequências de trajetórias futuras. Esta etapa se utiliza do modelo anterior inserindo três funtores: *Calculate Value*, *Number Value* e *Step* (ver figura 35). Antes de executar o processo substitui-se o mapa inicial pelo mapa final e insere-se o número de simulações desejadas. Nesta pesquisa trabalhou-se com uma estimativa de 6 anos.

Figura 34 - Simulação com formação de manchas e expansão

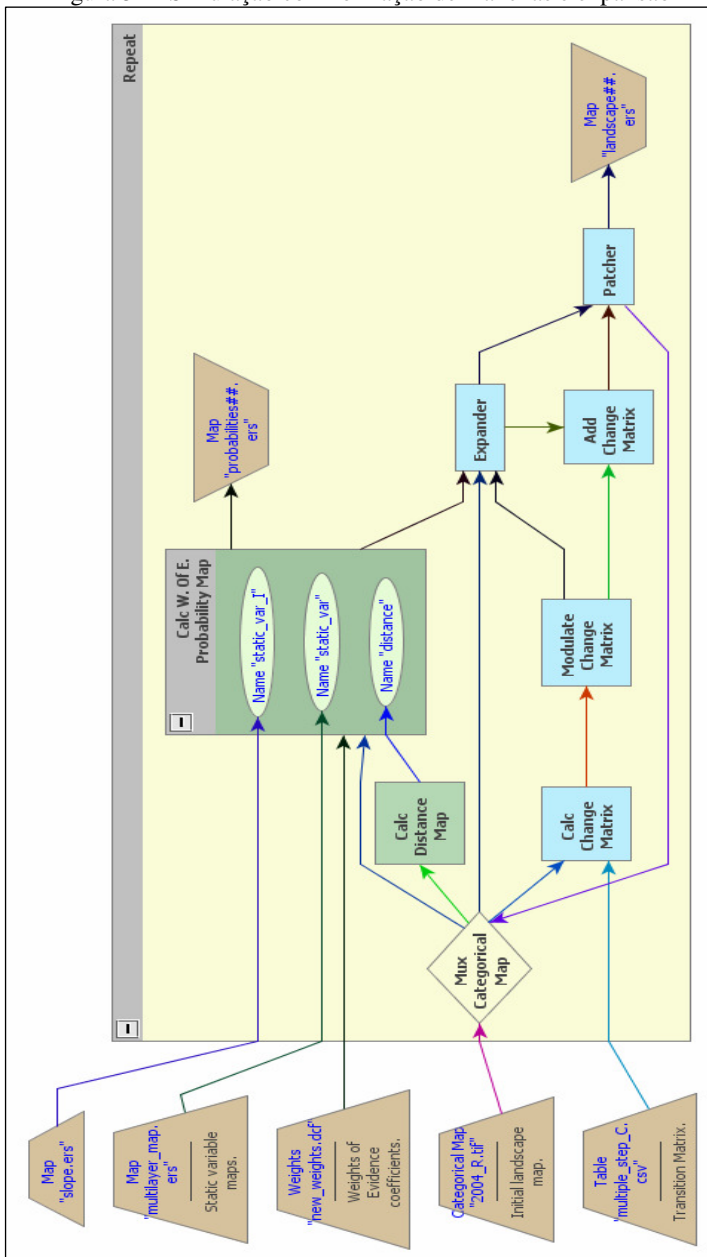
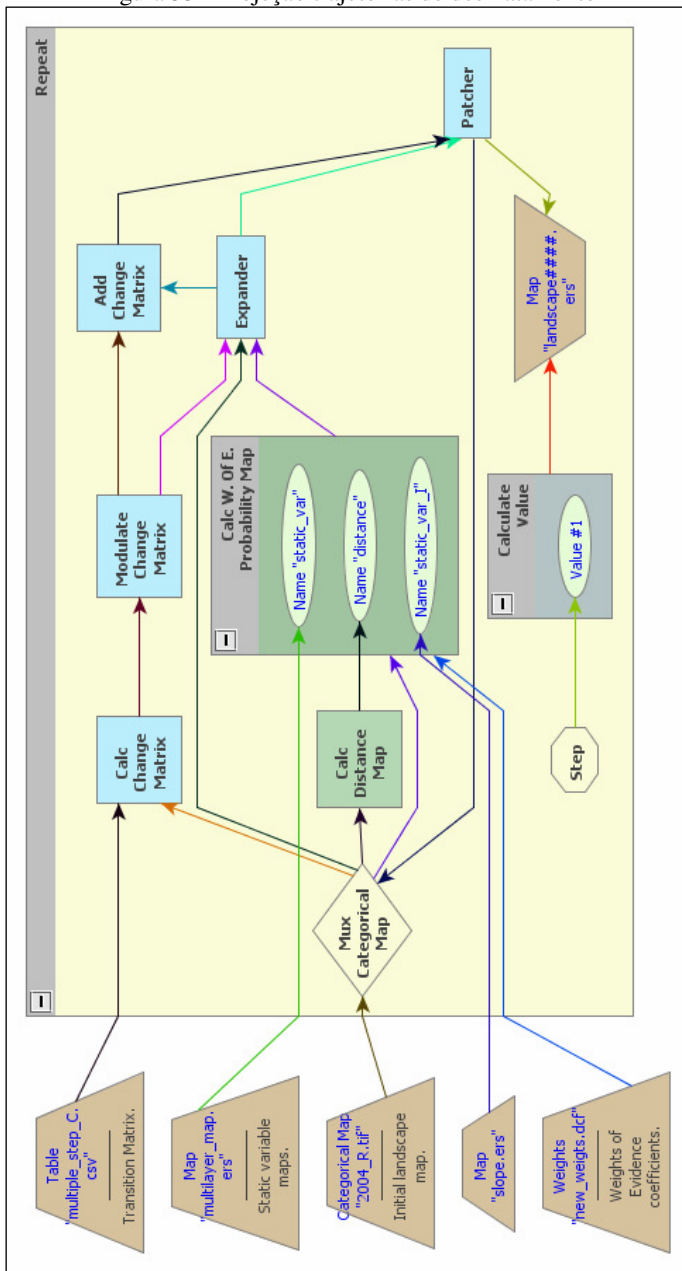


Figura 35 - Projeção trajetórias de desmatamento





## CAPÍTULO V

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. GERAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS - RELATÓRIOS MENSAIS

As informações geradas a partir dos dados constantes nos relatórios foram espacializadas e analisadas considerando uma faixa de APP de 100 metros, que conforme a resolução do CONAMA n°. 302/2002 corresponde a APP de áreas rurais. Esta faixa de 100 m abrangeu o entorno de todo o reservatório, inclusive na área urbana do município de Minaçu onde a legislação atual institui 30 metros. O tamanho do *buffer* foi estabelecido no início do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL e foi mantido de modo a facilitar o mapeamento e a análise dos dados. Assim os dados disponibilizados pela Tractebel foram espacializados considerando a área resultante deste *buffer*.

Deve-se considerar também que a UHE Cana Brava entrou em operação em maio de 2002 e, portanto, dois meses depois da publicação da resolução CONAMA n°. 302 de 20 de março de 2002, que regulamenta as APPs em lagos artificiais. Desta forma, ao que tudo indica, a APP desta usina foi determinada pelo órgão ambiental responsável pelo licenciamento do empreendimento, área esta não considerada neste trabalho de pesquisa.

Tendo estas condições sido apresentadas, a área total analisada nesta pesquisa, considerando o lago e a APP, é de aproximadamente 128 km<sup>2</sup>, enquanto que o *buffer* de 100 metros gerado no entorno do lago abrange uma área de aproximadamente 61 km<sup>2</sup>.

Apesar das áreas apresentadas serem expressivas, os municípios de Minaçu, Cavalcante e Colinas, considerando somente o aspecto físico foram pouco afetados se considerada a área de seus territórios. Estas informações podem ser verificadas na tabela 04.

Tabela 04 - Área do município / área atingida / n° de parcelas

Município	Área territorial	Área atingida (Lago + APP)	Número de parcelas atingidas
Minaçu	2.860 km <sup>2</sup>	82,56 km <sup>2</sup>	116
Cavalcante	6.953 km <sup>2</sup>	93,31 km <sup>2</sup>	96
Colinas do Sul	1.708 km <sup>2</sup>	13,93 km <sup>2</sup>	2

Cavalcante é, dentre os três municípios atingidos, o que teve a maior área comprometida com a construção do empreendimento. A área atingida, considerando o lago e a APP é de aproximadamente 93 km<sup>2</sup>, porém observa-se a partir da tabela que este também é o município com a maior extensão territorial, 6.953 km<sup>2</sup>. Minaçu por sua vez foi o município que teve o maior número de parcelas atingidas, somando 116, o que pode ser justificado pela proximidade da sua área urbana com o lago.

Somando as parcelas atingidas dos três municípios, têm-se 214 unidades, ou seja, foram consideradas somente as parcelas atingidas pela de interesse definida nesta pesquisa. Deste modo, parte das parcelas constantes no dado vetorial disponibilizado pela Tractebel Energia não participará desta análise, visto que não interceptam o *buffer* de 100m de APP.

Das 214 propriedades avaliadas no período de 2003-2004, 64 parcelas tiveram suas APPs invadidas, entre 2005 e 2006 este número retrocedeu para 47 parcelas e no período de 2007 e 2008 o número de parcelas cujas APPs foram invadidas subiu para 88.

A partir da organização dos dados (ver tabelas 05 e 06) foi possível verificar que as invasões em APP vêm crescendo desde 2005, quando haviam retrocedido em relação ao ano anterior, 2004. Dentre o período analisado, 2003 a 2008, têm-se um total de 639 infrações notificadas, sendo 2008 o ano que apresenta o maior número delas, com 204 invasões. Verifica-se também a partir deste dado que houve parcelas cuja APP foi invadida mais de uma vez.

Quanto aos proprietários, verificou-se através dos dados que somente em 112 destes casos o ocupante da APP é o proprietário da área que foi atingida pelo enchimento do lago da UHE Cana Brava. Dos 527 casos restantes, 90 ocupantes são desconhecidos e 437 são outros atores, que não os ex-proprietários das áreas indenizadas. Conclui-se assim que a maioria das invasões tem como infrator um segundo ator.

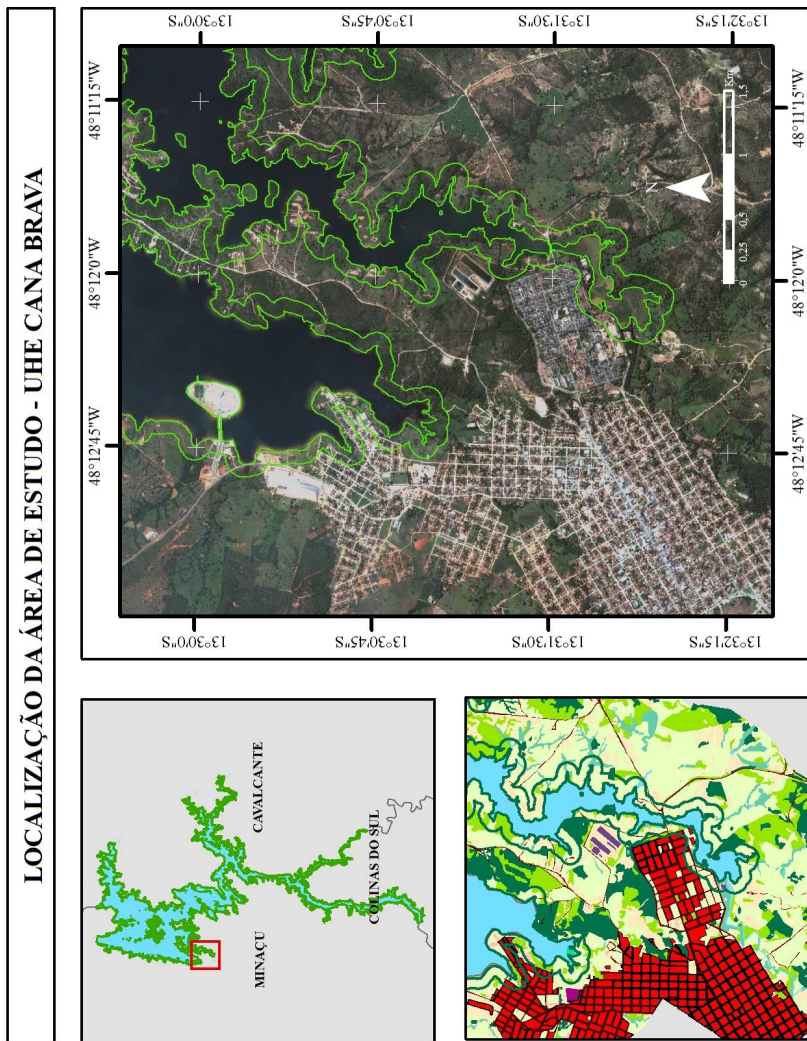
Dentro desta perspectiva indaga-se o nível de conhecimento que este ator tem da legislação que regulamenta as APPs em reservatórios, sendo que os mesmos podem não ter feito parte do processo de construção do empreendimento. Outro fator interessante que poderia ser levantado é a origem destes atores e sua renda para posteriormente avaliar a necessidade destas pessoas em ocupar estas áreas. Para tanto é necessário uma pesquisa amostral em campo, o que não foi possível realizar no período compreendido por este trabalho.

A partir do PIB per capita de 2009 dos três municípios atingidos, fez-se uma análise generalista comparando as condições econômicas de cada cidade e o número de invasões registradas em seu território. Os dados publicados pelo IBGE em 2009 indicam que Minaçu é o município, dentre os três, com maior PIB per capita, atingindo o valor de R\$ 19.398,21. Enquanto que Cavalcante e Colinas do Sul têm um PIB per capita de R\$ 17.891,77 e R\$ 5.360,35 respectivamente.

Apesar de Minaçu possuir menor área da APP em seu território que Cavalcante, é o município que apresenta o maior número de invasões conforme pode ser verificado na tabela 05. Se considerarmos a soma dos casos de invasões de todo o período analisado (2003 a 2008), este município apresenta 473 casos registrados de invasões, enquanto que Cavalcante apresenta 152 e Colinas do Sul somente 14. No entanto, está é uma análise que merece maior atenção uma vez que estes números não são condizentes com a escala dos dados coletados em campo.

Um fator particular do município de Minaçu é a localização de sua área urbana, que diferente dos outros dois municípios, foi atingida pela construção da usina, ficando desta forma muito próxima ao lago, como pode-se verificar na figura 36.

Figura 36 - Localização da área urbana do município de Minaçu



A área urbana de Minaçu parece ser uma variável importante quando da análise de elementos que facilitam a ocorrência das invasões em APP. Após a espacialização das invasões foi possível observar uma concentração de registros de incursões próximo a área urbana deste município. Esta condição pode ser verificada nas figuras 37, 38 e 39.

Tabela 05 - Ocorrência de invasões por município

Período	Minaçu	Cavalcante	Colinas do Sul	Total
2003 - 2004	119	52	2	173
2005 - 2006	137	33	2	172
2007 - 2008	217	67	10	294
<b>Total</b>	473	152	14	<b>639</b>

Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Nota: Dados organizados e tabulados pela autora

Referente às medidas jurídicas (registro de ocorrência, assinatura de Termo de Ajustamento de Conduta – TAC, aplicação de multa e notificação extrajudicial), que evoluíram após o registro de uma infração e que constam nos relatórios, somadas atingem 189 casos.

Deve-se atentar, no entanto, que estes números podem não representar o real cenário das autuações judiciais por se tratar de ações executadas por profissionais da área jurídica e, desta forma, não necessariamente todas as autuações judiciais estão descritas no material disponibilizado pela Tractebel Energia. Faz-se necessário ainda ressaltar que as informações disponibilizadas têm como fonte os relatórios de campo elaborados pela empresa contratada pela concessionária, e que estes tratam de forma específica do registro ambiental das condições do lago e seu entorno e não necessariamente das ações que são efetuadas após este registro. No entanto, julgou-se valiosa a informação por apresentar algumas das medidas que estão sendo tomadas após o processo de identificação das infrações.

Todos os dados apresentados podem ser melhor visualizados, inclusive considerando as ocorrências anuais do período em estudo, na tabela 06.

Tabela 06 - Ocorrência de invasões em APP

Ocorrências	Período Analisado						Total
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Invasões em APP	13	160	79	93	100	194	639
Número de ocorrências excluídas do estudo por falta do par de coordenadas ou erro na digitação dos relatórios	0	0	0	5	2	0	7
Ocupante da APP é o proprietário da parcela	0	49	13	13	15	22	112
Ocupante da APP é um segundo ator	13	107	61	79	66	111	437
Ocupante da APP é desconhecido	0	4	5	1	19	61	90
Registro de ocorrência	0	11	17	13	9	63	113
Registro de ocorrência / assinatura de TAC	0	1	1	0	0	1	3
Notificação extrajudicial / assinatura de TAC	0	3	0	0	0	0	3
Assinatura de TAC	1	34	11	7	0	0	53
Aplicação de multa	0	0	1	0	0	0	1
Notificação extrajudicial	0	3	9	1	2	1	16
Intervenções na APP que foram mantidas mesmo após o recebimento da notificação, ou ocorrência de nova intervenção no mesmo local	0	2	2	4	10	78	96

Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Nota: Dados organizados e tabulados pela autora

Figura 37 - Localização das invasões: 2003-2004

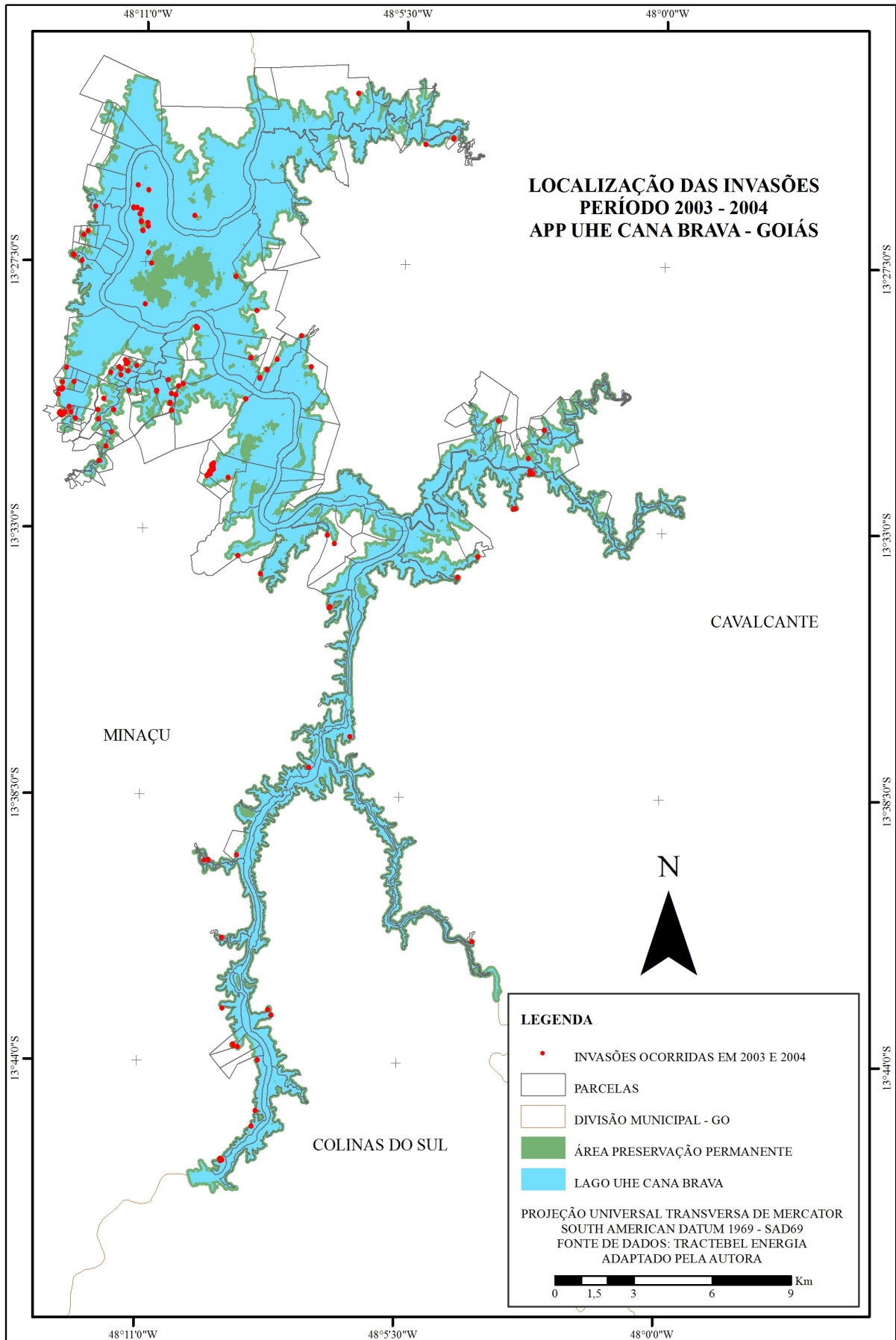


Figura 38 - Localização das invasões: 2005-2006

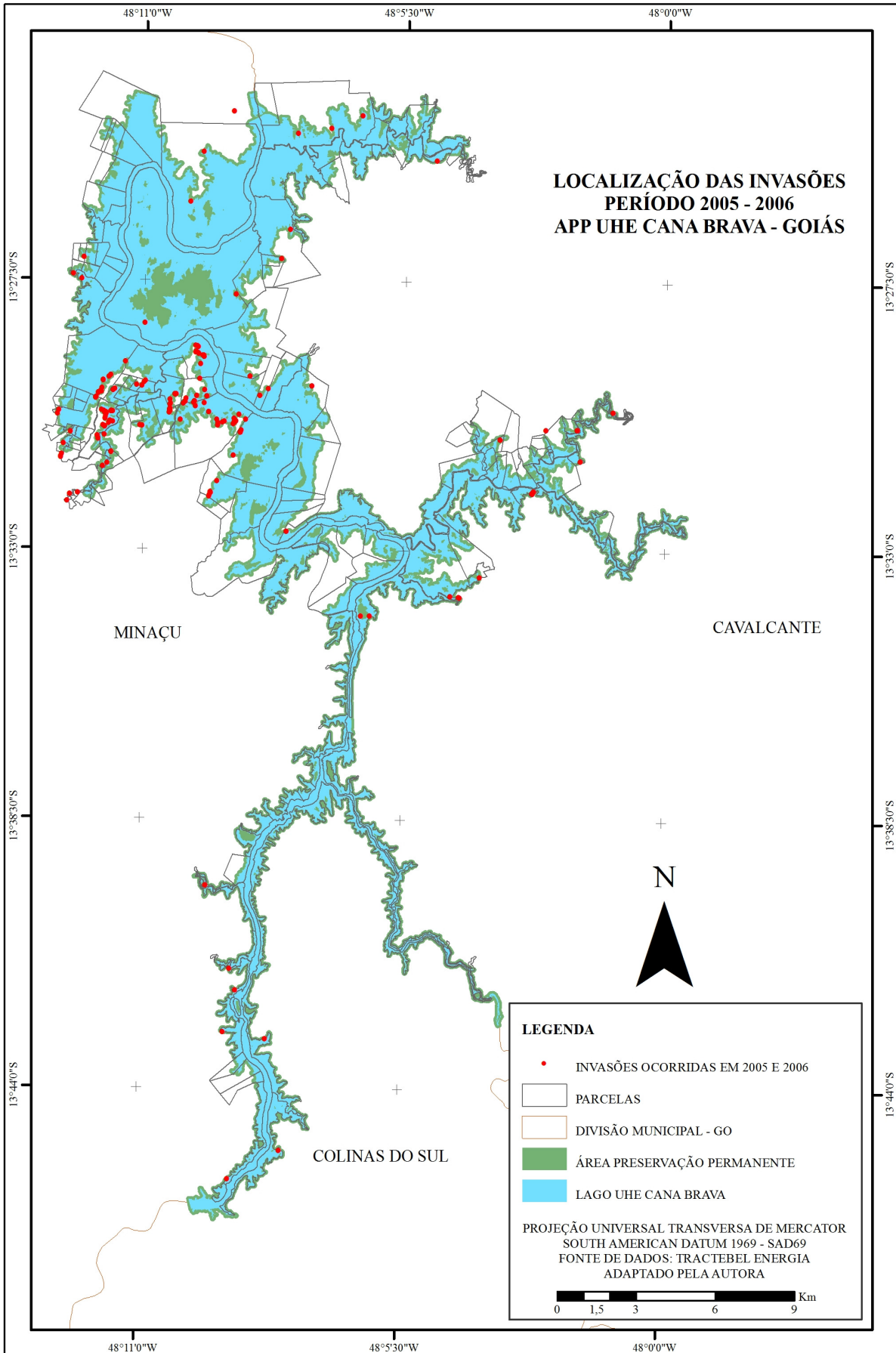
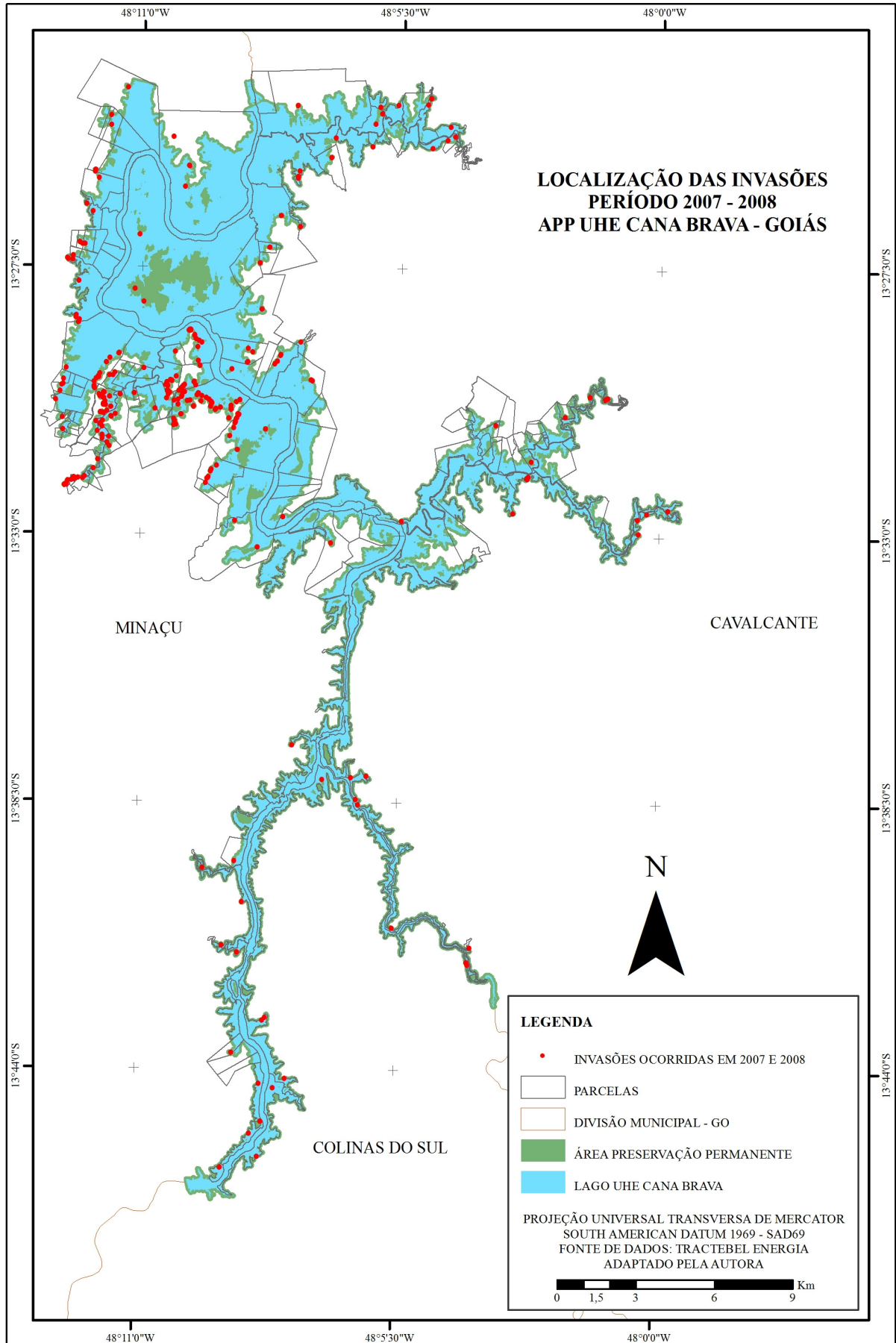




Figura 39 - Localização das invasões: 2007-2008



As invasões registradas, e posteriormente tabuladas e espacializadas, mostram que as intervenções em APP são diversificadas. Os documentos relatam casos de roçada em APP, gado solto, plantio de árvores nativas, aterro, depósito de materiais dentre muitos outros. Verificou-se também durante estas análises que algumas intervenções se repetiam mais do que outras. Desta forma, com o objetivo de melhor apresentá-las foi elaborada a tabela 07 que indica as intervenções mais comuns e a sua ocorrência durante o período avaliado.

Tabela 07 - Intervenções em APP classificadas

Provável utilização	Intervenções em APP	Período							Total	Total
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total		
Moradia e/ou abrigo	Casa (alvenaria / madeira / barro)	3	47	8	9	5	2	74	221	
	Barraco	5	8	9	24	19	18	83		
	Rancho	1	56	3	3	0	1	64		
Produção agropecuária	Cultivo	0	2	7	8	3	7	27	58	
	Galpão	0	13	0	0	1	1	15		
	Curral	0	9	3	1	1	2	16		
Lazer	Trapiche	0	12	8	6	12	43	81	131	
	Quiosque	0	5	4	9	3	7	28		
	Choupana	0	11	2	3	6	0	22		

Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Nota: Dados organizados e tabulados pela autora

Após o levantamento das intervenções fez-se uma subdivisão considerando a provável intenção destas invasões. Com base nos dados tabulados distribuíram-se as invasões em três grupos: edificações utilizadas para moradia ou abrigo, produção agropecuária e lazer. As intervenções relacionadas à moradia ou abrigo somam juntas 221 ocorrências, enquanto que lazer apresenta 131 ocorrências e produção agropecuária 58.

Estes números mostram que moradia e lazer, são fatores que se destacam em número de ocorrências. Enquanto que a produção agropecuária que era uma das hipóteses levantadas no início deste trabalho não se configura como ocorrência de maior relevância se comparados aos outros usos relatados no período.

Outras intervenções em APP também chamaram a atenção pelo número de vezes que foram relatadas, no entanto, estas não se enquadraram nas três categorias estabelecidas na tabela 07 por

atenderem a diferentes propósitos. Desta forma a tabela 08 apresenta estas ocorrências de modo individual.

Tabela 08 - Intervenções em APP

Intervenções em APP	Período						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total
Cerca	2	4	1	10	15	41	73
Acesso ao lago	0	3	14	4	13	18	52
Banheiros	0	11	2	2	3	1	19

Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Nota: Dados organizados e tabulados pela autora

As cercas em APP somam juntas 73 ocorrências enquanto que o acesso ao lago foi registrado em 52. Por fim a construção de banheiros soma 19 edificações.

Os registros fotográficos constantes nos relatórios retratam grandes discrepâncias entre as edificações construídas em APP. Pode-se encontrar na área edificações e equipamentos de lazer cuja construção se destaca pela qualidade, outras, no entanto, são edificações mais simples como, por exemplo, os barracos. Este cenário sugere que a condição econômica não parece ser uma variável tão relevante quando se trata de invasões na APP da UHE Cana Brava. Exemplos destas edificações podem ser visualizadas nas figuras 40 a 55.

Figura 40 - Casa de alvenaria



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 41 - Piscina



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 42 - Casa madeira



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 43 - Barraco



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 44 - Rancho



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 45 - Banheiro



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 46 - Galpão



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 47 - Curral



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 48 - Cerca



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 49 - Trapiche



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 50 - Quiosque



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 51 - Choupana



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 52 - Abertura de acesso ao lago na APP



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 53 - Aterro ligação ilha



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 54 - Cultivo de abacaxi



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia

Figura 55 - Chiqueiro



Fonte: Relatórios mensais – Tractebel Energia



## 5.2. AS PARCELAS E OS ELEMENTOS QUE COMPÕE A PAISAGEM

Como já apresentado no capítulo anterior, para identificar os potenciais e características presentes na paisagem que facilitam as invasões em APP foi utilizado o método de tabulação cruzada. Para a execução deste processo foram consideradas as classes de cobertura e uso do solo definidas no momento da vetorização. A nomenclatura de cada classe foi abreviada para facilitar a tabulação, desta forma seus significados são assim definidos:

<b>SV:</b>	Sistema viário	<b>CL:</b>	Campo limpo
<b>SE:</b>	Solo exposto	<b>MC:</b>	Mata ciliar
<b>CR:</b>	Cerradão	<b>ED:</b>	Edificação
<b>CC:</b>	Campo cerrado	<b>BA:</b>	Banhado
<b>CU:</b>	Cultura	<b>AU:</b>	Área urbana

A partir da tabulação cruzada executada, para o período de 2005 - 2006 com a cobertura e uso do solo de 2004, foi possível identificar 46 parcelas invadidas que contavam, em sua configuração, com uma área de cerradão (CR), repetindo-se o mesmo número para o campo cerrado (CC). Essa característica ainda pode ser notada nas outras duas tabulações cruzadas executadas para o período compreendido entre 2007 - 2008 com as vetorizações do uso do solo de 2004 e 2005 (ver tabela 09).

Na tabulação onde foi considerado a cobertura e uso do solo de 2004 (período 2005 - 2008), 85 parcelas apresentavam em sua configuração a classe cerradão e 83 campo cerrado enquanto que, com a vetorização do ano de 2005, este dado praticamente se repete apresentando 84 parcelas invadidas para cada uma das classes.

Sistema viário (SV) e campo limpo (CL) são as classes presentes em um maior número de parcelas depois do cerradão e do campo cerrado. Somando as três tabulações o sistema viário apresenta 187 parcelas e o campo limpo estava presente em 186. A classe solo exposto (SE) é o quinto elemento da paisagem presente em um maior número de lotes, apresentando no total 178 parcelas. Por fim, 113 parcelas apresentaram interferências em suas APPs tendo no ano anterior alguma edificação na sua configuração.

Os percentuais e as áreas em km<sup>2</sup> do cerradão e do campo cerrado são muito representativos se comparados aos percentuais das demais classes. Nos últimos dois anos analisados, 2007 e 2008, o

cerradão e o campo cerrado somaram juntos aproximadamente 88% da área das parcelas que sofreram invasão, reiterando assim a participação efetiva desta vegetação na paisagem da APP da UHE Cana Brava.

No entanto o que merece atenção nesta análise é a presença da classe denominada sistema viário em um grande número de parcelas, mesmo a sua participação sendo pequena quando comparada as outras classes (aproximadamente 1%).

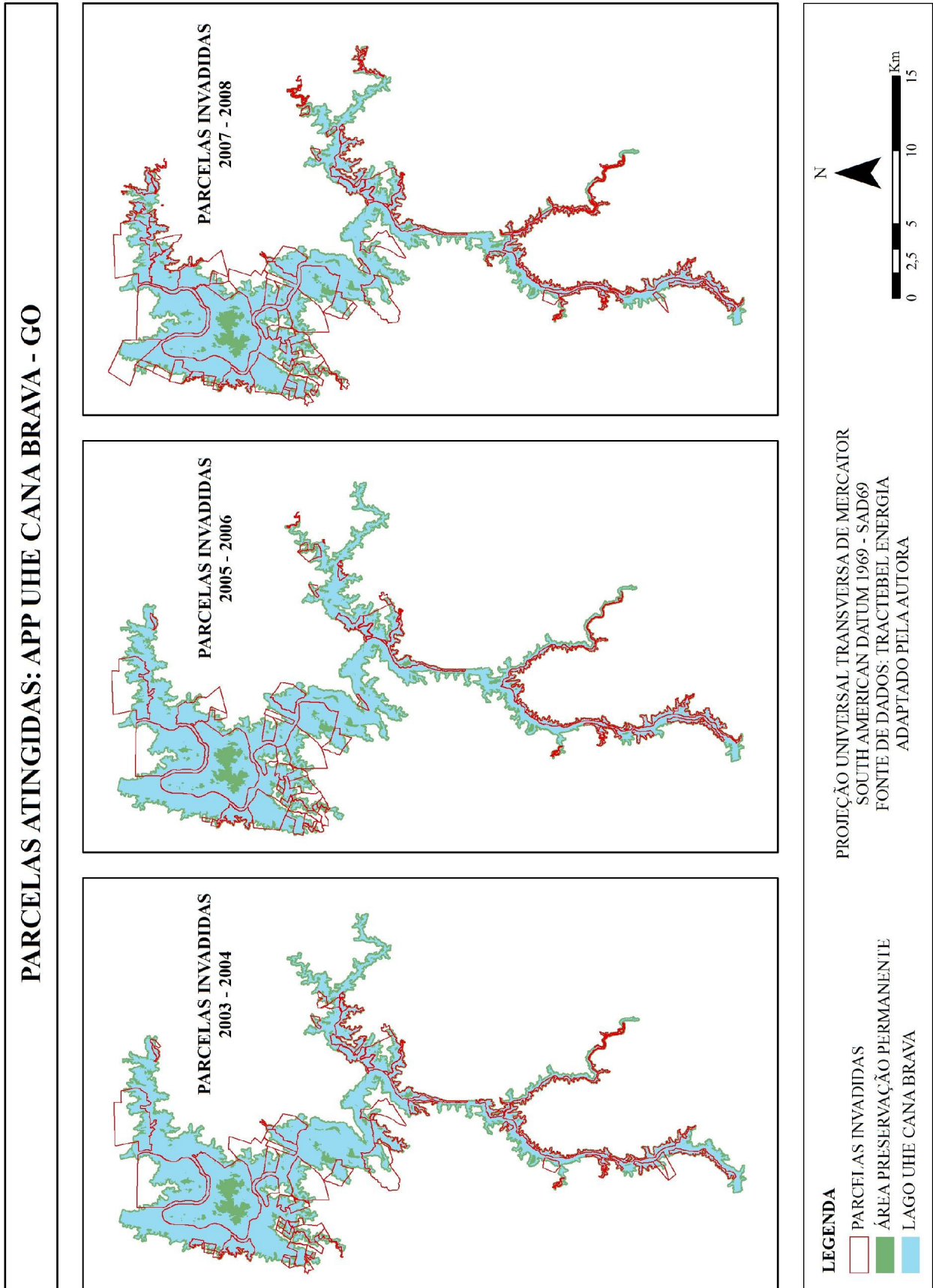
As demais classes, cultura (CU), mata ciliar (MC) e banhado (BA) são menos significativas. A área urbana (AU) por sua vez, é encontrada em somente uma parcela, o que se deve às APPs de áreas urbanas serem de 30 metros, e a APP considerada nesta pesquisa ser de 100 m.

Tabela 09 - Tabulação cruzada: parcela x uso do solo

Período Invasões (Cobertura Solo)	Unidade de medida	Classes de cobertura e uso do solo										Total
		SV	SE	CR	CC	CU	CL	MC	ED	BA	AU	
2005-2006 (CS - 2004)	Área (Km²)	0,206	0,625	12,117	5,934	0,471	1,709	0,054	0,019	0,001	0,001	21,136
	Participação (%)	0,97	2,96	57,33	28,07	2,23	8,08	0,26	0,09	0,01	0,01	100,00
	Nº de parcelas	40	44	46	46	10	45	17	30	1	1	
2007-2008 (CS - 2004)	Área (Km²)	0,283	0,891	16,074	7,567	0,654	2,548	0,073	0,074	0,019	0,010	28,194
	Participação (%)	1,00	3,16	57,01	26,84	2,32	9,04	0,26	0,26	0,07	0,04	100,00
	Nº de parcelas	73	72	85	83	21	75	26	41	3	1	
2007-2008 (CS - 2005)	Área (Km²)	0,288	0,605	17,244	7,689	0,953	1,323	0,044	0,065	0,036	0,012	28,258
	Participação (%)	1,02	2,14	61,02	27,21	3,37	4,68	0,15	0,23	0,13	0,04	100,00
	Nº de parcelas	74	62	84	84	31	66	11	42	5	1	
<b>Total:</b>		<b>187</b>	<b>178</b>	<b>215</b>	<b>213</b>	<b>62</b>	<b>186</b>	<b>54</b>	<b>113</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	

Das 214 parcelas analisadas, somente 112 delas sofreram algum tipo de intervenção em sua APP (ver figura 56). O que significa que em muitas parcelas a intervenção na APP foi recorrente. Nestas 112 propriedades foi executada uma tabulação cruzada com as características físicas da área em estudo, sejam elas: geologia, geomorfologia, solo e declividade conforme pode ser visualizado nas tabelas 10 a 13.

Figura 56 - Comparação número de parcelas invadidas

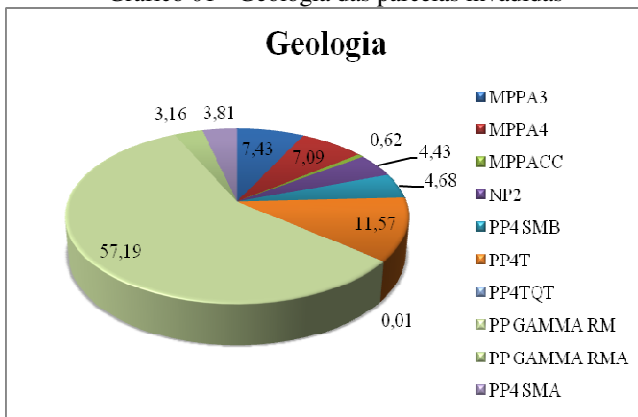


Grande parte das parcelas que sofreram interferências em suas APPs, 62 (ver tabela 10), estão localizadas em uma área cuja geologia corresponde ao Complexo Rio Maranhão (PP GAMMA RM), abrangendo assim 57% da área compreendida pelas parcelas invadidas. Destaca-se que esta não é uma rocha que origina solos férteis e sua localização, conforme pode ser verificado no mapa geológico apresentado na figura 06, corresponde a APP que tangencia a área urbana do município de Minaçu onde foi constatada maior concentração de registros de invasões. Na sequência têm-se 18 parcelas localizadas em uma área em que prevalecem rochas do grupo Paranoá (MPPA3) que, diferente do Complexo Rio Maranhão, desenvolve solos férteis. A distribuição da geologia nas parcelas que sofreram com invasões pode ser melhor visualizada no gráfico 01.

Tabela 10 - Tabulação cruzada: parcela x geologia

Unidade de medida	Classificação da geologia da área										
	MPPA3	MPPA4	MPPACC	NP2	PP4SMB	PP4T	PP4TQT	PP GAMMA RM	PP GAMMA RMA	PP4SMA	Total
Nº de parcelas	18	11	3	14	5	12	1	62	2	9	
Área (Km²)	2,32	2,21	0,19	1,38	1,46	3,61	0,00	17,84	0,99	1,19	31,20
Participação (%)	7,43	7,09	0,62	4,43	4,68	11,57	0,01	57,19	3,16	3,81	100,00

Gráfico 01 - Geologia das parcelas invadidas



Das 112 parcelas invadidas 72 ocorreram na unidade de relevo Superfície Regional de Aplainamento - SRAIVA que esta associada a morros e colinas. São unidades que normalmente apresentam pouca declividade e rochas que podem dar origem a bons solos para uso agrícola. Estas condições podem ser melhor visualizadas na tabela 11.

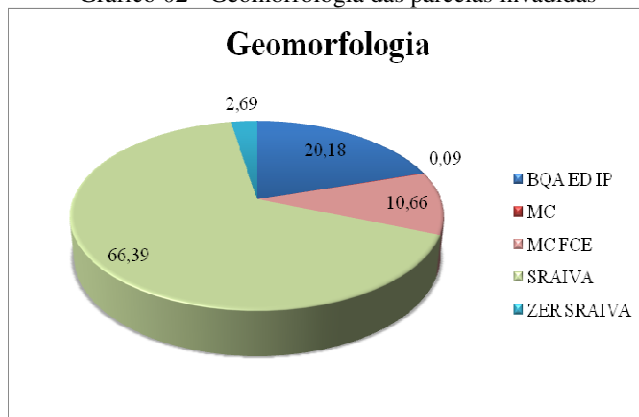
Assim como ocorre com o Complexo Rio Maranhão, a SRAIVA, que abrange 66,39% (ver gráfico 02) das áreas que sofrerão invasão, também compreende a APP localizada junto à área urbana do município de Minaçu, conforme retratado na figura 07.

Diferente da unidade SRAIVA, 28 parcelas estão localizadas na unidade de relevo de Estrutura Dobrada – ED (BQA ED IP), que por apresentar morros, colinas e estruturas dômicas, constitui belas paisagens. Entretanto é considerado um relevo desfavorável para utilização uma vez que possui declividades acentuadas e afloramento rochosos. Esta unidade de relevo é encontrada no município de Cavalcante, que se configura como o segundo município com maior registro de invasões.

Tabela 11 - Tabulação cruzada: parcela x geomorfologia

Classificação da geomorfológica - parcelas que sofreram invasão						
Unidade de medida	BQA ED IP	MC	MC FCE	SRAIVA	ZER SRAIVA	Total
Nº de parcelas	28	1	16	72	9	
Área (Km <sup>2</sup> )	6,44	0,03	3,40	21,17	0,86	31,89
Participação (%)	20,18	0,09	10,66	66,39	2,69	100,00

Gráfico 02 - Geomorfologia das parcelas invadidas



Os solos que compreendem maior participação nas parcelas invadidas, 100 unidades que corresponde a aproximadamente 87% da área das parcelas sofreram algum tipo de intervenção, é o Argisolo (ver tabela 12 e gráfico 03). Conhecido por serem solos razoavelmente férteis, desde que sejam feitas as correções da acidez e adubação esta

classe se concentra na APP próxima a área urbana do município de Minaçu.

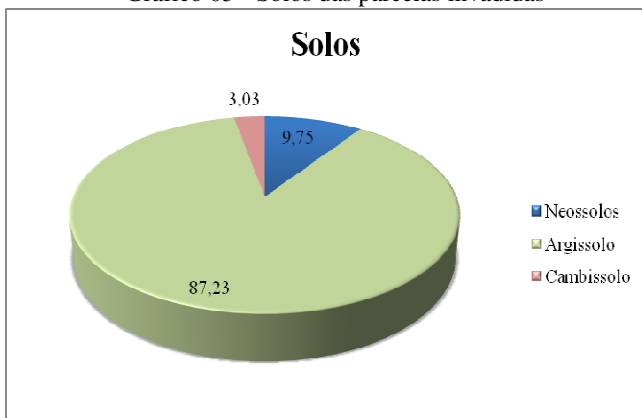
Como já verificado nas características geológicas e geomorfológicas que apresentam maior participação na paisagem das parcelas invadidas, estes dados confirmam que o padrão de invasão está muito mais relacionado à proximidade com a área urbana do que com as características físicas da região.

O Neossolo Litólico é o segundo solo encontrado em um maior número de parcelas, estando presente em 22 lotes. São solos normalmente encontrados em morros, serras e sopés de chapadas, onde as declividades são muito acentuadas não conseguindo por este motivo desenvolver um manto de alteração.

Tabela 12 - Tabulação cruzada: parcela x solo

Classificação do solo - parcelas que sofreram invasão				
Unidade de medida	Neossolos	Argissolo	Cambissolo	Total
Nº de parcelas	22	100	11	
Área (Km²)	3,11	27,82	0,97	31,90
Participação (%)	9,75	87,23	3,03	100,00

Gráfico 03 - Solos das parcelas invadidas



Referente à declividade, verificou-se a partir da tabulação cruzada que poucas são as parcelas que sofreram interferência na APP que tem em sua constituição o relevo escarpado, apenas seis que correspondem a uma área de aproximadamente 0,002 km². Conforme pode ser visualizado na tabela 13, todas as 112 parcelas apresentam em sua

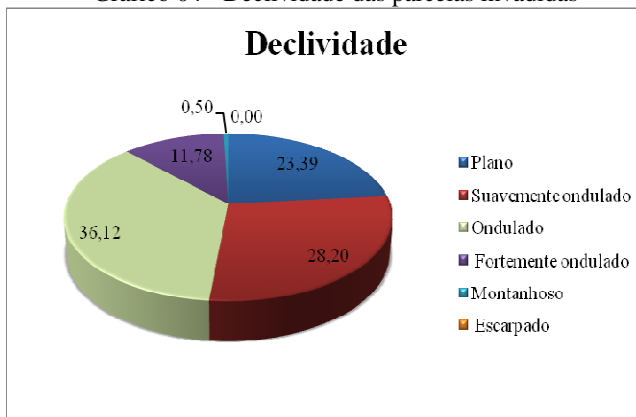
constituição um relevo plano ou suavemente ondulado, tendo 109 uma participação do relevo ondulado e 103 do relevo fortemente ondulado. Enquanto que o relevo dito montanhoso pode ser encontrado em 78 parcelas. O gráfico 04 mostra com clareza esta distribuição mais homogênea das três primeiras classes de relevo (plano, suavemente ondulado e ondulado).

A análise dos dados de declividade sugere que as propriedades tem sua paisagem constituída por diferentes formas de relevo não podendo ser reconhecido assim um padrão de declividade que indique maior suscetibilidade das parcelas sofrerem interferência em suas APPs.

Tabela 13 - Tabulação cruzada: parcela x declividade

Unidade de medida	Declividade - parcelas que sofreram invasão						Total
	0 - 3 %	3 - 8 %	8 - 20 %	20 - 45 %	45 - 75 %	> 75 %	
	Plano	Suavemente ondulado	Ondulado	Fortemente ondulado	Montanhoso	Escarpado	
Nº de parcelas	112	112	109	103	78	6	
Área (Km²)	7,18	8,66	11,09	3,62	0,15	0,00	30,71
Participação (%)	23,39	28,20	36,12	11,78	0,50	0,00	100,00

Gráfico 04 - Declividade das parcelas invadidas



### 5.3. ANÁLISE DOS DADOS TEMPORAIS GERADOS A PARTIR DA VETORIZAÇÃO DO USO DO SOLO

Os dados originados da vetorização do uso e cobertura do solo foram comparados de modo a verificar a evolução da paisagem durante o período analisado. Para tanto foram consideradas as vetorizações de 2004, 2005 e 2008.

Para esta análise as classes vetorizadas foram separadas em dois grupos (que compõe as tabelas 14, 15 e 16):

- Grupo 01 - classes vetorizadas que tem origem em ações humanas (AU, CU, ED, SV e SE);
- Grupo 02 - classes que supostamente não apresentam interferência do homem (BA, CC, CL, CR e MC).

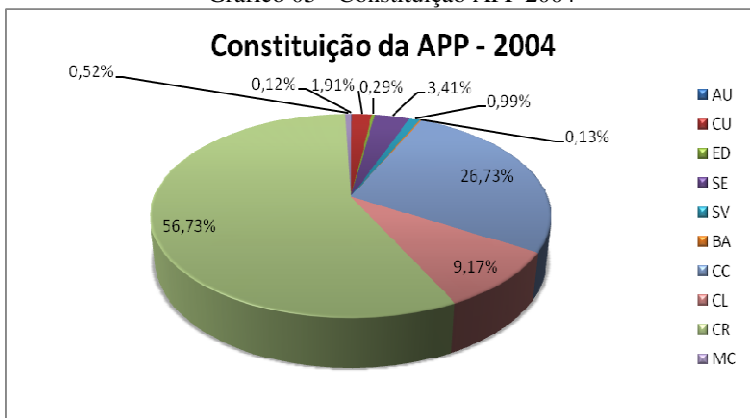
Referente à tabela que trata da cobertura e uso do solo de 2004 verifica-se que o solo exposto (SE) se destaca na participação do grupo 01, atingindo aproximadamente 50% da área, seguido da cultura (CU) com 28,36%. No grupo 02 o cerrado (CR) é a classe que predomina na APP com 60,82%. O campo cerrado (CC) é a segunda classe com maior participação sendo encontrado em 28,66% da área. Na tabela 14 e gráfico 05 pode ser visualizada a participação de cada classe na constituição da APP da UHE Cana Brava no ano de 2004.

Tabela 14 - Cobertura e uso do solo 2004

Cobertura e uso do solo 2004					
	Classes	Área (km <sup>2</sup> )	% Total	% APP	% Grupo
Grupo 01	AU	0,08	0,04	0,12	1,82
	CU	1,17	0,62	1,91	28,36
	ED	0,18	0,09	0,29	4,33
	SE	2,10	1,11	3,41	50,70
	SV	0,61	0,32	0,99	14,79
	<b>Total</b>	<b>4,14</b>	<b>2,18</b>	<b>6,73</b>	<b>100,00</b>
Grupo 02	BA	0,08	0,04	0,13	0,14
	CC	16,46	8,68	26,73	28,66
	CL	5,64	2,98	9,17	9,83
	CR	34,94	18,42	56,73	60,82
	MC	0,32	0,17	0,52	0,56
	<b>Total</b>	<b>57,44</b>	<b>30,29</b>	<b>93,27</b>	<b>100,00</b>
	<b>Total (APP)</b>	<b>61,58</b>	<b>32,48</b>	<b>100,00</b>	
	CA	128,05	67,52		
	<b>Total (APP/CA)</b>	<b>189,63</b>			



Gráfico 05 - Constituição APP 2004

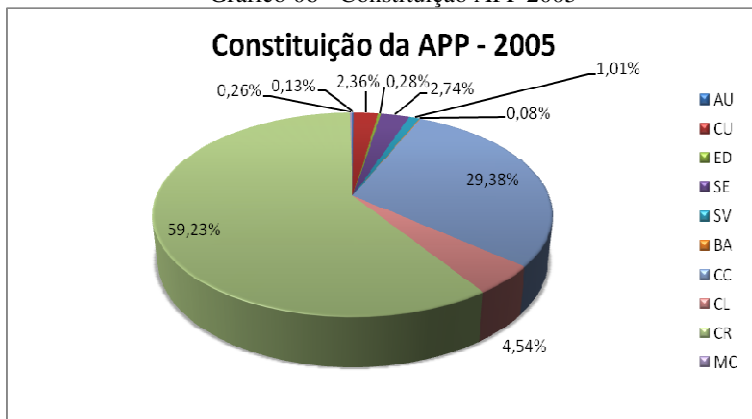


A vetorização da cobertura e uso do solo de 2005 (tabela 15 e gráfico 06) mostrou que neste ano, o SE e a CU declinaram, porém continuam sendo as classes que tem maior participação no grupo 01 com 42,15% e 36,19% respectivamente. O grupo 02, por sua vez, não apresentou uma variação, mantendo as mesmas classes com maior participação, CR participando com 63,36% e o CC com 26,75. A partir da análise dos dados verificou-se que a mudança entre as vetorizações dos anos de 2004 e 2005 são poucos significativas, o que já era esperado visto que a janela temporal é curta. O gráfico 05 mostra a participação de cada classes na composição da APP.

Tabela 15 - Cobertura e uso do solo 2005

		Cobertura e uso do solo 2005			
Classes		Área (km²)	% Total	% APP	% Grupo
Grupo 01	AU	0,08	0,04	0,13	1,96
	CU	1,45	0,76	2,36	36,19
	ED	0,17	0,09	0,28	4,25
	SE	1,69	0,89	2,74	42,15
	SV	0,62	0,33	1,01	15,44
	<b>Total</b>	<b>4,00</b>	<b>2,11</b>	<b>6,51</b>	<b>100,00</b>
Grupo 02	BA	0,05	0,03	0,08	0,09
	CC	18,07	9,54	29,38	31,42
	CL	2,79	1,47	4,54	4,86
	CR	36,44	19,23	59,23	63,36
	MC	0,16	0,08	0,26	0,28
	<b>Total</b>	<b>57,51</b>	<b>30,35</b>	<b>93,49</b>	<b>100,00</b>
<b>Total (APP)</b>		<b>61,52</b>	<b>32,47</b>	<b>100,00</b>	
CA		127,96	67,53		
<b>Total (APP/CA)</b>		<b>189,48</b>			

Gráfico 06 - Constituição APP 2005



Devido à janela temporal de quatro anos (intervalo entre 2004 e 2008) a tabela 16 com os dados de cobertura e uso do solo de 2008 apresenta alterações significativas, quanto a participação de cada classe (ver gráfico 07), no entanto não traz mudança nas classes mais representativas indicadas nas outras duas vetorizações já explanadas. Solo exposto e cultura continuam sendo as duas classes que apresentam maior participação no grupo 01, no entanto, verifica-se que a participação do solo exposto subiu consideravelmente com relação ao ano de 2005, abrangendo 66,60% da área do grupo 01. Em contraponto as culturas diminuíram de 36,19% em 2005 para 13,91% em 2008.

No grupo 02 constata-se o mesmo cenário, as classes de cobertura e uso do solo mais significativas continuam sendo o CR e o CC. Outro dado interessante é a participação do banhado (BA) que em 2004 e 2005 se mantinha estável e que cresceu 131% em 2008, conforme verificado no gráfico 08. O aumento da participação desta classe, e da classe do solo exposto apresentado anteriormente, está relacionado à sazonalidade do clima. Como pode ser visualizado na figura 57, no ano de 2008 houve uma diminuição do nível da água do reservatório, fator responsável pelo aumento do SE e do BA. Este último é resultado não só da redução do nível da água do reservatório que, por consequência, diminuiu o barramento dos afluentes, como também em função da diminuição da vazão dos corpos d'água que circundam o reservatório.

A informação mais relevante trazida por este dado é que o aumento de SE foi resultado direto da falta de precipitação na área, não

tendo assim relação com atividades antrópicas, conforme define o grupo 01 em que esta classe foi inserida.

Tabela 16 - Cobertura e uso do solo 2008

Cobertura e uso do solo 2008						
Classes	Área (km²)	% Total	% APP	% Grupo		
Grupo 01	AU	0,08	0,04	0,12	1,89	
	CU	0,58	0,31	0,90	13,91	
	ED	0,19	0,10	0,29	4,55	
	SE	2,78	1,46	4,31	66,60	
	SV	0,54	0,29	0,85	13,06	
	<b>Total</b>	<b>4,17</b>	<b>2,20</b>	<b>6,47</b>	<b>100,00</b>	
Grupo 02	BA	0,18	0,10	0,28	0,30	
	CC	16,12	8,50	25,02	26,75	
	CL	4,47	2,36	6,94	7,42	
	CR	39,26	20,70	60,95	65,17	
	MC	0,22	0,11	0,34	0,36	
	<b>Total</b>	<b>60,25</b>	<b>31,76</b>	<b>93,53</b>	<b>100,00</b>	
<b>Total (APP)</b>	<b>64,42</b>	<b>33,96</b>	<b>100,00</b>			
CA	125,26	66,04				
<b>Total (APP/CA)</b>	<b>189,68</b>					

Gráfico 07 - Constituição APP 2008

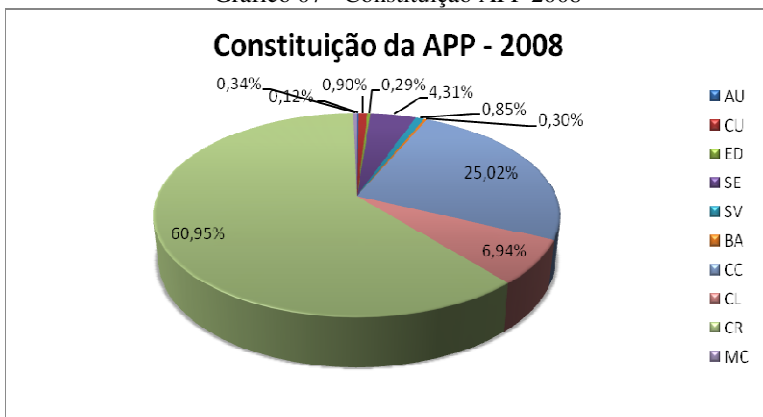
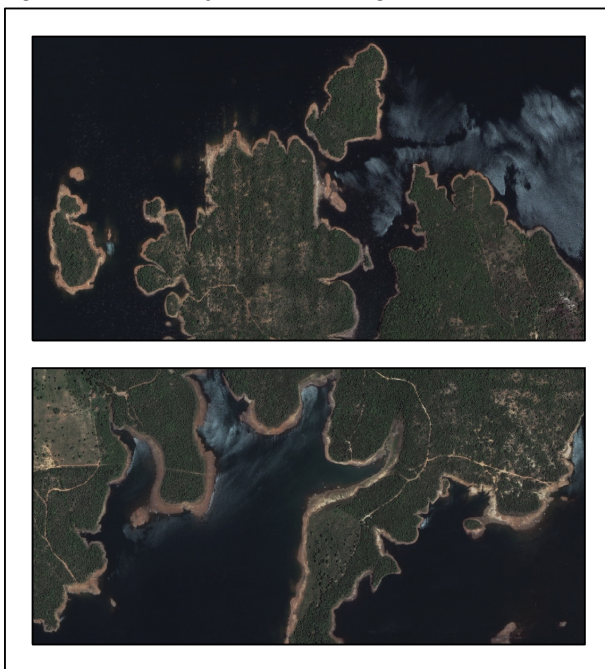


Figura 57 - Diminuição do nível de água no reservatório: SE

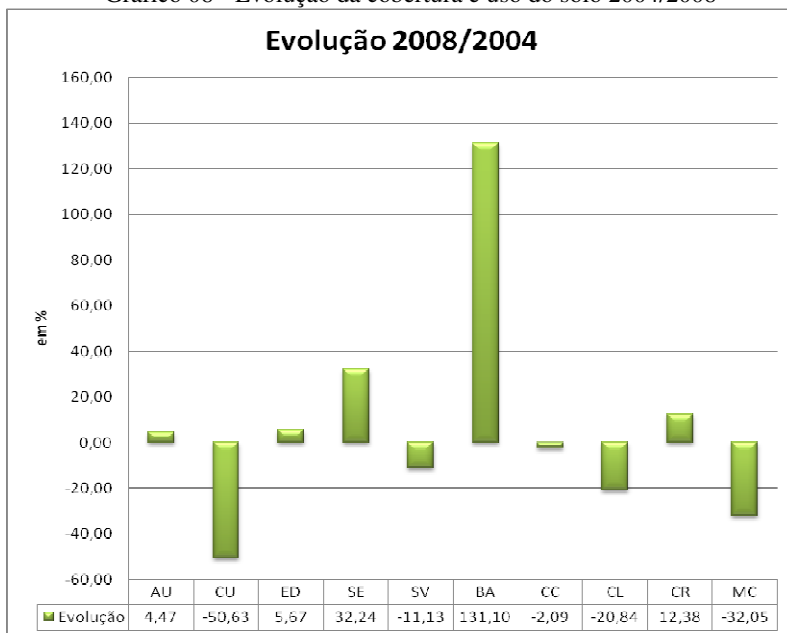


Fazendo uma análise mais geral verifica-se que o grupo 01 manteve-se praticamente estável (com um aumento de apenas 0,13 km), tendo o aumento de AU, ED e SE sido compensados pela queda significativa de CU (50,63%).

Observa-se ainda um crescimento constante e significativo do cerradão, elemento com maior participação na APP (ver gráfico 07). Entre 2004 e 2008 esta classe aumentou sua participação na APP de 56,73% em 2004 para 60,95% em 2008, resultando num acréscimo de 4,33 km<sup>2</sup> no período em estudo. Este aumento pode ser resultante da gradual transformação de CL (queda de 20,84%) em CC (queda de 2,09%) e deste em CR.

No gráfico 08, que apresenta a evolução da cobertura e uso do solo para uma janela temporal de 04 anos (2004-2008), pode-se verificar a diminuição de participação das classes CU, SV, CC, CL e MC, enquanto que AU, ED, SE, BA e CR aumentaram.

Gráfico 08 - Evolução da cobertura e uso do solo 2004/2008



## 5.4. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES E CENÁRIOS FUTUROS GERADOS A PARTIR DO SOFTWARE DINAMICA EGO

### 5.4.1 Transições nas classes de uso e cobertura do solo

Como já apresentado no item 4.4.1 - conversões e adequações necessárias ao processo de modelagem, houve necessidade de rever a classificação do uso e cobertura do solo para ser possível executar a modelagem, calibração e simulação do sistema no software Dinamica Ego.

A última classificação adotada é, em parte, resultado das análises geradas a partir da evolução da paisagem de 2004 para 2008. Onde pode ser verificado que o solo exposto deveria sair do grupo 01, pois o crescimento da sua área de ocorrência em 2008 não era resultado de ações humanas e sim da sazonalidade do clima. Pelo mesmo motivo do solo exposto, o banhado também apresentou um aumento significativo de área e a cultura foi à classe que apresentou a maior queda de área entre 2004 e 2008.

Estas mudanças influenciaram sobremaneira na calibragem do sistema, desta forma, foi criada uma quarta classe composta por estes três elementos, que não serão considerados na análise das simulações. O objetivo desta ação é minimizar a influência destas classes no processo, visto que suas mudanças não apresentam um padrão, impossibilitando assim o processo de calibragem do sistema. A composição de cada classe foi assim estabelecida:

- Classe 01: classes vetorizadas que tem origem a partir de ações antrópicas, tais quais: área urbana, edificação e sistema viário;
- Classe 02: classes que supostamente não são resultantes de interferência humana: campo cerrado, campo limpo, cerradão e mata ciliar;
- Classe 03: representa o corpo hídrico;
- Classe 04: composta pelos vetores classificados como: banhado, cultura e solo exposto.

Os mapas de uso e cobertura do solo considerando esta classificação são apresentados junto com o mapa resultante do processo de simulação e calibragem, sob a denominação “landscape\_simulacao”, (Anexo - CD-ROM).

Desta forma serão consideradas no processo de modelagem e simulação duas classes: classe 01 que é composta por áreas que sofreram interferência humana e classe 02 que representa as áreas que não apresentam esta interferência.

Os produtos resultantes do primeiro processo executado foram as matrizes que determinam os percentuais de mudança de estado das células que compõe a paisagem, a “single step transition matrix”, que é apresentada na tabela 17.

Tabela 17 - Cobertura e uso do solo 2004 - 2008

Single Step Transition Matrix:				
From \ To	1	2	3	4
1	XXXX	0.3751603	0.0089125	0.1353552
2	0.0040163	XXXX	0.0196447	0.0124068
3	0.0000217	0.0047958	XXXX	0.0002774
4	0.0201011	0.7008645	0.0158589	XXXX

A tabela 17 é resultado da tabulação cruzada dos mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 2004 e 2008. A partir dos números apresentados é possível verificar que houve uma transição de

aproximadamente 37% de células da classe 01 para classe 02. Isso quer dizer que a classe 01, que nesta pesquisa corresponde a áreas antropizadas, cedeu espaço para a classe 02 que representa o campo cerrado, campo limpo, cerradão e mata ciliar. Enquanto que a transição contrária, da classe 02 para a classe 01 foi de 0,4%. A classe 04, que compreende as áreas que não serão consideradas no processo, por motivos já abordados, apresentou uma transição para a classe 02 de 70%.

O resultado obtido a partir da matriz de transição confere com o que já havia sido observado na análise da mudança da paisagem que ocorreu entre 2004 e 2008. Que a classe 01, considerando somente o sistema viário, área urbana e edificação pouco cresceu no período analisado, enquanto que a classe 02 apresentou um crescimento expressivo.

#### **5.4.2 Modelagem / Simulação / Validação do modelo**

As etapas 02 e 03 geram as chamadas “faixas de distância” em relação às variáveis inseridas no sistema, para a obtenção dos pesos de evidência. Como resultado obteve-se as matrizes “*single-step*” e “*multi-step*”. A “faixa de distância” trabalhada nesta pesquisa corresponde ao tamanho do *pixel* dos dados *rasters* que é de 5 metros.

O resultado do processo de obtenção dos pesos de evidência em cada faixa de distância em relação com cada uma das variáveis permite compreender a sua contribuição na ocorrência de uma transição. Portanto, entende-se que a relação de dada variável que apresenta pesos positivos de evidência favorece a ocorrência da transição, enquanto que pesos negativos a repelem. Valores de pesos nulos, por sua vez, são desconsiderados, visto que não são relevantes na construção do modelo. O resultado desta etapa pode ser verificado nas tabelas 18 e 19.

A etapa 04 consiste na seleção das variáveis que constituirão o modelo. O Dinamica Ego verifica a existência de dependência espacial entre as variáveis com base nos Índices de Cramer e da Incerteza da Informação Conjunta. O resultado desta etapa pode ser visualizado na tabela 20.

Esta etapa indicou, considerando os valores de Incerteza da Informação Conjunta, que a geomorfologia é a variável que apresentava maior valor de correlação, sendo necessário excluí-la do processo de modelagem.

O modelo de simulação executado na etapa 05 utilizou os dados gerados nas etapas anteriores para produzir um mapa que deve

apresentar uma configuração próxima ao mapa do uso e cobertura do solo de 2008 (mapa final).

O resultado do modelo de simulação executado no processo 05 deve ser validado pelo índice de similaridade *fuzzy* (índice interno do software) que compreende as etapas 06 e 07. O Dinamica Ego calcula este índice de similaridade baseado em algoritmos que compreendem a função de decaimento constante e a de decaimento exponencial. Para tanto, ele se utiliza das diferenças encontradas entre o mapa final (2008) e o mapa inicial (2004), e do mapa simulado para o mapa inicial (BENEDETTI, 2010). Este índice define se o modelo pode ser utilizado para a simulação de cenários futuros. O modelo gerado nesta pesquisa apresentou uma similaridade próxima a 53%.

Nas etapas 08 e 09 os algoritmos de transição *expander* e *patcher* são responsáveis pela alocação das classes no mapa simulado. O *expander* é responsável pela expansão das manchas enquanto que o *patcher* trata do processo de contração. É a partir destes algoritmos que os parâmetros são calibrados, considerando a variância, o tamanho médio de manchas e sua isometria.

Tabela 18 - Pesos de evidência (geologia e geomorfologia)

Transition: 2->1 Variable: static_var/geologia						
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?	
1 <= v < 2	545057	935	-0.885665	-1.06194	yes	
2 <= v < 3	370694	343	-1.50376	-1.64976	yes	
3 <= v < 4	154379	625	-0.0246401	-0.0264649	no	
4 <= v < 5	758189	6352	0.706968	1.46762	yes	
5 <= v < 6	236203	519	-0.637626	-0.692578	yes	
6 <= v < 7	26037	107	-0.00960958	-0.00972349	no	
7 <= v < 8	37519	23	-1.91578	-1.93044	yes	
8 <= v < 15	55495	272	0.167385	0.172081	yes	
15 <= v < 16	28257	1	-4.76834	-4.78115	yes	
	2211830	9177				
Transition: 2->1 Variable: static_var/geomorfologia						
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?	
1 <= v < 2	775358	1607	-0.696662	-0.936894	yes	
2 <= v < 3	84228	130	-0.991994	-1.01664	yes	
3 <= v < 4	450520	791	-0.862883	-1.00111	yes	
4 <= v < 5	2261	14	0.401925	0.40243	no	
5 <= v < 15	898561	6643	0.580409	1.34621	yes	
15 <= v < 16	1732	0	~ 0	~ 0	no	
	2212660	9185				



Tabela 19 - Pesos de evidência (solo e declividade)

Transition: 2->1 Variable: static_var/soil						
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?	
1 <= v < 2	427248	750	-0.862651	-0.992441	yes	
2 <= v < 3	30617	657	1.6607	1.72122	yes	
3 <= v < 15	1754710	7781	0.0667087	0.371894	yes	
15 <= v < 16	1732	0	~ 0	~ 0	no	
	2214307	9188				
Transition: 2->1 Variable: static_var/Mayer_0						
Range	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant?	
0 <= v < 1	339556	1827	0.261099	0.316568	yes	
1 <= v < 2	2093	17	0.675683	0.676593	yes	
2 <= v < 3	5954	36	0.378433	0.379672	yes	
3 <= v < 5	32600	308	0.828193	0.847538	yes	
5 <= v < 13	449747	3341	0.585709	0.811487	yes	
13 <= v < 15	122893	704	0.324122	0.346834	yes	
15 <= v < 16	60030	280	0.117533	0.121013	yes	
16 <= v < 23	352052	1369	-0.0651342	-0.0769879	yes	
23 <= v < 24	41769	132	-0.273275	-0.277866	yes	
24 <= v < 27	111822	269	-0.546876	-0.569072	yes	
27 <= v < 28	33536	65	-0.763379	-0.771575	yes	
28 <= v < 49	425562	641	-1.01596	-1.15769	yes	
49 <= v < 50	11144	5	-2.2281	-2.23262	yes	
50 <= v < 2.14748e+009	209352	114	-2.03436	-2.12157	yes	
	2214372	9188				

O índice de isometria é dado por um “valor numérico a ser multiplicado pelo valor de probabilidade das oito células de uma dada janela de vizinhança utilizada pelos algoritmos *expander* e *patcher*, antes da aplicação da regra de transição” (BENEDETTI, 2010, p. 119). Este índice define manchas mais compactas de acordo com o aumento do valor numérico, enquanto que valores próximos a zero implicam em maior fragmentação.

Na realidade a definição dos parâmetros é influenciada pelo “*feeling*” do usuário do sistema sobre a dinâmica da área. A definição dos parâmetros utilizados nesta etapa são em parte resultantes das análises comparativas de evolução da paisagem, que ocorreu no período de 2004 e 2008, e da observação do mapa simulado com o mapa do uso e cobertura do solo de 2008.

Os índices finais definidos, tanto para o *expander* quanto para o *patcher*, seguem descritos abaixo:

- Média (ha) - 0,0005 (tamanho do pixel em hectares)
- Variância (ha) - 0
- Isometria – 1

O mapa gerado, denominado “Simulação”, segue anexo (CD-ROM - landscape\_simulacao) junto com os mapas de uso e ocupação do solo de 2004 e 2008. As figuras 58 e 59 trazem exemplos do resultado obtido a partir da calibração e posterior validação da simulação.

Tabela 20 - Resultado do processo de dependência entre as variáveis

Transition: Z>1		Cramer				Entropy	
First Variable	Second Variable	Chi-2	Cramer*	Contingency	Joint Entropy	Joint Information*	Entropy Uncertainty
distance/distance_to_1	static_var/geologia	1.86081e+006	0.149923	0.390398	4.76776	0.0357953	
distance/distance_to_1	static_var/geomorfologia	1.10964e+006	0.171159	0.357439	4.6304	0.0308703	
distance/distance_to_1	static_var/soil	1.07133e+006	0.217087	0.351949	4.43592	0.0293162	
distance/distance_to_1	static_var_I/layer_0	262752	0.0480788	0.183062	5.63545	0.00525583	
static_var/geologia	static_var/geomorfologia	1.76105e+007	0.682227	0.836328	1.3139	0.790104	
static_var/geologia	static_var/soil	9.13094e+006	0.634159	0.739451	1.31941	0.66105	
static_var/geologia	static_var_I/layer_0	1.60079e+006	0.162601	0.417834	3.02078	0.06255811	
static_var/geomorfologia	static_var/soil	9.0824e+006	0.632146	0.739384	1.14782	0.73855	
static_var/geomorfologia	static_var_I/layer_0	1.6144e+006	0.206442	0.419118	2.87031	0.0656833	
static_var/soil	static_var_I/layer_0	1.17833e+006	0.227661	0.366831	2.69223	0.054266	

Figura 58 - Resultado da calibragem do sistema / Ilha

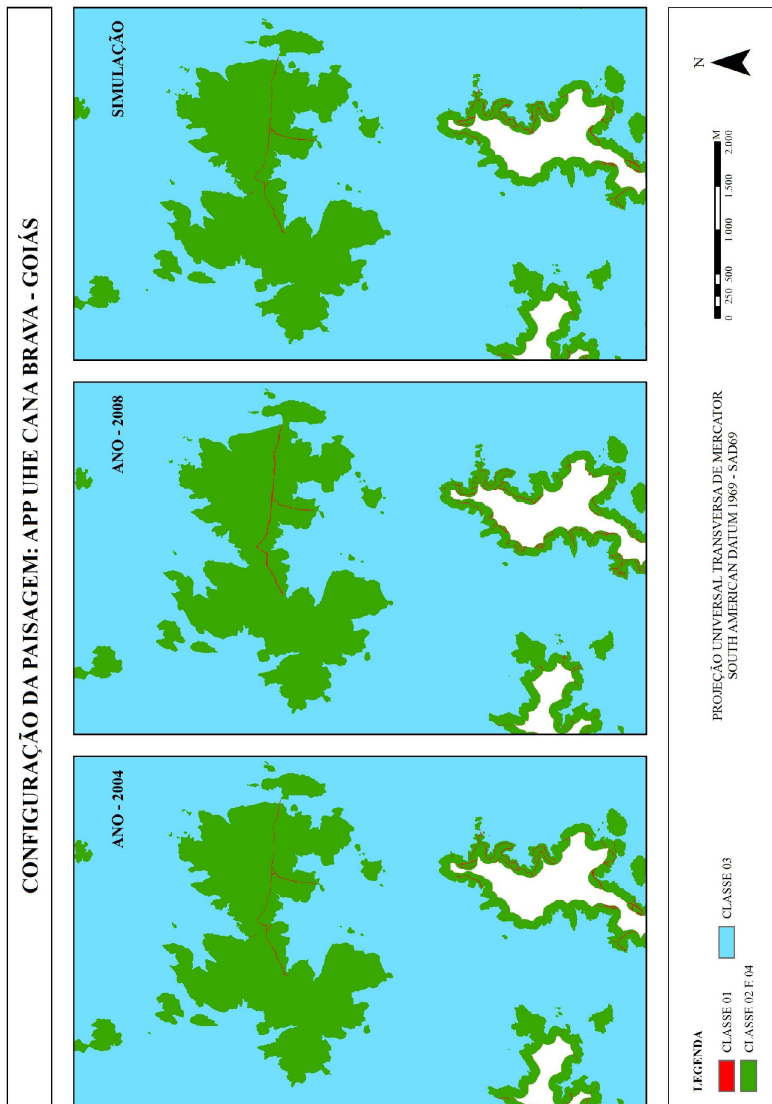
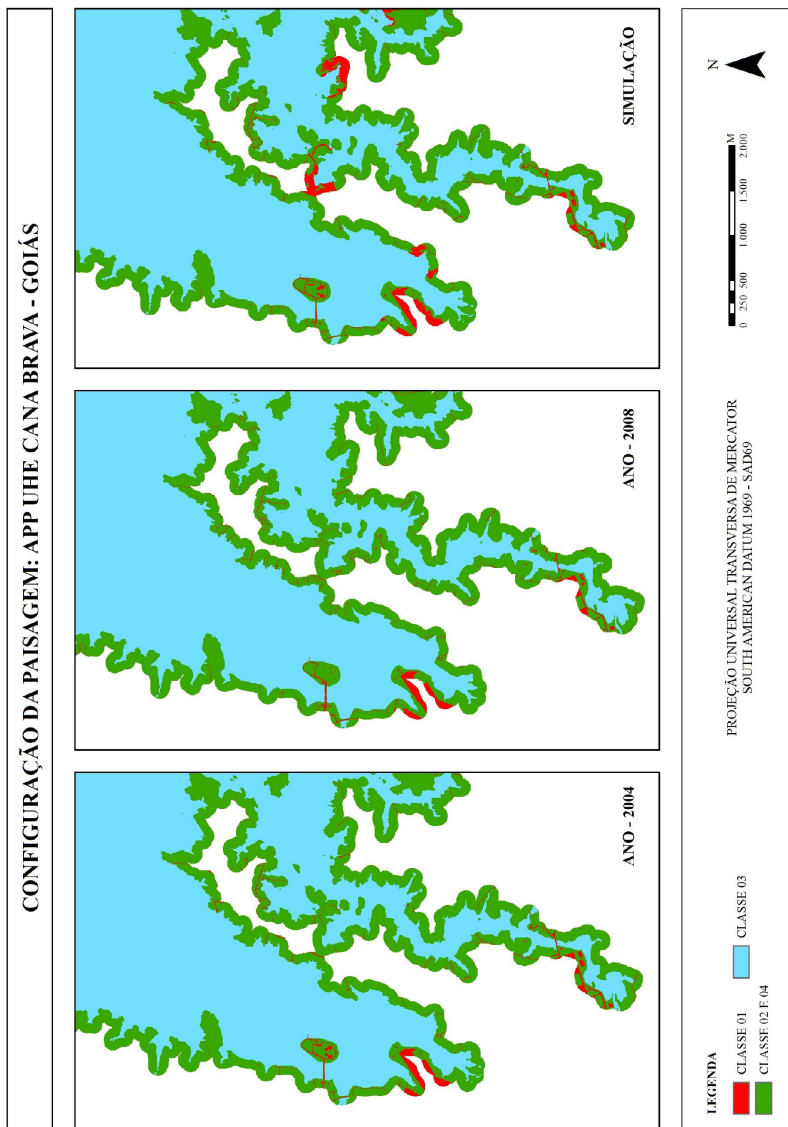


Figura 59 - Resultado da calibragem do sistema / Área Urbana



### 5.4.3 Geração de cenários futuros

Nesta pesquisa foram simulados cenários futuros para um intervalo de seis anos (2009 - 2014). Como resultado da etapa 10, gerou-se mapas anuais para o intervalo de tempo considerado. Os mapas resultantes deste processo são apresentados no CD-ROM sob a denominação “cenarios\_futuros\_2009-2011” e “cenarios\_futuros\_2012-2014”.

Os cenários futuros simulados preveem, de maneira geral, a expansão da área antropizada na APP da UHE Cana Brava, principalmente próximo à área urbana do município de Minaçu e na parte norte do reservatório que pertence ao município de Cavalcante. Esta condição pode ser avaliada na tabela 21.

Tabela 21 - Áreas resultantes do processo de simulação

<b>Ano</b>	<b>2004</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
<b>Área / Km<sup>2</sup></b>	0,75	0,62	0,70	0,77
<b>Ano</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Área / Km<sup>2</sup></b>	0,85	0,92	1,00	1,07

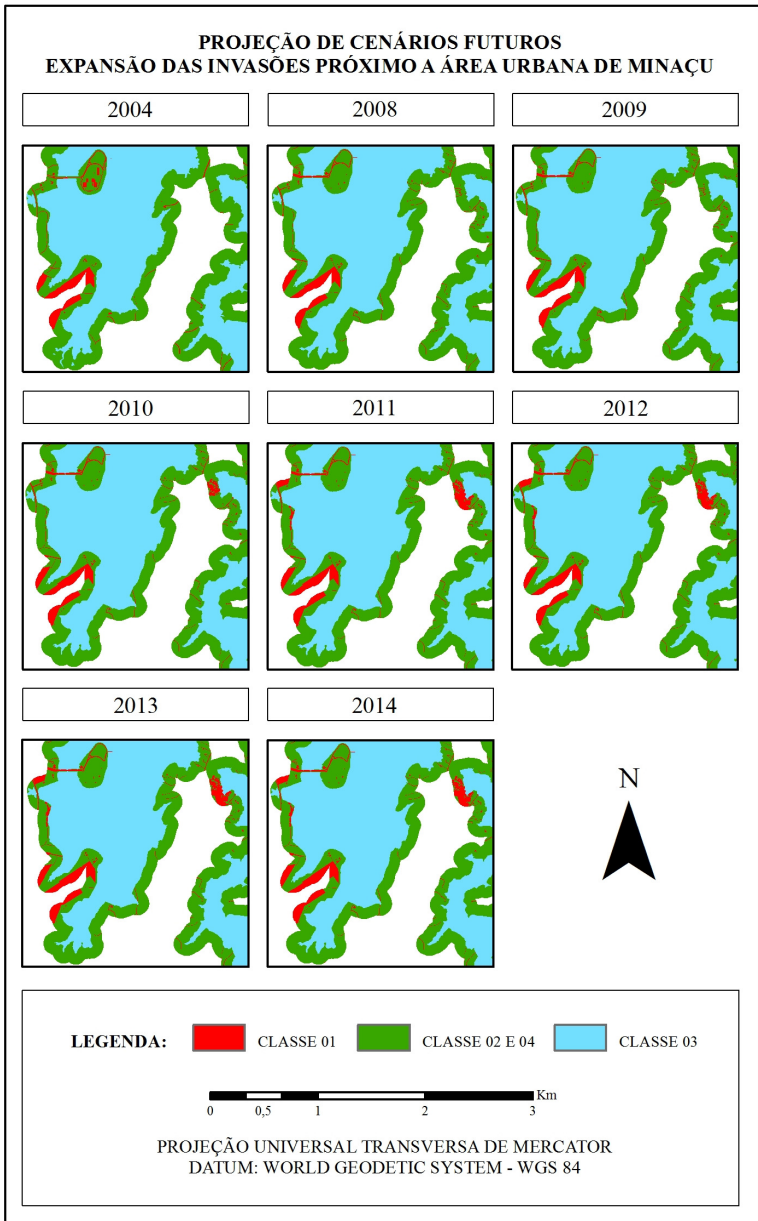
Faz-se necessário ressaltar que estes dados traduzem uma realidade diferente da encontrada no terreno uma vez que a APP, que compõe a área de estudo, foi determinada a partir de um *buffer* de 100 metros ao redor de todo o reservatório, inclusive na área urbana onde a legislação vigente apregoa 30 metros<sup>2</sup>. Assim, estas informações não devem ser avaliadas como sendo prognósticos reais, mas prognósticos simulados a partir da condição adotada neste trabalho.

Diante da dificuldade de apresentar as simulações e respectivas mudanças em toda a área, uma vez que a escala deste trabalho é de 1:10.000, segue alguns exemplos ilustrativos na figura 60, que retrata a evolução da paisagem próxima a área urbana de Minaçu para todo o período simulado.

---

<sup>2</sup> Esta condição é explicada no Capítulo IV que trata dos materiais e métodos.

Figura 60 - Cenários futuros / Área urbana







## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1. AS INTERVENÇÕES NA APP E A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM

A quantificação das invasões a partir dos dados constantes nos relatórios mensais permitiu verificar que, no período compreendido entre 2003 e 2008, o número de registros de interferência em APP cresceu consideravelmente. Estes mesmos dados ainda indicam que há uma concentração de ocorrências de intervenções na APP próxima a área urbana do município de Minaçu.

Dentre todo o período analisado têm-se um total de 639 infrações notificadas. Em 112 destas notificações o ocupante da APP é o proprietário da área que foi indenizado antes do enchimento do reservatório da UHE Cana Brava. Dos 527 casos restantes, 90 ocupantes são desconhecidos e 437 são outros atores, que não os ex-proprietários das áreas indenizadas. Conclui-se, desta forma, que a maioria das invasões tem como infrator um segundo ator.

Com base nos dados tabulados distribuíram-se as invasões em três grupos: edificações utilizadas para moradia ou abrigo, produção agropecuária e lazer. As intervenções relacionadas à moradia ou abrigo somam juntas 221 ocorrências, enquanto que lazer apresenta 131 ocorrências e produção agropecuária 58.

Das 214 parcelas analisadas, somente 112 delas sofreram algum tipo de intervenção em sua APP. O que significa que em muitas parcelas a intervenção na APP foi recorrente, enquanto em outras não houve nenhuma ocorrência registrada. Quando da análise dos dados utilizados nesta pesquisa, não se identificou nenhuma particularidade ou padrão que torne estas parcelas menos suscetíveis a invasões do que as demais.

Dentre todas as variáveis analisadas, a proximidade da APP à áreas urbanas foi a que mostrou maior relevância. Esta conclusão é resultado da análise dos dados constantes nos relatórios mensais e nas informações geradas a partir da tabulação cruzada. A maior constância de classes das variáveis estáticas em parcelas que sofreram alguma intervenção são as mesmas classes encontradas na APP que tangencia a área urbana do município de Minaçu.

Nas atividades que envolvem o plantio de cultura ou a retirada de vegetação com conseqüente geração de solo exposto, não foram

verificados padrões. Condição esta que determinou a retirada destas classes no processo de modelagem e simulação.

## 6.2. A UTILIZAÇÃO DE IMAGENS QUICKBIRD

As imagens QuickBird se mostraram adequadas ao processo de avaliação da paisagem. Porém, deve ser ressaltado que devido à resolução temporal estas não podem ser utilizadas na identificação e quantificação das invasões, uma vez que existem incursões em APP que são sazonais, como a cultura por exemplo. A sazonalidade também influenciou na interpretação das imagens, como abordado no Capítulo IV. Algumas dificuldades foram encontradas para diferenciar áreas de campo cerrado ou campo limpo, condições estas que ocorreram em função da resposta espectral.

Outra dificuldade é a visualização de incursões que ocorrem sob a vegetação mais densa como, por exemplo, a abertura de acessos em APP ou mesmo a construção de pequenas edificações. Faz-se necessário ressaltar que o cerradão, que representa a vegetação mais densa presente na área, foi identificado como sendo a classe mais presente nas parcelas que sofreram intervenções em suas APPs durante todo o período analisado para a execução desta pesquisa.

Houve dificuldade também para modelar e simular cenários futuros com os dados vetoriais gerados a partir das imagens de alta resolução. Conforme explicado no item 4.4.1 - Conversões e adequações necessárias ao processo de modelagem, do Capítulo IV, foi necessário generalizar as classes para tornar os dados computacionalmente tratáveis. Isto por que o nível de detalhe considerado na vetorização da primeira classificação proposta que não permitia a correta calibração do sistema. Assim verifica-se que imagens de alta resolução podem acabar sendo subutilizadas durante o processo, se considerada somente a análise de cenários futuros, pois os detalhes que estas permitem identificar acabam não sendo considerados na modelagem e posterior simulação. Assim imagens de média e baixa resolução, que permitem maior generalização, podem apresentar melhor custo benefício para realização deste tipo de trabalho.

## 6.3. A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DINAMICA EGO

O ambiente de modelagem do Dinamica EGO pode ser considerado simples de ser trabalhado, atingindo um bom nível de

otimização da velocidade dos recursos computacionais, permitindo que processos complexos possam ser simulados em computadores pessoais.

Dentre as etapas executadas a partir do software a calibração da dinâmica de mudança da paisagem da APP se mostrou a atividade mais trabalhosa de todo o processo que compreende a construção do modelo. Este fato se deve em parte a escala dos dados trabalhados que dificultavam a identificação de padrões e a natureza diversa das incursões em APP.

#### 6.4. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS

Apesar de todos os estudos já realizados sobre modelagem e posterior simulação, a partir de autômatos celulares, deve-se considerar, conforme já observado por Almeida (2004, p. 302), as limitações dos processos de simulação visto que elas reportam “as premissas de discretização do espaço e do tempo, como regularidade espacial, estacionariedade de vizinhança e universalidade das funções de transição”. Almeida (2004) destaca ainda as generalizações executadas nos mapas de uso e ocupação do solo e o sequenciamento imposto aos diferentes tipos de transição como condições que podem comprometer o resultado do processo de simulação.

Considerando o exposto, a modelagem e posterior geração de prognósticos futuros demonstrou ser uma ferramenta eficiente no monitoramento da evolução da paisagem. Apesar das variáveis inseridas no modelo estarem ligadas a influência da área urbana no processo de invasão, a sua inserção auxiliou na obtenção do resultado final, confirmando a inferência desta área sobre a APP.

A aplicação do software Dinamica EGO, ferramenta utilizada para apoio à decisão para projetar cenários futuros, permitiu estimar a intensidade e localização das invasões projetadas para a APP da UHE Cana Brava nos próximos seis anos, porém deve se ressaltar que estes dados não têm a acurácia que se espera deste tipo de modelagem, em parte devido à janela temporal de análise utilizada, que foi de quatro anos (2004 – 2008), que pode ser considerada muito pequena para a avaliação das tendências, pela complexidade das relações que ocorrem no espaço que circunda o lago e pela ausência de padrão verificada na ocorrência das incursões em APP.

Os prognósticos gerados a partir das simulações indicam que as incursões em APP continuarão ocorrendo com mais frequência próximo às áreas urbanas do município de Minaçu. Porém, para análise dos

prognósticos deve-se considerar que estes estão baseados: na análise dos dados coletados durante uma janela temporal pequena, na manutenção das tendências de intervenção em APP e na utilização das variáveis físicas da área. Mudanças, socioeconômicas não foram avaliadas neste trabalho, podendo resultar em uma mudança inesperada da paisagem e, portanto, estas devem ser consideradas em estudos futuros.

## 6.5. O CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

É impossível executar um trabalho de gestão sem conhecer a localização, o avanço temporal e o padrão das mudanças. O reconhecimento de uma área, como a APP da UHE Cana Brava, requer a adoção de ações que visem o acompanhamento da sua evolução e posterior avaliação. A parcela, com uma identificação única, mostrou-se adequada quando da análise da evolução da paisagem do lago, pois permitiu que o histórico da área fosse preservado de forma organizada favorecendo o entendimento da sua evolução.

Toda a tarefa de organização e análise dos dados não teria sido executada com tamanha confiabilidade se a ótica do cadastro não tivesse sido utilizada. Para tanto os relatórios mensais disponibilizados pela empresa, que detém a concessão para explorar o potencial hidroelétrico de Cana Brava, mostraram-se de grande utilidade, pois indicam um código único para cada uma das parcelas, característica que permitiu a manutenção do histórico individual de cada uma destas unidades. Conclui-se a partir do exposto que, apesar dos dados da área em estudo serem apresentados em documentos de texto, estes sugerem, em função do código único, que a empresa se utiliza da ferramenta de cadastro para a coleta e organização das informações que são colhidas em campo.

## 6.6. CONTRIBUIÇÃO DAS INFORMAÇÕES GERADAS PARA AS ATIVIDADES DE GESTÃO

A origem dos atores que cometem incursões em APP e a influência da área urbana nestes registros de infração são, dentre todas as informações geradas, as mais relevantes.

Tais informações apontam de imediato que as APPs próximas a área urbana do município de Minaçu devem ser objeto de maior fiscalização. A origem dos atores, por sua vez, deve suscitar o debate sobre a necessidade de elaboração e execução de planos de ação, no perímetro urbano de Minaçu, que tenham como objetivo a conscientização sobre a importância legal da proteção das APPs.

O número de ocorrência de invasões por município é outra informação relevante, porque permite focar os trabalhos de fiscalização e conscientização nos municípios ou diretamente nas parcelas que apresentam registros recorrentes de interferência na APP.

Por fim conclui-se que, a utilização das informações organizadas sob a ótica do cadastro técnico multifinalitário somadas ao conhecimento sobre a evolução da paisagem proveniente da vetorização do uso e ocupação solo e dos dados coletados em campo, formam um conjunto de dados indispensável ao processo de gestão das APPs de usinas hidroelétricas.



## 7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 1. ed. Brasília, 2002. 153 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. Brasília, 2008. 236 p.

ALMEIDA, C. M. de. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento**: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP). 2003. 351 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Modelos de dinâmica urbana: Conceitos, derivação de relações, calibração, Exemplos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. **Compêndio de curso**. São José dos Campos: INPE. 2003.

ALMEIDA, L. de. *et al.* **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006. 232 p.

ALMEIDA, M. G. (Org.). **Abordagens geográficas de Goiás**: o natural e o social na contemporaneidade. Goiânia: UFG, 2002.

BANCO MUNDIAL. **Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil**: Uma Contribuição para o Debate. Anexos Técnicos. 2008. v. 3, 154 p.

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande**. 2010. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BRASIL. Constituição (1946). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1946.

BRASIL. **Decreto Federal n. 23.793**, de 23 de janeiro de 1934. Aprova o código florestal que com este baixa. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1930-1949/D23793.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Decreto Federal n. 24.643**, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Lex: Coletânea de Legislação Ambiental, Constituição Federal. MEDAUAR, O. (org.). 8. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2009, p. 267-291.

BRASIL. **Decreto Federal n. 1.110**, de 13 de abril de 1994. Cria o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), extingue o Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, o Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário e o Grupo Executivo da Reforma Agrária e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1965-1988/Del1110.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del1110.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Decreto Federal n. 5.081**, 14 de maio de 2004. Regulamenta os arts. 13 e 14 da Lei n. 9.648, de 27 de maio de 1998, e o Art. 23 da Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004, que tratam do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045081.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Lei Federal n. 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Lex: Coletânea de Legislação Ambiental, Constituição Federal. MEDAUAR, O. (org.). 8. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2009. p. 491-503.

BRASIL. **Lei Federal n. 7.803**, 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis n. 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7803.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Lei Federal n. 8.987**, de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no Art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Disponível em:



<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8987cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8987cons.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Lei Federal n. 9.427**, de 26 de dezembro de 2006. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9427cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427cons.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Lei Federal n. 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Lex: Coletânea de Legislação Ambiental, Constituição Federal. MEDAUAR, O. (org.). 8. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2009. p. 1033-1053.

BRASIL. **Lei Federal n. 10.847**, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. **Lei Federal n. 10.848**, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n. 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. **Portaria n. 511**, de 07 de dezembro de 2009.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. 1. ed. Virginia: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.

CÂMARA, G. CLODOVEU, D. **Geoprocessamento: teoria e aplicações.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 19 nov. 2009.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 3-11.

CERQUEIRA, D. Mapeamento das zonas de favorabilidade de cromo no Complexo Máfico-Ultramáfico de Cana Brava com base em sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6837-6843.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Resolução n. 302**, de 20 de março de 2002. Lex: Coletânea de Legislação Ambiental, Constituição Federal. MEDAUAR, O. (org.). 8. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2009. p. 427-429.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano.** São Paulo: Ática, 1989. 85 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** UNICAMP. Gráfica ASE-UNICAMP. Campinas: 1992. 170 p.

DELANEZE, M. E. *et al.* Modelagem espacial utilizando autômato celular aplicada à avaliação das mudanças do uso e cobertura da terra no entorno da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 5909-5916.

DIAS, E. de P. Conceitos de gestão e administração: uma revisão crítica. In: **Revista eletrônica de administração.** FACEF. Franca, SP, v. 1, n. 1, jul./dez. 2002. Disponível em: <[http://www.facef.br/rea/edicao01/ed01\\_art01.pdf](http://www.facef.br/rea/edicao01/ed01_art01.pdf)>. Acesso em: 05 de maio de 2008.

DIAS, R. F. **A Eletrobrás e a história do setor de energia elétrica no Brasil: Ciclo de palestras.** Centro da memória da eletricidade no Brasil. Rio de Janeiro, 1995.

DIGITAL GLOBE. **Basic satellite imagery - Specifications.** Disponível em: <<http://www.digitalglobe.com>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412p.

ENGELLEN, G. *et al.* Using cellular automata for integrated modelling of socio-environmental systems. **Environmental Monitoring and Assessment.** v. 34, n.2, p. 203-214, 1995.

ERBA, D. A. O cadastro territorial: Passado, presente e futuro. In: **Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana.** Rio de Janeiro, 2005. p. 13-39.

FARIA, V. C. de S.e. **O papel do Project Finance no financiamento de projetos de energia elétrica: Caso da UHE de Cana Brava.** 2003. 180f. Dissertação (Mestrado Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

FERREIRA, C. K. L. Privatização do Setor Elétrico no Brasil. In: **BNDES. Privatização no Brasil: o caso dos serviços de utilidade pública.** BNDES, 2000. 370 p.

FERREIRA, I. M.; MENDES, E. de P. P. A organização do espaço agrário em Goiás: Povoamento e colonização (do século XVIII ao XX). In: Encontro Nacional de Geografia Agrária, 19. 2009. São Paulo. **Anais...**São Paulo:USP, 2009. p. 1-27.

FIG. **FIG Statement on the Cadastre.** Disponível em: <[http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement\\_on\\_cadastre.html](http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html)>. Acesso em: 17 nov. 2009.

FONTOURA, L. F. M.; VERDUM, R.; SILVEIRA, C. T. da. Análise de sistemas de produção e leitura da paisagem. In: **Revista Geo UERJ.** 2003. p. 1-20. Edição Especial.

GASTALDO, M. M. Histórico da regulamentação do setor elétrico brasileiro. **O setor elétrico**, São Paulo, n. 36, p. 36 - 42, jan. 2009.

GOMES, A. C. S. *et al.* **BNDES 50 anos - histórias setoriais: o setor elétrico**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002.

GREMONINI, L.; VICENTINI, E. **Autômatos Celulares: Revisão Bibliográfica e Exemplos de Implementações**. Curitiba: UNICENTRO, 2008. Revista Eletrônica. Disponível em: <[http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista\\_Pos/CE-Autom.pdf](http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/CE-Autom.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Histórico do INCRA**. Disponível em: <[http://www.incra.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=36&Itemid=56](http://www.incra.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=36&Itemid=56)>. Acesso em: 11 nov. 2011.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Histórico dos municípios goianos**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 03 jan. 2012.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. Manuais Técnicos em Geociências. n. 1, 92 p.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Introdução ao processamento digital de Imagens**. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 94 p.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados Agropecuários**. Censo agropecuário de 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 03 jan. 2012.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto interno bruto per capita dos municípios goianos**. Dados 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 03 jan. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados censitários**. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 03 jan. 2012.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. de. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006. 128 p.

LOCH, C. **Cadastro técnico rural multifinalitário, a base à organização espacial do uso da terra em nível de propriedade rural**. Tese (Concurso de professor titular - Edital 502/DP/92) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

LOCH, C. Cadastro técnico multifinalitário: instrumento de política fiscal e urbana. In: ERBA, D. A.; OLIVEIRA, F. L.; LIMA JUNIOR, P. (org.). **Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro, 2005. p. 71 – 99.

LOCH, C.; ERBA, D. A. **Cadastro Técnico Multifinalitário: rural e urbano**. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007. 142 p.

LOCH, R. E. N. **Cartografia**: Representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: UFSC, 2006. 313 p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. INPE. São José dos Campos, 2002. 23 p.

MOREIRA, F. R. S.; ALMEIDA FILHO, R. A.; CÂMARA, G. Modelamento de dados geológicos em pesquisa mineral segundo o teorema de Bayes. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p. 895-902.

NASCIMENTO, M. A. L. S. Geomorfologia do Estado de Goiás. In: **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia: UFG. v. 12, n.1. jan./dez. 1991.

NERIS, F. L. **Apostila de cadastro técnico municipal**. Disponível em: <[http://www.unesc.net/~fln/Apostila%20CTM\\_Aula01.pdf](http://www.unesc.net/~fln/Apostila%20CTM_Aula01.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2011.

PALACÍN, L. **História de Goiás: 1722 – 1972**. 5 ed. Goiânia: UCG, 1989. 125 p.

PAREDES, E. A. **Sistema de informação geográfica: princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 1994.

PEDROSA, B. M. **Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial**. 2003. 111f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

PEREIRA, C. C. **A importância do Cadastro Técnico Multifinalitário para a elaboração de planos diretores**. 2009. 207f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PHILIPPI JR. A., BRUNA, G. C. Política e gestão ambiental. In: PHILIPPI JR., A. ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. São Paulo: Manole, 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Towards an ‘energy plus’ approach for the poor: A review of good practices and lessons learned from Asia and the Pacific**. United Nations Development Programme - Environment and energy. 2012. Disponível em: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Sustainable%20Energy/EnergyPlusReport.pdf> . Acesso em: 04. mai. 2012.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: UFU, 1992. 109 p.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistema de operação de serviços**. Gestão & Produção (UFSCAR. Impresso), v. 16, p. 25 – 43, 2009.

SANO, E. E. *et al.* Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In: FERREIRA JÚNIOR, L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado.** Goiânia: UFG, 2008. p. 91 - 106.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SANTOS, M. Espaço e sociedade no Brasil: A urbanização recente. **Geosul.** Florianópolis: UFSC, v. 03, n. 5, p. 85-101, 1º sem. 1988.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: Técnica e tempo, razão e emoção.** São Paulo: Hucitec, 1996. 308 p.

SANTOS, M. **Pensando o espaço do homem.** 4 ed. São Paulo: Hucitec, 1997. 70 p.

SANTOS, M. P. dos. **Introdução à Simulação Discreta.** Material de apoio à disciplina Simulação. Departamento de Matemática. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, S. C. da; SANTANA, N. M. P. de; PELEGRINI, J.C. **Caracterização Climática do Estado de Goiás.** GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006. 133 p.

SILVEIRA, E. L. D. Paisagem: Um conceito chave na geografia. In: Encontro de Geógrafos de América Latina, 12. 2009, Montevideu (UY). **Anais...** Montevideu (UY): 2009.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica.** 1998. 299 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. In: ALBERNAZ, A. L.; SILVA, J. M. C. da, VALERIANO, D. (Ed.). **Ferramentas para modelagem da**

**distribuição de espécies em ambientes tropicais.** Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. p. 1-16.

SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Cenários de desmatamento para Amazônia. **Estudos Avançados.** São Paulo, v. 19, n. 54, p. 138-152, 2005.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H.O.; COSTA, W.L. **Modelagem de dinâmica ambiental com Dinamica EGO.** Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. 116p.

SOUZA, J. L. de. O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. In: CASTRO, I. E. de; GOMES, P. C da C.; CORRÊA, R. L. (Org.). **Geografia: conceitos e temas.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 77-117.

TURNER, B.L.; MEYER, W. B.; SKOLE, D. **Global land-use/land cover change: Towards an integrate study.** *Ambio*, Londres, v. 23, n.1, p. 91-95,1994.

UNECE. Working Party on Land Administration. Disponível em:  
<http://www.unece.org/hlm/wpla/publications/laguidelines.html>  
Acesso em: 20. nov. 2009



**CD-ROM - ANEXOS EM MEIO DIGITAL**