

para  
**Texto**

# discussão

**PLANEJAMENTO AMBIENTAL  
NA CONCEPÇÃO DE REDE DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTUDO DE  
CASO DE FORMOSA - GO**

Daiana Lira de Araújo  
Hélio Guilherme de Almeida Lara

nº 48/agosto de 2018  
ISSN 2446-7502

**PLANEJAMENTO AMBIENTAL NA  
CONCEPÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO  
DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DE FORMOSA - GO**

Daiana Lira de Araújo<sup>1</sup>  
Hélio Guilherme de Almeida Lara<sup>2</sup>

Brasília-DF, agosto de 2018

---

<sup>1</sup> Daiana Lira de Araújo, Engenheira Ambiental (UnB), mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH/UnB).

<sup>2</sup> Hélio Guilherme de Almeida Lara, Engenheiro Ambiental (UnB), mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH/UnB).

---

## Texto para Discussão

Veículo de divulgação de conhecimento, análises e informações, sobre desenvolvimento econômico, social, político, gestão e política públicas, com foco no Distrito Federal, na Área Metropolitana de Brasília (AMB) e na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE) e estudos comparados mais amplos, envolvendo os casos acima.

Os textos devem seguir as regras da [Resolução 143/2015](#), que regem o Comitê Editorial da Codeplan, e não poderão evidenciar interesses econômicos, político-partidários, conteúdo publicitário ou de patrocinador. As opiniões contidas nos trabalhos publicados na série Texto para Discussão são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, de qualquer maneira, o ponto de vista da Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan.

É permitida a reprodução parcial dos textos e dos dados neles contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são proibidas.

---

Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan

Texto para Discussão

TD - n. 48 (2018) - . - Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2015.

n. 48, agosto, 29,7 cm.

Periodicidade irregular.

**ISSN 2446-7502**

1. Desenvolvimento econômico-social. 2. Políticas Públicas  
3. Área Metropolitana de Brasília (AMB). 4. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE).  
I. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. II. Codeplan.

---

CDU 338 (817.4)

---

**GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL**  
**Rodrigo Rollemberg**  
Governador

**Renato Santana**  
Vice-Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO  
E GESTÃO DO DISTRITO FEDERAL - SEPLAG**  
**Renato Jorge Brown Ribeiro**  
Secretário

**COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL - CODEPLAN**  
**Lucio Remuzat Rennó Júnior**  
Presidente

**Martinho Bezerra de Paiva**  
Diretor Administrativo e Financeiro

**Bruno de Oliveira Cruz**  
Diretor de Estudos e Pesquisas Socioeconômicas

**Ana Maria Nogales Vasconcelos**  
Diretora de Estudos e Políticas Sociais

**Aldo Paviani**  
Diretor de Estudos Urbanos e Ambientais

## **AGRADECIMENTO**

Este trabalho não seria possível sem a orientação do Prof. Dr. Wagner Santos de Almeida<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Wagner Santos de Almeida - Professor Adjunto (UnB), pós-doutorado na área de Geotecnia (UnB).

## RESUMO

O processo de ocupação urbana, historicamente, tem ocorrido de maneira desordenada e negligenciada, à parte de um planejamento urbano que contemple as potencialidades e fragilidades do meio ambiente, e dissociado de planos de saneamento básico. Além disso, a ação especulativa sobre o solo urbano e as desigualdades sociais prejudicam o acesso a moradias em locais adequados. Como consequência, há a concentração de pessoas em áreas de risco e, muitas vezes, sem condições mínimas de infraestrutura pública adequada; devendo ser essa uma preocupação real do Poder Público. Nesse sentido, é positiva a articulação entre as diversas entidades da federação, como é no caso da RIDE/DF, onde se busca, entre outras coisas, a melhoria da infraestrutura básica, o ordenamento territorial e a proteção do meio ambiente comuns ao Distrito Federal e aos municípios que a integram. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o ordenamento territorial na cidade de Formosa (GO) e diagnosticar o sistema de abastecimento de água existente, propondo possíveis adequações às normas técnicas e à própria demanda. Para tanto, foi gerado um mapa de aptidão à expansão urbana da área de estudo, baseado em seis critérios – físicos e ambientais; esse mapa foi então correlacionado ao Zoneamento vigente, proposto pelo Plano Diretor, e à atual situação de ocupação verificada, o que permitiu o reconhecimento de algumas áreas irregulares, além da construção de dois cenários de ocupação futura, sendo um otimista, fundamentado nas diretrizes do Plano Diretor quanto ao aumento da densidade demográfica; e um pessimista, considerando a densidade média atual constante. Durante o diagnóstico da rede atual, concluiu-se que a melhor solução seria a proposta de uma nova concepção da rede, buscando se valer, ao máximo, das estruturas já existentes; tal concepção foi feita com base em um dos cenários apontados. Dos resultados, pôde-se concluir que Formosa apresenta forte restrição à expansão urbana, visto que está em uma região cercada por diversos fatores – naturais e políticos – que impossibilitam tal ação, sendo o intraurbano um eixo preferencial de crescimento. A não observância das diretrizes propostas pelo Plano Diretor, bem como a inadequação do Zoneamento por ele estabelecido, foram pontos críticos apontados pelo estudo. Quanto à nova concepção da rede de abastecimento de água, a baixíssima densidade populacional foi limitante para a adequação do sistema. Por fim, a dificuldade de acesso a informações atualizadas, ou mesmo a dados e mapas com escalas razoáveis, foram pontos negativos ao longo do estudo. Entretanto, cabe ressaltar que essa é a realidade comum da maioria dos municípios brasileiros, e saber trabalhar com esse tipo de subsídio também é um ganho. Por outro lado, os programas utilizados, como os de sistemas de informações geográficas e de simulações hidráulicas, foram bem-sucedidos na obtenção dos resultados, o que reforça a relevância dessas ferramentas na solução de problemas urbanos relacionados aos assuntos abordados.

**Palavras-chave:** Planejamento urbano. Abastecimento de água. Sistemas de Informações geográficas. Sistemas de simulações hidráulicas.

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Objetivos Gerais.....	9
1.1.1. Objetivos Específicos.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Crescimento Urbano e Planejamento Ambiental.....	11
2.1.1. Legislação Vigente.....	11
2.1.2. Estudo de Cenários.....	12
2.2. Sistema de Abastecimento de Água.....	12
2.2.1. Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água.....	13
2.2.2. Projeto de Rede de Distribuição de Água.....	14
2.3. Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas.....	15
2.3.1. Software.....	15
2.4. Análise Espacial Multicritério.....	16
2.4.1. Método Booleano.....	16
2.4.2. Método Fuzzy.....	16
2.4.3. Método da Combinação Linear Ponderada.....	17
2.4.4. Técnica AHP - Processo Analítico Hierárquico.....	17
2.5. Modelos de Simulação Hidráulica.....	18
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. Levantamento de Dados e Informações.....	19
3.1.1. Dados Físicos.....	20
3.1.2. Dados Legais.....	20
3.1.3. Dados Demográficos.....	20
3.1.4. Dados do atual SAA.....	20
3.2. Cálculo Demográfico.....	20
3.3. Verificação da Situação Atual de Ocupação.....	21
3.4. Mapa de Aptidão à Expansão Urbana.....	21
3.4.1. Obtenção dos Critérios.....	21
3.4.2. Aplicação da Análise Multicritério.....	22
3.4.3. Método da Combinação Linear Ponderada.....	23
3.5. Construção dos Cenários de Ocupação.....	24
3.6. Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água.....	24
3.6.1. Cálculo das vazões de projeto.....	24
3.6.2. Verificação da Adequação das Unidades Existentes.....	25
3.7. Proposta de Nova Concepção para Rede de Distribuição.....	25
3.7.1. Estudo das Zonas de Pressão.....	25
3.7.2. Traçado da rede de distribuição.....	25
3.7.3. Dimensionamento dos Conduitos.....	26

4. RESULTADOS.....	27
4.1. Diagnóstico .....	27
4.1.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo .....	27
4.1.2. Plano Diretor de Formosa .....	27
4.2. Cálculo Demográfico .....	29
4.3. Mapa de Aptidão à Expansão Urbana .....	29
4.3.1. Distância de Infraestruturas Existentes .....	29
4.3.2. Declividade .....	30
4.3.3. Uso e Cobertura do Solo.....	32
4.3.4. Pedologia.....	33
4.3.5. Geologia .....	34
4.3.6. Restrições Ambientais e Legais .....	35
4.3.7. Método AHP e Modelo Matemático.....	36
4.3.8. Mapa de Aptidão à Expansão Urbana.....	37
4.4. Cenários .....	38
4.4.1. Verificação das Ocupações Irregulares.....	38
4.4.2. Cenários de Ocupação .....	40
4.5. Diagnóstico do SAA .....	42
4.5.1. Adequação das Unidades Existentes.....	43
4.6. Proposição de Nova Concepção da Rede de Distribuição .....	44
4.6.1. Análise das “Zonas de Pressão” e Traçado das Tubulações.....	44
4.6.2. Dimensionamento da Rede de Distribuição .....	45
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
ANEXOS.....	54
Anexo I - Cálculo demográfico .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

A partir das décadas de 1930 e 1940, iniciou-se o tardio processo de urbanização nos países em desenvolvimento. Em função disso, houve uma evolução da população urbana no país de 36%, em 1950, para 84%, em 2010, conforme dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Essa tendência, no entanto, vem sendo acompanhada por diversos problemas, devido, principalmente, ao fato de a expansão urbana não planejada ainda ser uma realidade comum ao longo do país. Havendo, com isso, frequente ocupação de áreas de proteção ambiental e também de áreas de risco (onde se incluem regiões sujeitas a inundações ou a processos erosivos).

Nesse contexto, a formulação de políticas públicas urbanas adequadas é fundamental, incluindo-se as relativas ao uso e ocupação do solo urbano, à habitação e à infraestrutura, visando contribuir para a construção de ambientes urbanos equilibrados, tanto do ponto de vista social quanto ambiental (Honda *et al.*, 2015), sendo a qualidade de vida da população um dos principais objetivos.

A esse respeito, a Organização Mundial da Saúde (OMS) relata que a qualidade de vida está intimamente ligada, entre outras condições, ao saneamento e meio ambiente. Tal percepção nos remete a necessidade real de que haja a inclusão do planejamento ambiental na realidade das cidades brasileiras, além de um maior esforço na busca da universalização do acesso aos serviços de saneamento.

Essas são algumas das áreas de interesse da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE-DF), que tem como efeito a articulação da ação administrativa da União, do Distrito Federal (DF) e dos Estados de Goiás (GO) e Minas Gerais. Dentre os municípios goianos abrangidos pela RIDE-DF está o município de Formosa, o qual será objeto deste estudo de caso.

Formosa, localizada na divisa nordeste do Distrito Federal, apresenta diversas demandas no que tange à infraestrutura e ordenamento territorial. Segundo dados publicados no Atlas da Agência Nacional de Águas (ANA), o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do município requer a ampliação ou adequação do sistema atual, situação essa que é, também, relatada no Plano Diretor Local.

No que se refere ao ordenamento territorial urbano e ao planejamento ambiental, o município apresenta como instrumento o Zoneamento proposto pelo Plano Diretor Local (Lei Municipal nº 251/2004) e também algumas diretrizes ambientais por ele estabelecidas, entre elas a proteção de corpos d'água e da vegetação nativa nas áreas urbanas e rurais. Tais conhecimentos dão base aos objetivos propostos no presente estudo.

### 1.1. Objetivos Gerais

Avaliar, baseado em um enfoque de sustentabilidade ambiental, o ordenamento territorial vigente na cidade de Formosa. E diagnosticar o Sistema de Abastecimento de Água existente, propondo adequações às normativas cabíveis e às demandas previstas para o horizonte temporal delimitado.

### **1.1.1. Objetivos Específicos**

- a) Avaliar a adequação do zoneamento urbano, previsto pelo Plano Diretor, quanto à ocupação atual e às especificidades do ambiente;
- b) Projetar cenários de ocupação futura na área urbana;
- c) Diagnosticar o Sistema de Abastecimento de Água existente no município, com vistas ao crescimento demográfico previsto, propondo sua adequação às exigências normativas e de demanda.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Crescimento Urbano e Planejamento Ambiental

O crescimento urbano dos municípios é decorrente do crescimento natural da população, do êxodo rural e da migração de outras localidades. Esse processo de ocupação, predominantemente, vem acontecendo de maneira desordenada, à parte de um planejamento prévio que atenda às necessidades vitais do homem, a fragilidade e as características do ambiente ocupado (Santos *et al.*, 1998 apud Nascimento *et al.*, 2009).

Além disso, de acordo com Nascimento (2008), as desigualdades sociais e a ação especulativa sobre o solo urbano dificultam o acesso a moradias em áreas adequadas por parte da população de mais baixa renda, resultando em tensões sociais que produzem a crescente falta de infraestrutura, comprometendo a qualidade ambiental das cidades.

Nesse sentido, o planejamento ambiental é empregado na definição de qualquer tipo de planejamento que leve em consideração fatores naturais e socioeconômicos para a avaliação das possibilidades de uso do território e/ou dos recursos naturais, sendo imprescindível na minimização dos problemas urbanos associados à desorganização em que se dá o crescimento das cidades.

O estudo das características ambientais, físicas, sociais e econômicas do território urbano gera conhecimento necessário à tomada de decisão na orientação da expansão urbana, visando garantir uma ocupação racional dos espaços, a prevenção de impactos ambientais e a prevenção de conflitos entre os atores sociais (Merenda, 2011; Nascimento, 2008).

#### 2.1.1. Legislação Vigente

O Estatuto da Cidade - Lei Federal nº 10.257, de 2001 – regulamentou os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, instituindo normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

No artigo 2º do Estatuto da Cidade, são estabelecidas as diretrizes gerais para ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, dentre as quais podem se destacar: a garantia do direito a cidades sustentáveis; o planejamento do desenvolvimento das cidades; a ordenação e controle do uso do solo; a proteção, preservação e conservação do ambiente natural e construído; entre outros.

Além disso, o Estatuto da Cidade considera o município responsável pela execução da política urbana e estabelece, como instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, o Plano Diretor (PD), que, aprovado por lei municipal, deve englobar o território do município como um todo, propondo um zoneamento urbanístico e um macrozoneamento, com áreas restritivas à ocupação urbana.

A Lei Federal nº 6.766, de 1979, dispõe sobre o parcelamento do solo para fins urbanos e traça os casos de impedimento de parcelamento, destacando-se: em terrenos com declividade igual ou maior que 30%, salvo se atendidas exigências específicas das

autoridades competentes; em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação; e em áreas de preservação ecológica.

A Lei Estadual nº 18.104, de 2013, que institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás, define Área de Preservação Permanente (APP) como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade. Também o Código Florestal – Lei Federal nº 12.651, de 2012 – dispõe sobre APP em zonas rurais ou urbanas, tendo texto semelhante ao da Lei Municipal nº 147, de 2014.

Dentre as áreas destinadas à APP, destacam-se: 30 m para cursos d'água de menos de 10 m de largura; 50 m para cursos d'água que tenham entre 10 e 50 m de largura; 100 m no entorno dos lagos e lagoas naturais em zonas rurais e 30 m em zonas urbanas; e em encostas, ou parte destas, com declividade superior a 45°, ou 100%.

### **2.1.2. Estudo de Cenários**

Segundo Fonseca (2008), a expectativa em relação ao futuro tem assumido um papel importante como referência para as decisões e escolhas. Por isso, o futuro deve se constituir na essência do planejamento e das escolhas coletivas das sociedades ou das organizações, investigando as alternativas para definir e calibrar suas ações, introduzindo uma componente de racionalidade e análise técnica para tratar a incerteza.

A construção de cenários lida, normalmente, com sistemas altamente complexos e dinâmicos, que convivem com contínuas mudanças. Assim, mesmo em sistemas complexos e caóticos, a antecipação do futuro é possível pelo menos no que diz respeito às características qualitativas gerais do comportamento do sistema (Fonseca, 2008).

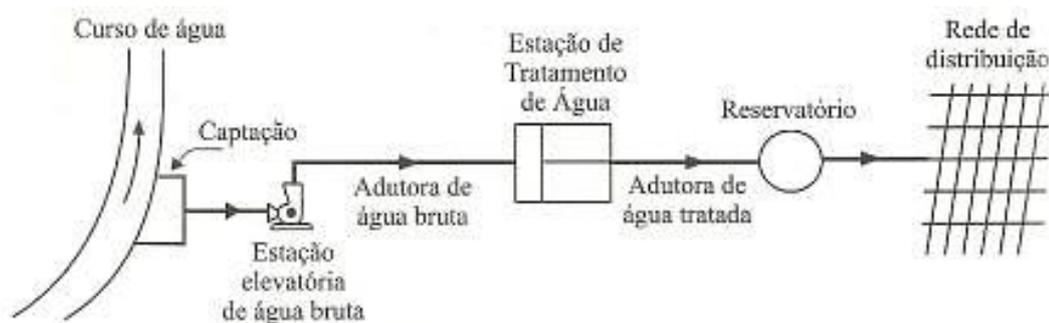
Analogamente, em processos de expansão urbana, o comportamento de qualquer ocupação tende a expressar determinados padrões logicamente interpretados e analisados, que decorrem, predominantemente, de fatores legais, históricos e socioeconômicos. A relação de predominância entre os fatores depende de outras circunstâncias, como grau de escolaridade e ação governamental.

## **2.2. Sistema de Abastecimento de Água**

Como os demais componentes do saneamento básico, o abastecimento de água apresenta grande importância tanto sanitária, quanto social e econômica, sendo por essa razão uma das responsabilidades do poder público.

Nesse contexto está o Sistema de Abastecimento de Água que, segundo o Manual de Saneamento da Funasa (FUNASA, 2007), é a instalação destinada a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população. Sendo composto pelos seguintes componentes: manancial, captação, estação elevatória, adutora, Estação de Tratamento de Água (ETA), reservatório e rede de distribuição (Figura 1).

**Figura 1** - Componentes de um sistema de abastecimento



Fonte: Tsutiya, 2006

## 2.2.1. Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água

Segundo a Norma NBR 12211, de 1992, a concepção de um SAA é o estudo de arranjos, sob os pontos de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado, para a escolha da concepção básica (melhor solução), sendo os principais parâmetros para a definição da concepção do sistema: o tipo de manancial, a topografia da área e o consumo a ser atendido.

### 2.2.1.1. Consumo de Água

O consumo previsto para o local, fator fundamental tanto para o planejamento do SAA quanto para sua gestão, está intimamente ligado não só à população prevista como também a outras variáveis referentes aos demais tipos de consumidores, pois, segundo a norma NBR 12211, de 1992, os consumidores a serem considerados compreendem os estabelecimentos residenciais, industriais e públicos, devendo também ser abastecidos os estabelecimentos comerciais.

### 2.2.1.2. Consumo *Per Capita* de Água

O *per capita* é o volume de água consumido em um dia, distribuído igualmente pela população; podendo representar apenas o consumo doméstico ou também abranger outros tipos de consumo. Nos projetos de abastecimento público de água, o *per capita* adotado varia de acordo com a natureza da cidade e o tamanho da população local (FUNASA, 2007).

### 2.2.1.3. Variações no Consumo de Água

O consumo de água está sujeito a significativas variações (anuais, mensais, diárias, horárias ou instantâneas) que devem ser consideradas durante o projeto. As variações diárias são consideradas por meio do coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ); já as variações horárias são levadas em conta pelo coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ). Os valores desses coeficientes variam conforme as características de cada lugar. No entanto, é comum se adotar valores padrões, sendo 1,2 para o  $k_1$  e 1,5 para o  $k_2$ .

#### **2.2.1.4. Estudo da População**

As obras de saneamento, inclusive as de abastecimento de água, devem ser projetadas de forma a atender uma população maior do que a atual, compatível com o crescimento demográfico em um determinado período de tempo, conhecido como horizonte temporal, alcance do projeto, ou ainda período do projeto.

O alcance do projeto corresponde ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas. No Brasil, os sistemas de abastecimento de água têm sido projetados com alcances que variam de 10 a 30 anos (Gomes, 2009).

A previsão da evolução populacional de uma localidade depende de vários fatores, que por sua vez dependem de aspectos econômicos, sociais e políticos, o que torna a previsão mais ou menos complexa (Gomes, 2009). Diversos são os métodos aplicáveis para o estudo demográfico, destacando-se entre eles o método dos componentes demográficos, matemáticos e os de extrapolação gráfica.

Conhecidas as informações de demanda *per capita*, coeficientes de variação do consumo e população futura, é possível, então, que se faça o cálculo da demanda que será utilizada na concepção de cada parte do SAA a se projetar.

No caso da expansão de um sistema já existente, a concepção passa a diagnosticar a situação atual de capacidade de cada uma das unidades componentes em função das demandas calculadas, analisando a necessidade, ou não, de adequação. Geralmente, a unidade que mais demanda ajustes é a rede de distribuição.

#### **2.2.2. Projeto de Rede de Distribuição de Água**

O projeto de uma rede de distribuição consiste no seu traçado, conforme a distribuição urbana da população e seu dimensionamento, de forma a alcançar os parâmetros mínimos exigidos na norma vigente

##### **2.2.2.1. Traçado da Rede**

Os traçados das redes de distribuição são basicamente de dois tipos: malhado e ramificado, a depender da disposição das canalizações primárias e o sentido do escoamento nas tubulações secundárias.

Gomes (2009) aponta algumas das principais recomendações sobre o traçado das redes urbanas, dentre elas a de que o traçado deve ser prioritariamente malhado. Tais recomendações se completam àquelas apresentadas na Norma NBR 12218, de 1994, quanto ao traçado da rede e equipamentos acessórios.

##### **2.2.2.2. Dimensionamento de rede**

No dimensionamento da rede é essencial o cumprimento de algumas condições específicas determinadas na Norma NBR 12218, de 1994, sendo, para tanto, necessária uma análise hidráulica da mesma.

Uma das condições específicas exigidas na Norma é a relativa às pressões mínimas e máximas na rede, fixadas entre 50 mH<sub>2</sub>O e 10 mH<sub>2</sub>O. A esse respeito, Tsutiya (2006) recomenda que, obedecidas as recomendações de pressões mínimas, as máximas devem

ser as menores possíveis, devido ao fato de tanto o consumo quanto as perdas aumentarem com a pressão na rede. Para tanto, a rede deve ser subdividida em zonas de pressão, sendo cada uma abastecida por um reservatório de distribuição.

Quanto às velocidades mínimas e máximas, a Norma NBR 12218, de 1994, determina os valores de 0,6 m/s e 3,5 m/s. Outra condição sujeita às recomendações são os diâmetros mínimos, cujo valor recomendado é de 50 mm para as tubulações secundárias.

Os métodos a serem utilizados para o dimensionamento da rede são variados e dependem do tipo a se dimensionar; entretanto, Tsutiya (2006) argumenta que a tendência atual é a utilização cada vez maior dos métodos de otimização econômica. Mais detalhamento quanto aos métodos de dimensionamento de rede de distribuição são apresentados por Tsutiya (2006) e por Gomes (2009).

### **2.2.2.3. Normas Técnicas**

As normas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relativas à SAA são basicamente oito, que normatizam cada uma das componentes do sistema. Contudo, no que tange a projetos de rede de distribuição de água, a norma de interesse é a NBR 12218, de 1994 (Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público), que traz como complemento as normas NBR 12211, de 1992 (Estudo de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água - Procedimento), e a NBR 12217, de 1994 (Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento).

## **2.3. Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas**

Segundo Câmara e Davis (2001), geoprocessamento é o conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo particular. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por meio de sistemas específicos, mais comumente chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Segundo Câmara *et al.* (1998), os SIGs são sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los. Um SIG é composto por cinco componentes, a saber: Interface com o usuário; Entrada e integração de dados; Funções de processamento gráfico de imagens; Visualização e plotagem e; Armazenamento e recuperação de dados.

Os dados tratados em um SIG podem ser de diversas fontes e formatos, com relações espaciais entre si. Esses dados podem ser genericamente separados em mapas temáticos cadastrais, redes, imagens e modelos digitais de terreno (MDT) (Nascimento, 2008). Um mapa em um SIG consiste de dados espaciais apresentados por um documento geográfico georreferenciado com uma determinada projeção e dados de atributos tabelados.

### **2.3.1. Software**

Na elaboração e avaliação dos mapas, majoritariamente é usado o sistema ArcGis, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). O sistema ArcGis é comercial, entretanto são disponibilizadas versões *trials* no site do desenvolvedor. Um dos pontos fortes é a sua diversidade de aplicações em diferentes áreas do conhecimento, apresentando um caráter multidisciplinar, possibilitando o uso de ferramentas específicas

para cada atividade a ser executada, sendo dispensável a utilização de outros sistemas (Santos *et al.*, 2010).

## 2.4. Análise Espacial Multicritério

Para Medeiros e Câmara (2001), na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço devem incluir a análise dos diferentes componentes do meio ambiente, incluindo o meio físico-biótico, ocupação humana e o inter-relacionamento destes. Neste contexto, vêm se destacando o geoprocessamento e suas ferramentas, entre outras coisas por possibilitar a padronização e a integração de dados de diversas fontes.

Uma análise de multicritérios pode ser entendida como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas, fundamentada em vários critérios, objetivando direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (Roy, 1996 *apud* Corseuil, 2006).

Há diferentes métodos de análise espacial no contexto da produção de novos mapas a partir de dados já existentes, entre os quais podem ser destacados os métodos booleano, *fuzzy* e combinação linear ponderada. Antes de se discuti-los, faz-se necessário definir e diferenciar os tipos de critérios. Segundo Weber e Hasenack (2003), um critério é uma base mensurável e avaliável para uma decisão, podendo ser de natureza restritiva ou relativa.

As restrições são os critérios que limitam as alternativas que estão sendo consideradas, excluindo áreas e delimitando espacialmente as possibilidades de escolha. Já os critérios de natureza relativa, ou fatores, são aqueles que apresentam certo grau de capacidade para uma alternativa específica, para a atividade considerada. Estes representam áreas que variam espacialmente seu grau de aptidão (Weber e Hasenack, 2003).

### 2.4.1. Método Booleano

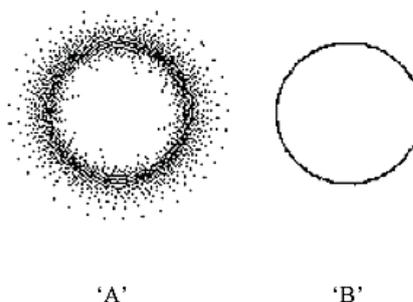
A modelagem segundo operadores de lógica booleana em SIG é análoga à sobreposição de mapas em formato analógico em mesa de luz (*overlay*), método tradicionalmente utilizado em estudos geológicos (Moreira *et al.*, 2001).

As regras de associação booleanas são baseadas na teoria dos conjuntos, ou seja, determinado objeto (ou contexto) atende ou não a certa regra, não existindo condição intermediária para esse fato. O resultado é expresso de forma binária, com “0” (hipótese não satisfeita) e “1” (hipótese satisfeita), não sendo possível a qualidade talvez (Nascimento *et al.* 2009; Moreira *et al.*, 2001).

### 2.4.2. Método Fuzzy

A modelagem baseada em lógica *fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa, tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes (Burrough e McDonnell, 1998). A diferença de fronteiras entre os conjuntos *fuzzy* e booleano está representada na Figura 2.

**Figura 2** - Diferença de fronteira entre conjuntos *fuzzy* (A) e booleano (B)



Fonte: Moreira *et al.*, 2001

Como descreve Burrough e McDonnell (1998), existem diferentes tipos de funções de associação *fuzzy*, sendo a função linear uma das mais utilizadas. A função linear é dada por uma linha inclinada que varia do menor valor de pertinência até o maior linearmente, podendo ser escalonada de “0” a “1” até que a compatibilidade entre os critérios seja completada

### 2.4.3. Método da Combinação Linear Ponderada

O método da Combinação Linear Ponderada consiste em padronizar os fatores para uma escala numérica comum e depois atribuir pesos a cada um deles. Por fim, os fatores são combinados por meio de uma média ponderada, podendo-se adicionar as restrições, que excluem as áreas inaptas. O produto é uma superfície contínua. O modelo é mostrado na Equação 1 (Corseuil, 2006).

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \cdot \prod_{j=1}^k C_j \quad (1)$$

Onde, **S** é o valor final (nota atribuída ao fator considerado); **W<sub>i</sub>**, o peso do fator **i**; **X<sub>i</sub>**, o fator padronizado; **n**, o número de fatores; **C<sub>j</sub>**, o valor da restrição (0 ou 1); e **k**, o número de restrições.

O método de Combinação Linear Ponderada apresenta como principal propriedade a possibilidade de efetuar uma compensação entre os fatores por meio da aplicação de pesos ponderados, chamados de pesos de fatores. Isso significa que uma qualidade ruim atribuída a um determinado critério pode ser compensada por um conjunto de boas qualidades aplicadas a outros (Corseuil, 2006).

### 2.4.4. Técnica AHP - Processo Analítico Hierárquico

As ferramentas de suporte à decisão são úteis para a racionalização da combinação de dados. Uma das técnicas mais vantajosas é o Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process - AHP*), desenvolvida por Saaty (1977, *apud Santos et al.*, 2010), e considerada um dos métodos mais promissores e comumente usados no contexto do processo de tomada de decisão.

O AHP se baseia na lógica de comparação pareada. Nesse método, os diferentes critérios que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois, sendo atribuído um valor de julgamento à relação entre eles, de acordo com uma escala predefinida (Moreira *et al.*, 2001). Segundo Santos *et al.* (2010), a fase de escolha dos valores, com base na escala de comparadores, é um dos momentos mais importantes do processo.

Saaty (1977, *apud* Santos *et al.*, 2010) propôs uma escala fundamental de comparação entre pares de critérios que contém nove pontos (Tabela 1). Essa relação é utilizada como dado de entrada em uma matriz de comparação pareada, onde são calculados os autovalores e autovetores da matriz.

**Tabela 1** - Escala de comparadores

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty, 1977 *apud* Santos *et al.*, 2010

A escolha da matriz é feita por meio da Razão de Consistência (RC) e dos pesos de compensação que melhor representam o que se considera como ordem de importância dos critérios, de acordo com o estudo. A RC indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente. Seu valor deve estar sempre abaixo de 0,10 (Saaty 1977, *apud* Nascimento, 2008).

## 2.5. Modelos de Simulação Hidráulica

Tratam-se de modelos de simulação hidráulica aquelas ferramentas computacionais desenvolvidas para representação dos sistemas físicos, baseando-se em leis que regem o escoamento dos fluidos. Por meio das simulações hidráulicas podem, inclusive, se analisar o comportamento da operação de Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs).

Há uma diversidade de modelos de simulação hidráulica aplicáveis a SAA, contudo, um deles se destaca dos demais por apresentar boa qualidade e ser de domínio público. Trata-se do EPANET, programa gratuito criado pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, ou *U.S. Environmental Protection Agency*.

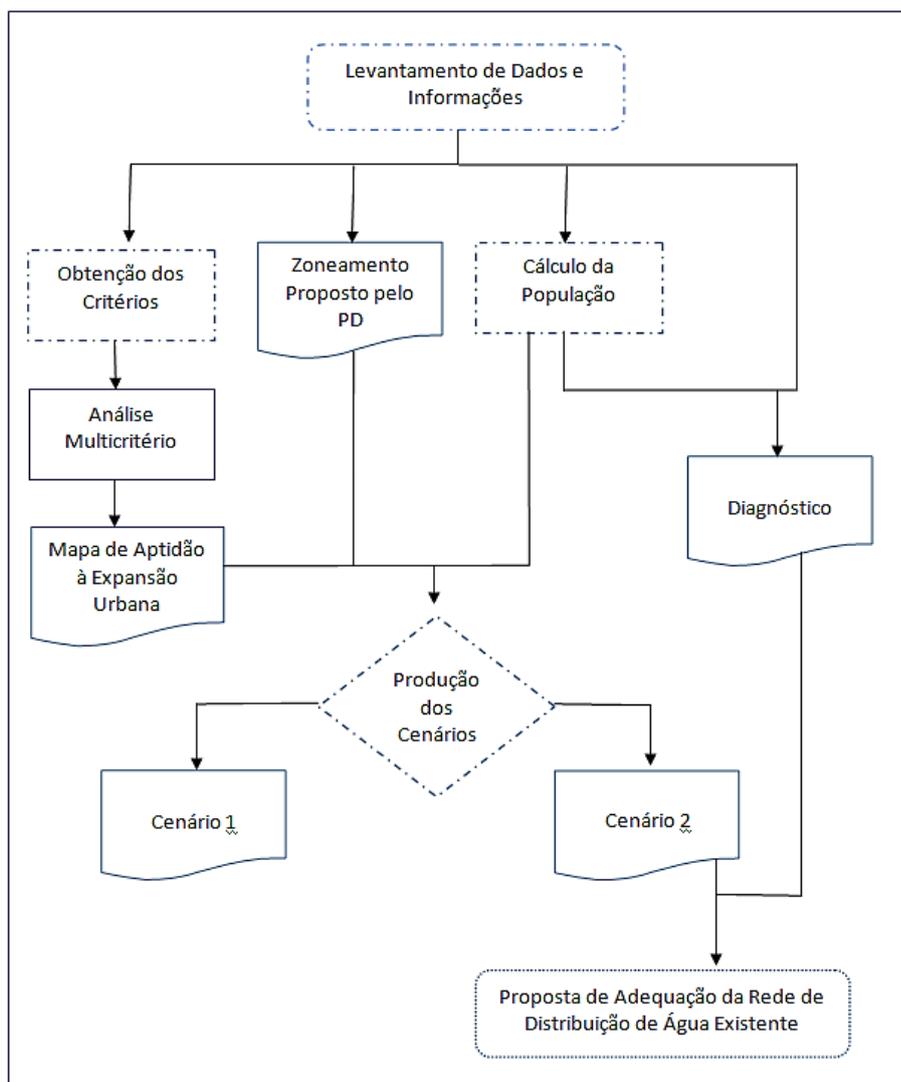
O EPANET é um sistema computacional que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada.

Por outro lado, o sistema possui um ponto negativo comumente apontado pela literatura que é a ausência de um ambiente gráfico que permita a digitalização da rede sobre uma imagem de satélite, bem como a obtenção das características espaciais dos nós, fator esse que pode ser solucionado por meio da integração do EPANET com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

### 3. METODOLOGIA

Com vista a atender os objetivos propostos e tendo por base o referencial teórico, formulou-se a metodologia a ser descrita, cujas etapas estão, resumidamente, esquematizadas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma metodológico



#### 3.1. Levantamento de Dados e Informações

Para a realização do diagnóstico e das demais etapas da metodologia, fez-se, a priori, o levantamento de dados necessários. Tais dados, na maioria secundários, foram divididos em quatro grandes grupos, de forma a facilitar sua apresentação. São eles: dados físicos, legais, demográficos e do atual Sistema de Abastecimento de Água.

### 3.1.1. Dados Físicos

Os dados físicos são aqueles relativos ao próprio meio físico em estudo. São eles:

- Mapas de pedologia e geologia, em 1:250.000, extraídos do Zoneamento Ecológico-Econômico da Área do Entorno do Distrito Federal (IBGE/SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação de Goiás –, 1994);
- Imagens dos satélites *RapidEye* de 2011, com resolução de 5 metros (m), obtidas junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA);
- Imagem do Google *Earth Pro* de 2015, com resolução de 1,2m;
- MDT do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução de 30 m, extraído do site da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

### 3.1.2. Dados Legais

Os dados legais apresentam informações importantes para se legitimar a aplicação da metodologia. As leis, resoluções e normas que foram consideradas estão pré-apresentadas no capítulo de referencial bibliográfico. Inclusive o Plano Diretor (PD) do município, referente ao ano de 2003, que foi disponibilizado juntamente com seus mapas (em formato DWG) pela Prefeitura de Formosa.

### 3.1.3. Dados Demográficos

A fonte utilizada para o levantamento dos dados demográficos foi o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram levantados os seguintes dados: última população do município apurada pelo censo, taxas de mortalidade e fecundidade específicas, e a constante de migração.

### 3.1.4. Dados do atual SAA

Os dados inerentes ao SAA existente foram apurados com o intuito de se atender ao que determina a Norma NBR 12211 de 1992 no que tange à necessidade de um diagnóstico atual do sistema, visando o aproveitamento das unidades já existentes.

O cadastro do SAA, atualizado em 2009, foi obtido junto à Prefeitura de Formosa. Informações quanto à capacidade de algumas das unidades foram extraídas do parecer feito para o serviço de água e esgoto de Formosa, em 2010. Por fim, os valores de volumes produzidos e consumidos pelo atual sistema foram consultados por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

## 3.2. Cálculo Demográfico

Para a determinação das vazões de projeto, bem como da expansão da malha urbana, é necessário que haja uma estimativa da população futura. A metodologia escolhida para tanto foi o método das componentes demográficas, que segundo o Plano Diretor de Formosa (2004), permite certo controle sobre o resultado final, podendo os efeitos e consequências na composição e volume da população serem explicados demograficamente.

A aplicação desse método consiste em estimar quinquenalmente a população por meio do emprego de taxas específicas de fecundidade, mortalidade e migração aos

diferentes grupos etários. Para a execução do método, criou-se, utilizando-se o *software* Matlab, um programa capaz de aplicar a metodologia aos dados levantados; e cuja descrição está apresentada no Anexo I deste trabalho.

Com relação aos dados de entrada utilizados, verificou-se uma grande dificuldade na obtenção de informações para o mesmo período e escala. Foram adotados os seguintes dados:

- População de Formosa - GO em 2010, separada por sexo e idade (Censo);
- Dados de migração de Formosa - GO em 2010, separada por sexo (Censo);
- Taxa de fecundidade específica, do Centro-Oeste, relativa ao ano de 2000;
- Taxa de mortalidade de Goiás em 2010, separada por sexo e idade.

De forma a considerar as especificidades da área de projeto, serão construídos dois cenários de distribuição da população prevista, respeitando-se o zoneamento proposto pelo Plano Diretor e a aptidão ambiental.

### **3.3. Verificação da Situação Atual de Ocupação**

Esta etapa tem por objetivo averiguar o status de adequação do crescimento urbano real ao zoneamento proposto pelo PD, até o ano de 2015, evidenciando seu potencial de adensamento (vazios urbanos) e ocupações irregulares.

Para tanto, foi gerado um mapa temático de uso e ocupação do solo por meio do mosaico de imagens de alta resolução (obtidas do *Google Earth Pro*), aplicando-se a metodologia proposta por Almeida e De Carvalho (2012), que será mais bem descrita no tópico 3.4. Essa classificação foi, então, sobreposta ao mapa de aptidão e zoneamento, visando, com isso, identificar as áreas construídas irregularmente dentro do perímetro de estudo.

### **3.4. Mapa de Aptidão à Expansão Urbana**

O mapa de aptidão à expansão urbana tem por objetivo definir espacialmente, dentro da área de estudo, as regiões mais propícias à ocupação urbana de acordo com as características físicas do meio. Para sua formulação, inferiu-se que a legislação do item 2.3.2 e as potencialidades e fragilidades do meio físico, dados da literatura e de conhecimentos adquiridos, seriam respeitadas rigorosamente.

Tendo em vista as divergências nos conceitos de expansão urbana, considera-se neste trabalho como expansão urbana qualquer transformação territorial que tenha por objetivo ou por efeito o aumento da área total do solo urbanizado e a ampliação do perímetro urbano. Essa definição abrange praças e zonas especiais.

#### **3.4.1. Obtenção dos Critérios**

Na elaboração e avaliação dos mapas, utilizaram-se os seguintes SIGs: SPRING 5.2.6, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; e ArcGis 10.2.2 *trial*, desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institut (ESRI)*.

Para utilização da análise multicritério, foram selecionados seis critérios. Eles foram escolhidos de acordo com a disponibilidade de dados e com aqueles abordados por Dias *et al.* (2004), Corseuil (2006), Nascimento (2008), Carmo *et al.* (2011) e Jhon *et al.* (2013).

Desta forma, consideraram-se como critérios: pedologia, geologia, declividade, distância da infraestrutura existente, uso e cobertura do solo, e áreas de restrições ambientais e legais.

O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido no SPRING a partir do processamento digital das bandas multiespectrais do Satélite RapidEye, utilizando-se os algoritmos de segmentação de imagens e a classificação supervisionada *Bhattacharya*, cujos passos metodológicos encontram-se em Almeida *et al.* (2010). Posteriormente, foi feita por meio do ArcGis a edição vetorial objetivando eliminar possíveis confusões pelo algoritmo utilizado.

O mapa de distância da infraestrutura existente foi feito no ArcGis a partir das informações de perímetro adensado e de rodovias. Para definição das áreas de influência, delimitou-se a área efetivamente adensada, ou seja, excluíram-se as do perímetro urbano que ainda não se encontravam ocupadas, a qual foi chamada de perímetro urbano adensado. Essa delimitação teve como objetivo valorizar as áreas do perímetro urbano que não estavam ocupadas.

Estabeleceu-se, então, uma faixa radial de atração à ocupação urbana de 3 km do perímetro adensado (Nascimento, 2008), discretizada de 50 em 50 m por meio da ferramenta *Multiple Ring Buffer*. Também foi definida uma faixa de 500 m de influência para as rodovias, com a ferramenta *Buffer*.

O mapa de declividade foi gerado no ArcGis a partir do MDT, com o auxílio da ferramenta *Slope*, gerando uma imagem matricial com informações de declividade em porcentagem, conforme metodologia de Almeida e De Carvalho (2012).

Por sua vez, o mapa de restrições ambientais e legais foi gerado no ArcGis respeitando-se a legislação contida no item 2.2.1. Nos casos das restrições de Área de Proteção Permanente (APP), foi usada a ferramenta *Buffer*, e, para as restrições de declividade, fez-se uma classificação da simbologia do mapa de declividade. Consideraram-se, também, as informações do PD para as regiões onde não é admitido crescimento urbano, são elas: zona de serviços especiais (ZSE), zonas industriais (ZI), parques urbanos, zona de proteção ambiental (ZPA) e área do exército.

Todas as informações relativas ao município de Formosa, para o mapa de aptidão, foram organizadas em mapas temáticos e georreferenciadas com base no sistema de coordenadas projetadas SIRGAS 2000, zona UTM (*Universal Transversa de Mercator*), latitude padrão 23º Sul.

### **3.4.2. Aplicação da Análise Multicritério**

A fim de elaborar os cenários futuros de ocupação, foi escolhida uma análise multicritério baseada nos métodos *fuzzy*, booleano e combinação linear ponderada, associados à técnica AHP para definição dos pesos de cada critério no mapa de aptidão à ocupação urbana de Formosa. *A priori*, os critérios usados na análise em questão tiveram de ser convertidos para o formato matricial – à exceção do mapa de declividade, que já era matricial.

#### **3.4.2.1. Padronização dos Critérios**

A padronização dos critérios consiste em trazer as aptidões das classes de cada fator para um intervalo numérico comum, com o objetivo de possibilitar a comparação entre eles. Para atribuir as notas de favorabilidade à ocupação urbana os mapas em formato matricial foram reclassificados – metodologia descrita por Santos *et al.* (2010).

De acordo com as definições de fatores e restrições, foi considerado critério restritivo apenas as restrições ambientais e legais. Nesse caso, a lógica booleana foi usada, associando-se “0” para as zonas restritas e “1” para as demais. Os outros critérios se classificam como fatores. As classes destes mapas receberam notas de aptidão variando na faixa de “1” (escassa) a “5” (ótima).

A lógica *fuzzy* linear foi aplicada aos valores de distância de infraestruturas existentes, variando de “1”, quando a distância do perímetro efetivamente adensado for igual ou maior que 3 km, até “5”, nas áreas que possuem estruturas de saneamento básico e transporte completada

### 3.4.3. Método da Combinação Linear Ponderada

Os procedimentos para aplicação da técnica AHP na determinação dos pesos dos critérios, como auxílio na produção de cenários no ArcGis, foram empregados aos fatores, de acordo com Santos *et al.* (2010) e com o auxílio do editor de planilhas *Microsoft Office Excel 2013*. Fase denominada ponderação dos fatores.

Na matriz de comparação pareada, defrontou-se a importância relativa que o fator da linha teve sobre o fator da coluna, de acordo com a escala da Tabela 1. Feito isso, foi arranjada uma matriz normalizada, onde o valor de cada célula da matriz anterior foi dividido pelo somatório da coluna correspondente.

O peso de cada fator é obtido pela média dos elementos da respectiva linha da matriz normalizada. Para verificar se os pesos encontrados eram aceitáveis, calculou-se o índice de consistência (IC) (Equação 2). Deu-se maior importância aos fatores que mais interferem na questão socioambiental, assim como àqueles que possuem escalas maiores – e são, portanto, mais precisos.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Em que, IR é o índice randômico de consistência, que pode ser extraído da Tabela 2; IC, o índice de consistência, calculado pela Equação 3.

**Tabela 2** - Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n

n	2	3	4	5	6	7
IR	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Fonte: Santos *et al.*, 2010

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (3)$$

Em que, **n** é o número de variáveis testadas, correspondendo ao número de colunas ou de linhas; e  $\lambda_{max}$ , o autovetor, calculado pela Equação 4:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (4)$$

Onde, **[Aw]<sub>i</sub>** é a matriz resultante do produto da matriz recíproca pela matriz dos pesos calculados (**w<sub>i</sub>**); e **w<sub>i</sub>** é o peso de cada critério.

Por fim, chegou-se ao modelo matemático que gerou o mapa de aptidão, baseado na Equação 1. Para sua implementação, usou-se a ferramenta *Raster Calculator*, que permite o cruzamento de dados matriciais (Santo *et al.*, 2010).

### 3.5. Construção dos Cenários de Ocupação

Objetivando a verificação da capacidade do zoneamento proposto em receber diferentes distribuições demográficas, foram construídos dois cenários de ocupação. Um considerando que o zoneamento foi ineficaz, e assim sendo, a densidade demográfica se manteve semelhante à diagnosticada pelo Plano Diretor; e outro assumindo uma diversificação da densidade populacional ao longo do perímetro urbano.

Considerando que os cenários deveriam respeitar a aptidão verificada na região, o primeiro passo foi a “exclusão” das regiões dentro da área de estudo que estivesse irregularmente em áreas inaptas. Então, a população futura foi distribuída ao longo da área restante, considerada apta à ocupação residencial.

No Cenário 1, essa distribuição se deu segundo uma densidade demográfica homogênea de 40 hab./ha, obtendo-se, assim, uma mancha que extrapolava os limites do perímetro urbano proposto pelo Plano Diretor. Por esse motivo, teve que se identificar, dentre as áreas externas ao perímetro, áreas propícias, segundo o mapa de aptidão gerado, a receber tal expansão urbana prevista. Por fim, obteve-se um novo perímetro urbano capaz de receber a mancha urbana prognosticada.

No Cenário 2, os parâmetros fixados foram os limites territoriais predefinidos pelo zoneamento proposto; significando que a distribuição foi feita respeitando a segregação da área em zonas de alta/média, média e baixa densidade. Para isso, foram levantados, na literatura, alguns índices urbanísticos que pudessem assinalar, de alguma forma, qual seriam as densidades esperadas para cada uma das zonas propostas, consolidando, assim, o Cenário 2.

### 3.6. Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água

A *priori*, foram calculadas as demandas futuras para cada uma das unidades, que, posteriormente, foram utilizadas como critério de verificação do sistema atual.

#### 3.6.1. Cálculo das vazões de projeto

Conhecida a população futura e a demanda *per capita*, foi, então, determinado o consumo previsto para cada uma das unidades do Sistema de Abastecimento de Água. O cálculo dessas demandas foi feito pela Equação 5 para a ETA, e Equação 6 para as vazões na rede de distribuição.

$$Q_1 = \frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_p \quad (5)$$

$$Q_2 = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P \cdot q}{86400} \quad (6)$$

Onde  $P$  é a população da área abastecida (hab.);  $q$ , o consumo *per capita* (l/hab.dia);  $K_1$ , coeficiente o dia de maior consumo;  $K_2$ , coeficiente da hora de maior consumo;  $Q_p$ , vazão relativa às perdas na tubulação (l/s).

### 3.6.2. Verificação da Adequação das Unidades Existentes

Com base nas vazões resultantes da etapa anterior e em recomendações feitas pelas normas técnicas e pela própria literatura, procedeu-se à verificação de algumas das unidades existentes. Com relação à estação de tratamento, foi avaliada sua capacidade quantitativa em atender as demandas previstas para o período de estudo. O mesmo foi feito para os reservatórios de distribuição, considerando a recomendação de Tsutiya (2005), que diz que a capacidade dos reservatórios deve ser no mínimo 1/3 do volume de água consumido no dia de maior consumo.

No que se refere à rede de distribuição, essa foi avaliada quanto a sua extensão com relação à ocupação atual e prevista, e também segundo as indicações feitas pela NBR 12218, de 1994, principalmente no que diz respeito às zonas de pressão e ao arranjo das tubulações.

## 3.7. Proposta de Nova Concepção para Rede de Distribuição

Feita a verificação do sistema atual, notou-se a necessidade de adequação da rede de distribuição. Buscou-se, então, adotar a concepção mais apropriada sob o ponto de vista técnico e que aproveitasse, ao máximo, as instalações do sistema atual. A proposta para nova concepção do sistema foi feita seguindo-se o roteiro básico recomendado por Tsutiya (2005).

### 3.7.1. Estudo das Zonas de Pressão

Com base no diagnóstico do sistema atual, e na construção do Cenário 2, que definiu as áreas a serem ocupadas e suas respectivas densidades demográficas, prosseguiu-se o estudo preliminar das zonas de pressão. A fim de aproveitar ao máximo as instalações atuais, a delimitação das zonas de pressão foi feita com base nos reservatórios de distribuição já existentes. Para tanto, levantou-se a cota de cada reservatório, por meio do MDT, e o nível da água em cada um deles.

Obtidas as informações da elevação estimada para a coluna d'água em cada reservatório, procedeu-se a determinação dos lotes que, preliminarmente, estariam abrangidos por cada uma das zonas de pressão. Partindo do critério de pressão máxima e mínima, e respeitando a proximidade com os reservatórios, definiram-se as zonas preliminares de pressão para cada um dos reservatórios existentes.

### 3.7.2. Traçado da rede de distribuição

A partir daí, procedeu-se o traçado das redes principais. Esse traçado foi feito em conformidade com os lotes estabelecidos no Cenário 2, e respeitando-se as recomendações da NBR 12218/94 e da própria literatura. Assim, buscou-se dispor as tubulações principais em circuitos fechados, respeitando a distância máxima entre as tubulações em 400 metros, valor sugerido pela literatura.

### 3.7.3. Dimensionamento dos Conduitos

Após digitalização da rede e obtenção dos dados de vazão e cota para cada nó, esses foram, então, transferidos para o programa EPANET, onde se efetuaram os cálculos de dimensionamento da rede proposta.

A transferência dos nós foi possível por meio do macro (EPAX) (disponível para download em: <http://depositfiles.org/files/znt96ywwmy>), o qual converte informações de redes desde planilhas Excel (.xls) até o formato de rede do EPANET (inp).

Depois do ajuste das configurações, os nós foram, então, importados para o EPANET, permitindo o desenho das tubulações da rede. Para tanto, foram assumidos como valores predefinidos para as tubulações criadas o diâmetro de 75 mm e a rugosidade 0,0015 referente, segundo a literatura, ao material PVC (policloreto de polivinila). O diâmetro de 75 mm foi escolhido por ser o valor mínimo recomendado para tubulações principais, e, portanto, a opção de menor custo.

A partir daí, deu-se prosseguimento à simulação que foi feita sob condições de demanda máxima na rede. Nas zonas de menor porte foi possível a aplicação do algoritmo LENHSNET, que permite o dimensionamento otimizado do sistema de distribuição de água com mínimo de custos.

Para as zonas de maior porte, no entanto, não foi possível a aplicação do LENHSNET e o seu dimensionamento teve que ser feito manualmente. Para isso, variou-se o diâmetro das tubulações que apresentavam alta perda de carga, até que se alcançassem as pressões mínimas ou máximas em cada um dos nós da rede. As velocidades na tubulação, por sua vez, só foram avaliadas posteriormente.

Ao final, foram alocados também alguns órgãos e equipamentos acessórios à rede conforme a necessidade e o estipulado pela Norma NBR 12.218/94, item 5.10. Não foi considerada, no entanto, a presença de hidrantes no dimensionamento da rede.

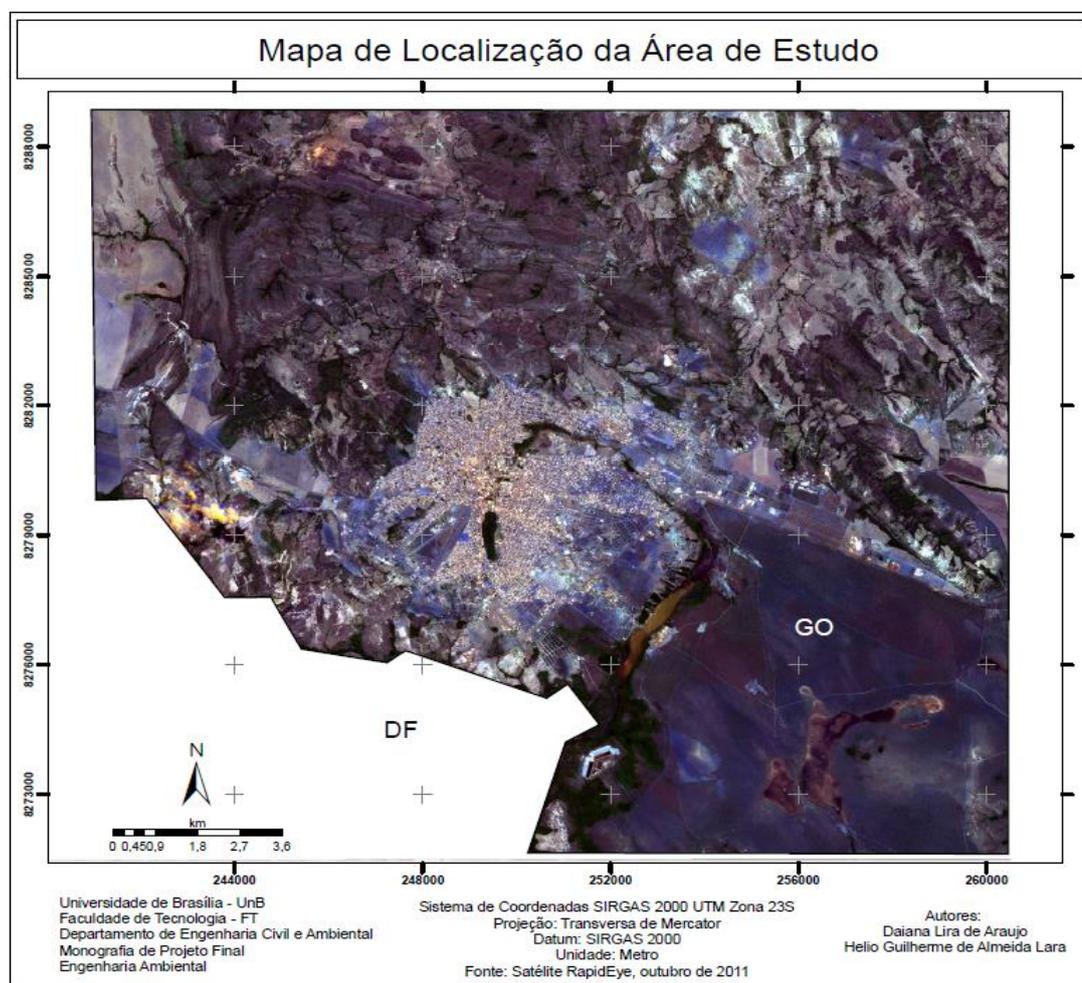
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Diagnóstico

#### 4.1.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudos do presente trabalho é a referente à porção urbana do município de Formosa (Figura 4). O município goiano de Formosa faz fronteira, a oeste, com o Distrito Federal e possui uma área de 5.811,8 km<sup>2</sup>.

Figura 4 - Área de estudo no município de Formosa - GO



Fonte: Satélite RapidEye, outubro de 2011

#### 4.1.2. Plano Diretor de Formosa

O Plano Diretor de Formosa, que visa ordenar o crescimento urbano do município, foi proposto considerando-se o horizonte de aproximadamente 20 anos, em cortes temporais de curto, médio e longo prazos.

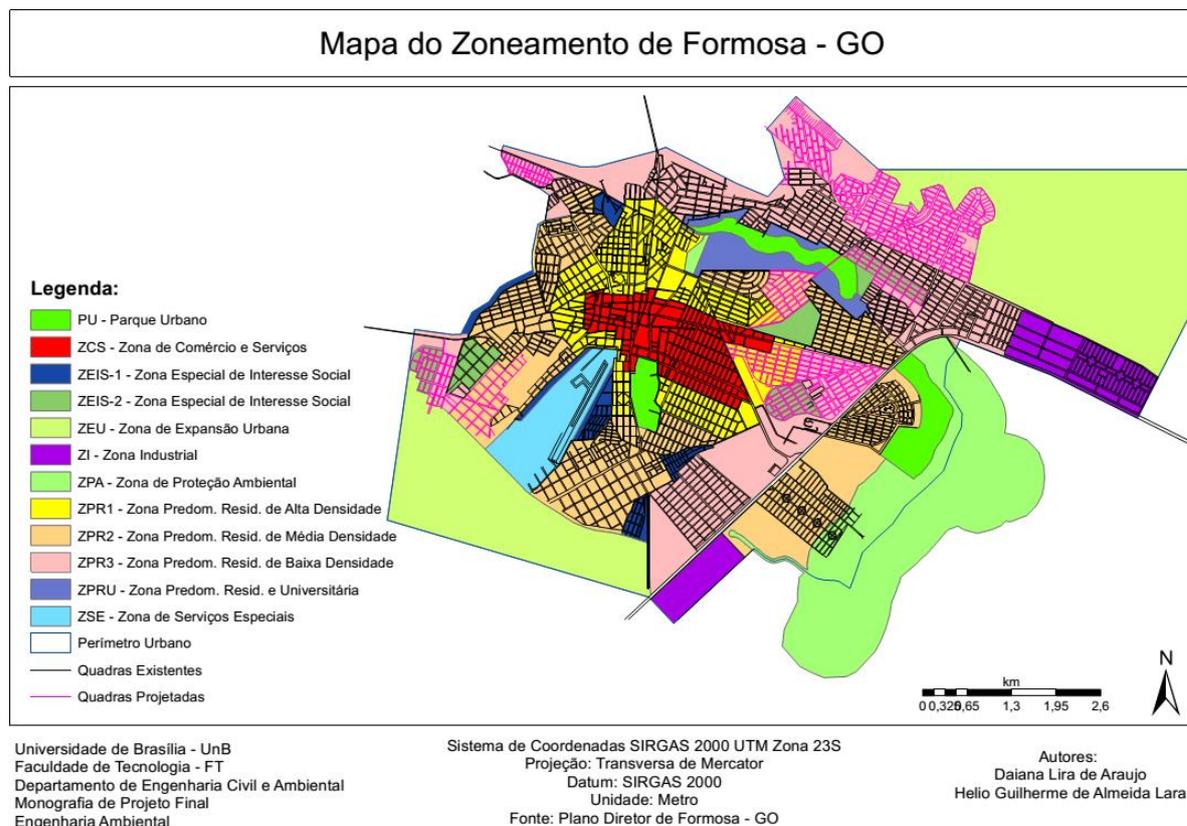
Durante o diagnóstico, o Plano Diretor (PD) verificou que, no tocante à distribuição espacial da população, Formosa apresenta uma ocupação mais densa no setor central da cidade e uma ocupação rarefeita e polinucleada pelas regiões periféricas. Apresentando fortes indícios de irregularidade, sobreposição titular e ocupação de áreas de preservação e de risco, sendo conhecidas diversas ocupações irregulares.

Já durante o prognóstico, foi feito o levantamento de diversas fragilidades e restrições que se impõem às formas de uso e ocupação atual de seu território, devendo, segundo o PD, haver uma série de cuidados a serem observados futuramente.

Como conclusão, recomendou-se que o crescimento futuro se dê, preferencialmente, no eixo intraurbano, de forma a ocupar os diversos vazios urbanos. Nesse sentido, e com vistas à adequação do ordenamento territorial, o PD propôs um zoneamento de uso e ocupação do solo, e estabeleceu, também, um novo perímetro urbano, que buscava evitar áreas com problemas ambientais.

O zoneamento urbano (Figura 5) foi, então, subdividido em zonas de uso, levando-se em conta suas características atuais e sua potencialidade. As zonas propostas foram: as Zonas Predominantemente Residencial de Alta, Média e Baixa Densidade Populacional (ZPR1, ZPR2, ZPR3); a Zona de Comércio e Serviços (ZCS); as Zona Especial de Interesse Social (ZEIS1 e ZEIS2); a Zonas Predominantemente Residencial e Universitária (ZPRU); a Zona Industrial (ZI); a Área de Proteção Ambiental (APA); a Área de Parques Urbanos; e, por fim, a Zona de Expansão Urbana (ZEU).

**Figura 5** - Mapa de Zoneamento urbano proposto pelo Plano Diretor



Com base nas diretrizes do zoneamento proposto, foi possível separar as zonas, que são destinadas, entre outros, ao uso residencial, em três grandes grupos de densidade populacional, sendo que no grupo de alta/média densidade estão as zonas ZPR1 e ZCS; já no grupo de média densidade estão as zonas ZPR2, ZPRU e ZEIS 1 e 2; e no grupo de

baixa densidade estão as zonas ZPR1 e ZEU. Nas demais áreas, no entanto, não é permitido o uso residencial.

## 4.2. Cálculo Demográfico

O cálculo demográfico, gerado através do MatLab, resultou em uma estimativa da população urbana, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3** - População urbana total estimada

ANO	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Habitantes	91.981	101.766	111.693	121.472	130.670	139.738	149.008	158.399	167.607

Fonte: Os autores, 21/05/2015

Apesar de a evolução demográfica ter apresentado taxas abaixo do esperado – 2,04% a.a. (por cento ao ano) em 2015 e 1,51% a.a. em 2050 – quando comparados à população estimada pelo próprio IBGE para o ano de 2014, os resultados apresentam grande razoabilidade. Enquanto o valor previsto pelo IBGE, para 2015, foi de 110.388 habitantes (o que remete a uma população urbana de cerca de 101.450 habitantes) o resultado alcançado pelo programa foi 101.766 habitantes, o que demonstra a confiabilidade da estimativa realizada.

## 4.3. Mapa de Aptidão à Expansão Urbana

A seguir, serão apresentados e discutidos os resultados de cada critério, da análise multicritério e o mapa final de aptidão à expansão urbana do Município.

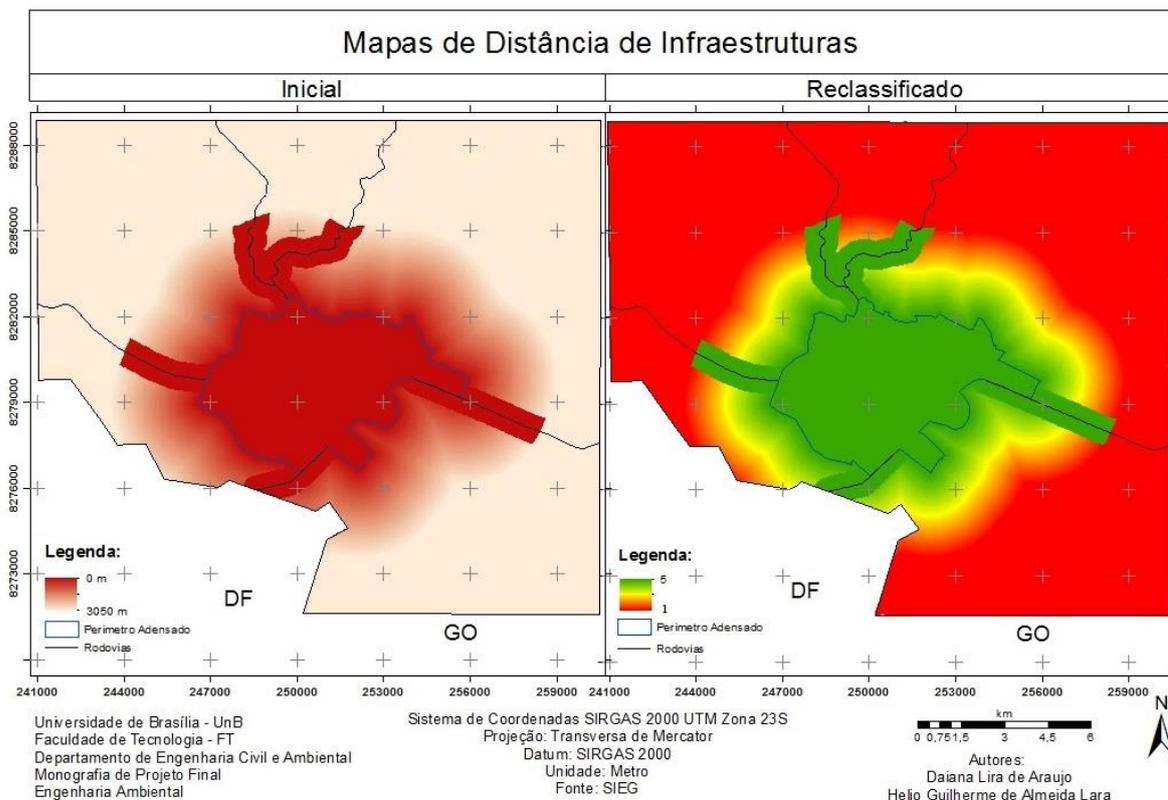
### 4.3.1. Distância de Infraestruturas Existentes

Para efeitos de modelagem do mapa inicial, às áreas no interior do perímetro adensado foi associada a distância de 0 km, e às áreas com distâncias a 3 km foi atribuída a distância de 3.050 m. Dessa forma, foi possível vincular aptidão ótima àquelas, e escassa a estas.

A Figura 6 (a) e (b) mostra os resultados para os mapas de distância de infraestruturas existentes temático e reclassificado. A Tabela 4 exhibe os resultados do mapa reclassificado junto às observações determinantes na atribuição da nota.

Na atribuição das notas de aptidão para o mapa de distância de infraestruturas, procurou-se atribuir maior vocação às áreas próximas às localidades que já possuíam serviços públicos e àquelas próximas das rodovias. Essas são mais propícias à ocupação, ao passo que as mais distantes acarretam maiores despesas com instalação de infraestrutura, somadas aos problemas provenientes de traslado e das despesas com transporte para as novas edificações.

**Figura 6 -** Mapas de distância de infraestrutura: (a) Inicial; (b) Reclassificado



**Tabela 4 -** Resultados das classes qualificadoras do mapa de distância de infraestruturas

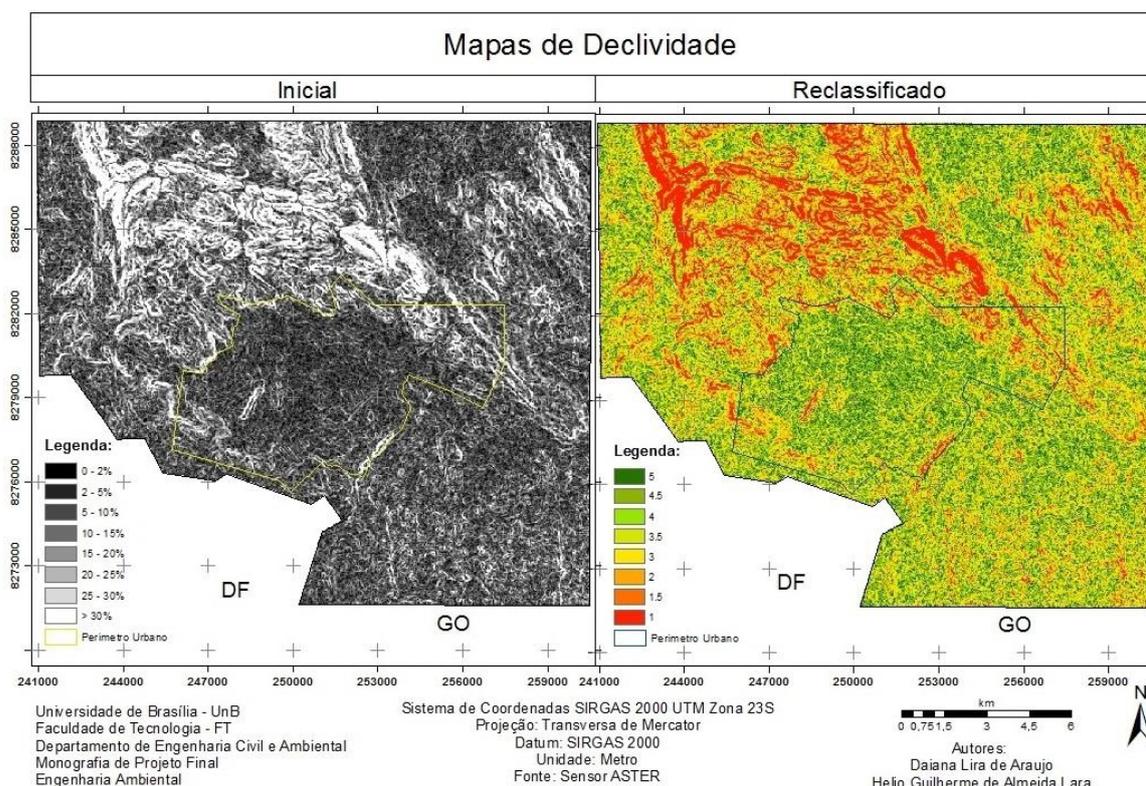
Áreas	Distância (km)	Notas (1 - 5)	Aptidão	Observações
Adensadas	0	5	Ótima	Áreas dentro do perímetro adensado
Rodovias	0 → 0,5			
Distância de Infraestruturas Existentes	0 → 3	5 → 1*	De ótima a escassa	Os custos para implementação de infraestruturas, como saneamento básico, assim como o relacionado à operação e circulação de transportes, aumentam com a distância (Nascimento, 2008)
Distâncias Maiores	> 3	1	Escassa	

Fonte: \*Lógica fuzzy discretizada.

### 4.3.2. Declividade

Os mapas de declividade temático e reclassificado estão representados na Figura 7 (a) e (b), respectivamente. É possível notar que as maiores declividades se concentram nas regiões mais ao norte e à leste da área de estudo e, em alguns casos, ocorrem dentro do perímetro urbano. Essas áreas receberam baixa aptidão, como mostra o mapa reclassificado. Por outro lado, predominam superfícies planas ao sul e no interior do perímetro.

Figura 7 - Mapas de declividade: (a) Inicial; (b) Reclassificado



A Tabela 5 traz os resultados obtidos através do mapa reclassificado. Os números mostram que a maior parte do território, 63,8%, foi diagnosticada como de ótima ou boa aptidão. Já as áreas com declividade igual ou acima de 30%, que também são áreas de proteção permanente, somaram 8,4% da área.

Para determinação das notas de aptidão para a declividade, considerou-se, consoante Nascimento (2008), que as áreas praticamente planas são vulneráveis à ocorrência de inundações e sujeitas a problemas com sistemas que operam por força da gravidade; e, portanto, não receberam a nota máxima. A partir de 10%, o aumento da declividade também foi associado à diminuição da aptidão, uma vez que a declividade influencia diretamente os processos erosivos do solo, que é um problema ambiental, e o custo da maior parte das obras de infraestrutura.

Tabela 5 - Resultados do mapa de declividade reclassificado

Declividade (%)	Nota (1 - 5)	Área		Aptidão	Observações
		km <sup>2</sup>	%		
0 < S ≤ 2	4	6,79	2,40	Boa	Risco de inundações e dificuldades de instalação de redes de esgoto e drenagem pluvial (Nascimento, 2008)
2 < S ≤ 5	5	33,05	11,69	Ótima	Favoráveis à ocupação
5 < S ≤ 10	4,5	77,27	27,34		
10 < S ≤ 15	3,5	63,15	22,34	Boa	A intensificação da declividade aumenta a suscetibilidade à erosão (Jhon <i>et al.</i> , 2013)
15 < S ≤ 20	3	41,10	14,54	Média	
20 < S ≤ 25	2	23,69	8,38	Baixa	
25 < S < 30	1,5	13,92	4,93	Escassa	
> 30	1	23,71	8,39		

Fonte: Os autores, 21/05/2015

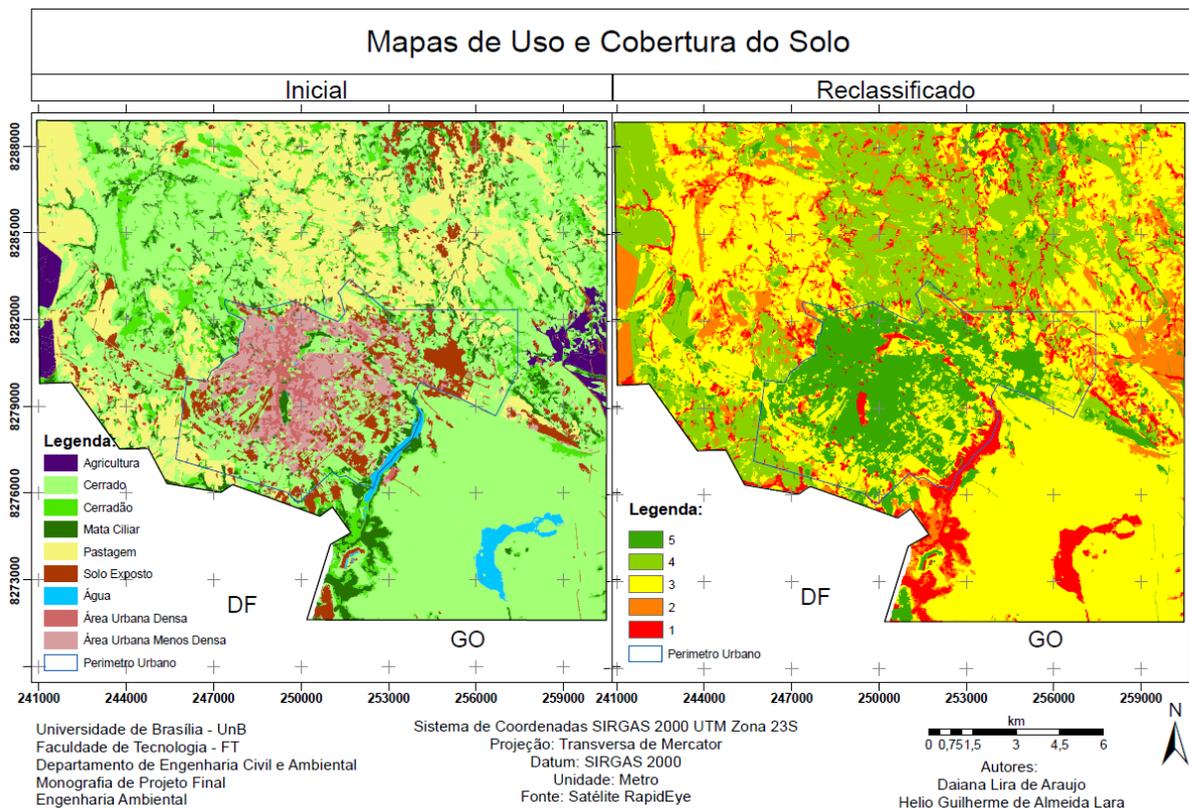
### 4.3.3. Uso e Cobertura do Solo

A Figura 8 (a) e (b) apresenta o mapa de uso e ocupação do solo inicial e reclassificado. A classificação da imagem RapidEye foi feita a partir das seguintes classes: agricultura, cerrado (conjunto a campos), cerradão, mata ciliar, pastagem, solo exposto, área urbana densa, área urbana menos densa e água.

Analisando a Figura 8 (a), pode-se notar uma predominância da classe cerrado, principalmente a nordeste e a noroeste, além da região relativa à área do Exército, a sudeste. Dentro do perímetro urbano é possível observar a ocorrência de classes adversas aos usos urbanos. Parte são áreas de preservação e uso restrito, enquanto o restante são áreas com potencial uso urbano.

A Tabela 6 informa os resultados para o mapa de uso e cobertura do solo reclassificado. Cerca de 34,6% da área em estudo possui de boa a ótima aptidão à ocupação urbana. Quando se considera também a aptidão média, esse número chega a 82,3 % da extensão territorial.

**Figura 8 -** Mapas de uso e cobertura do solo: (a) Inicial; (b) Reclassificado



Na definição das notas, pretendeu-se dar valores menores às áreas que possuíam cobertura vegetal nativa, hierarquizando essas classes quanto à densidade vegetal. Por outro lado, as áreas já impactadas pela ação humana receberam valores de aptidão mais altos. Assim, às áreas urbanas e solos expostos foi concedida aptidão ótima e as áreas de pastagem receberam aptidão boa.

**Tabela 6** - Resultados do mapa de uso e cobertura do solo reclassificado

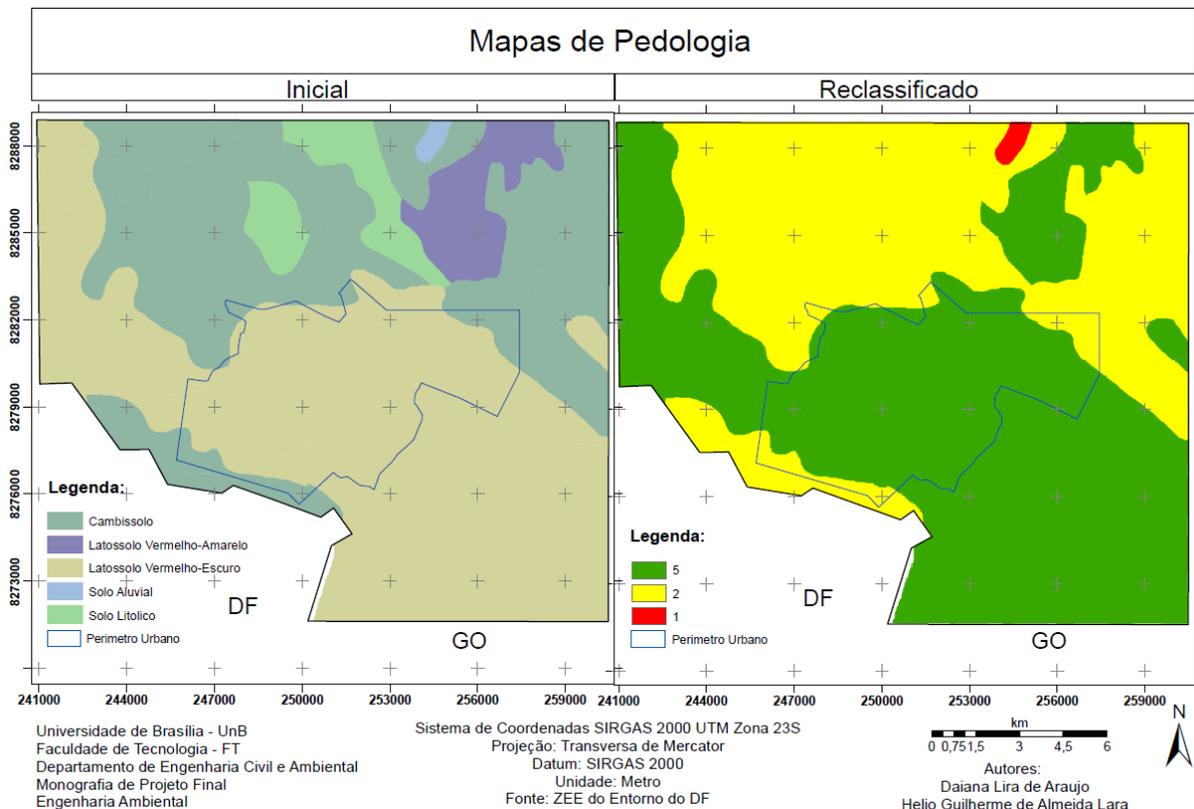
Classes	Nota (1 - 5)	Área		Aptidão	Observações
		km <sup>2</sup>	%		
Área Urbana Densa	5	35,22	12,46	Ótima	Áreas já adensadas Favoráveis à ocupação (Jhon <i>et al.</i> , 2013)
Área Urbana Menos Densa					
Solo Exposto					
Pastagem	4	62,5	22,11	Boa	Áreas já impactadas com alta favorabilidade à urbanização (Jhon <i>et al.</i> , 2013)
Cerrado	3	134,93	47,73	Média	Vegetações nativas com prioridade à conservação (Plano Diretor, 2003)
Cerradão					
Agricultura	2	26,61	9,42	Baixa	Áreas importantes para abastecimento alimentar
Mata Ciliar	1	23,4	8,28	Escassa	Conservação da hidrografia e refúgio da fauna silvestre (Jhon <i>et al.</i> , 2013)
Água					Preservação da hidrografia

Fonte: Os autores, 21/05/2015

#### 4.3.4. Pedologia

A Figura 9 (a) e (b) expõe os resultados do mapa de pedologia temático inicial e reclassificado para a pedologia. Conclui-se que na área de trabalho prevalecem os solos do tipo Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo, sendo que aquele é preponderante no perímetro urbano e adjacências.

**Figura 9** - Mapas de pedologia: (a) Inicial; (b) Reclassificado



Os resultados do mapa de pedologia reclassificado estão contidos na Tabela 7, juntos às observações determinantes na definição das notas. Apesar de a aptidão ótima prevalecer com 57,7% da área, as aptidões baixa e escassa representam uma considerável parcela do solo, com mais de 42,3%.

Na definição das notas de aptidão, considerou-se que o grupo dos Latossolos permite qualquer tipo de uso urbano e rural. Já os Cambissolos são poucos desenvolvidos e apresentam limitações para usos urbanos vinculadas à baixa permeabilidade e à resistência dessas coberturas (SEDHAB, 2012).

**Tabela 7** - Resultados do mapa de pedologia reclassificado

Classes	Nota (1 - 5)	Área		Aptidão	Observações
		km <sup>2</sup>	%		
Latossolo vermelho-escuro	5	163	57,66	Ótima	Favoráveis à ocupação (SEDHAB, 2012)
Latossolo vermelho-amarelo					
Cambissolo	2	118,58	41,95	Baixa	Pouco desenvolvidos, mais suscetíveis à erosão (SEDHAB, 2012)
Solo Litólico					Apresenta limitação para ocupação urbana (SEDHAB, 2012)
Solo Aluvial	1	1,09	0,39	Escassa	Pouco desenvolvidos, podem propiciar risco de inundação e às fundações das obras de engenharia (SEDHAB, 2012; Jhon <i>et al.</i> , 2013)

Fonte: Os autores, 21/05/2015

Os solos litólicos também apresentam limitações para diversos tipos de usos, como agricultura e ocupação urbana, assim como os solos aluviais, que são pouco desenvolvidos e ocorrem principalmente em regiões de relevo plano, associada à vegetação de matas ciliares.

#### 4.3.5. Geologia

A Figura 10 (a) e (b) expõe os resultados do mapa de geologia temático inicial e reclassificado. Nota-se que predominam na área de estudo as classes referentes ao Grupo Bambuí e a Cobertura Terciária/Quaternário.

A Tabela 8 demonstra os resultados do mapa de geologia reclassificado. Depreende-se dela que praticamente a totalidade das classes de geologia, cerca de 96,6% da região, apresentam aptidão boa ou ótima. A partir da Figura 10 (b), pode-se verificar que a classe de aptidão escassa é justamente aquela que não ocorre no perímetro urbano. Dessa forma, esse mapa não deve ter grande influência no mapa de aptidão à ocupação urbana.

Figura 10 - Mapas de geologia: (a) Inicial; (b) Reclassificado

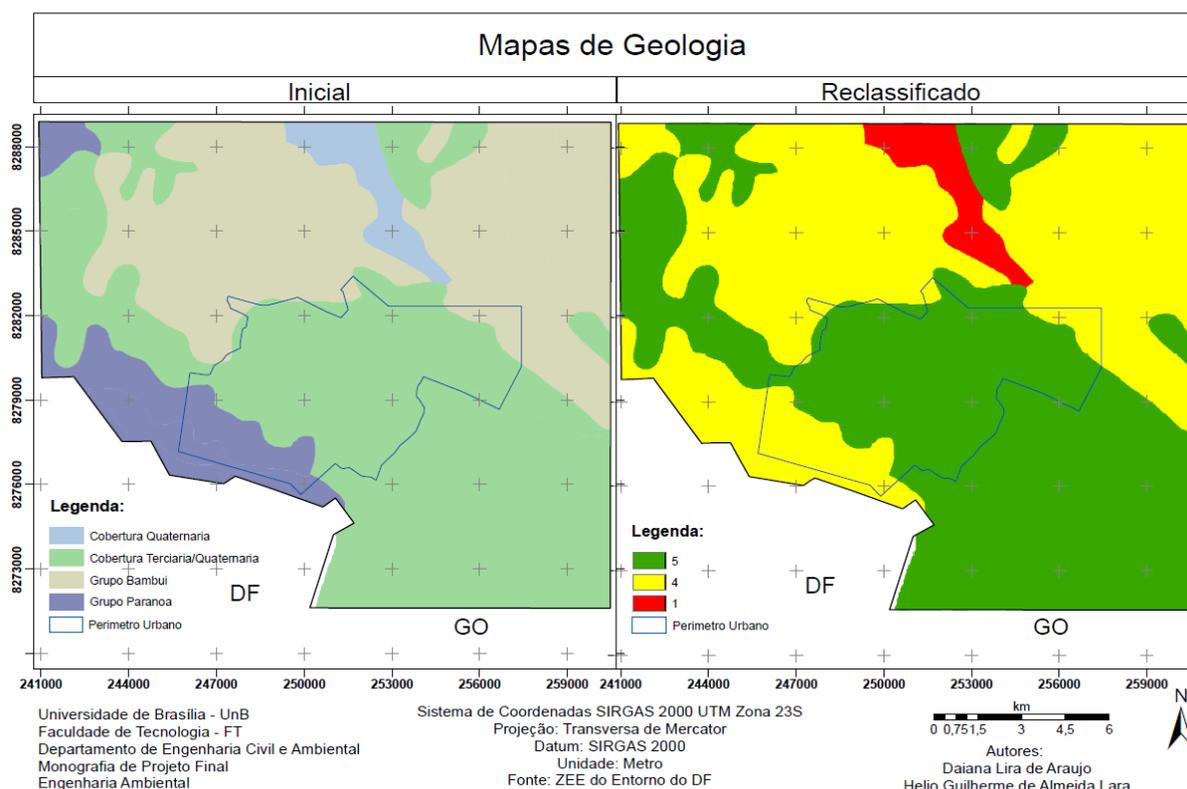


Tabela 8 - Resultados para o mapa de geologia reclassificado

Classes	Nota (1 - 5)	Área		Aptidão	Observações
		km <sup>2</sup>	%		
Cob. Terciária/Quaternária	5	143,28	50,69	Ótima	Favoráveis à ocupação (Nascimento, 2008)
Grupo Bambuí	4	129,83	45,93	Boa	Em alguns casos, a formação de cavidades subterrâneas pode causar risco à fundação das obras de maiores portes (SEDHAB, 2012)
Grupo Paranoá					
Cobertura Quaternária	1	9,56	3,38	Escassa	Quando Aluvião, localizam-se em áreas sujeitas a inundações (Nascimento, 2008)

Fonte: Os autores, 21/05/2015

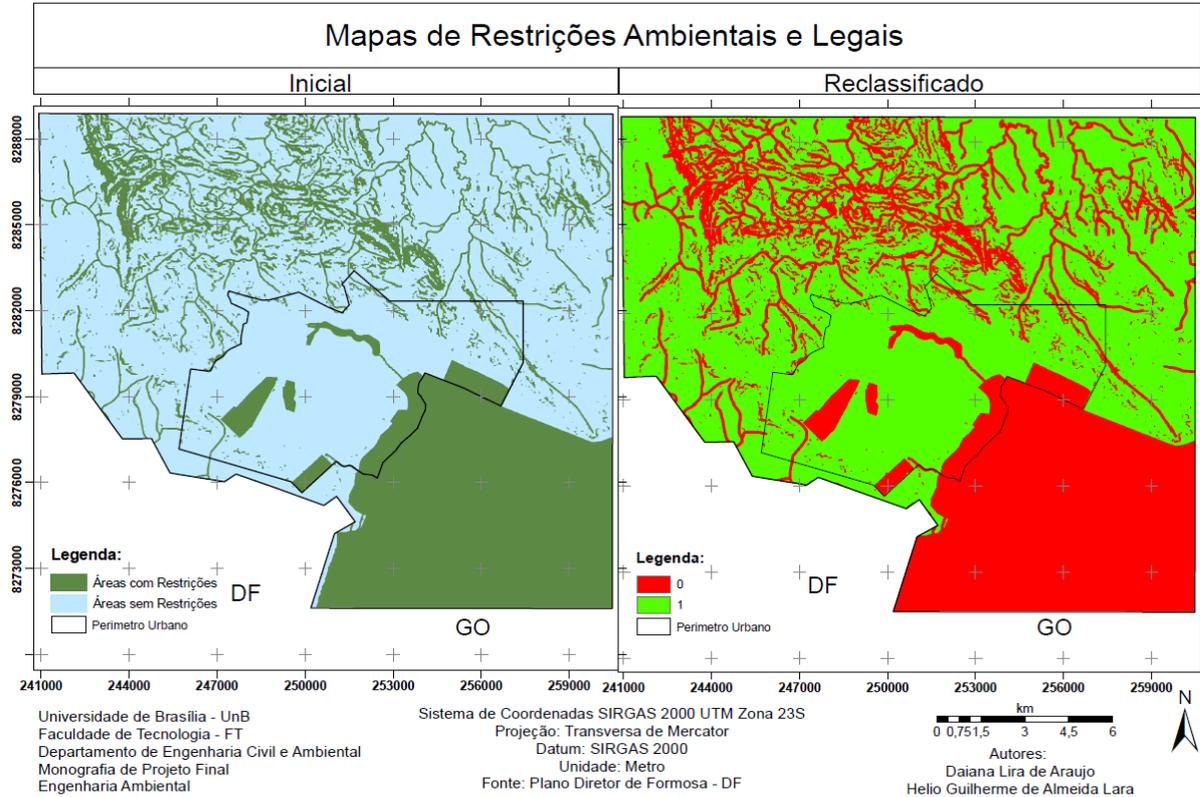
Na determinação das notas, considerou-se que o Grupo Bambuí e Paranoá podem gerar cavidades subterrâneas que dão risco à fundação das obras de maiores portes (SEDHAB, 2012). Nascimento (2008) também considerou que as coberturas terciárias são favoráveis à expansão urbana, enquanto que a cobertura quaternária, quando aluvião, localizam-se em áreas sujeitas a inundações.

#### 4.3.6. Restrições Ambientais e Legais

O mapa de restrições (Figura 11) teve como objetivo eliminar as regiões da área de estudo que não podem receber ocupação urbana. Foram consideradas as seguintes informações na formulação do mapa: APP de 30 m para corpos d'água de até 10 m de largura; Declividade acima de 30%; Zoneamento: parques urbanos, ZI, ZSE e ZPA; Área exclusiva, destinada à base de treinamento do exército.

A área total das restrições chegou a 99,8 km<sup>2</sup>, cerca de 35,3% da área considerada. O que demonstra a relevância desse critério na aptidão à expansão urbana da região, que apresenta forte restrição ao norte e sudeste.

**Figura 11** - Mapas de restrições: (a) Inicial; (b) Reclassificado



#### 4.3.7. Método AHP e Modelo Matemático

O método AHP foi aplicado para obter os pesos, ou as importâncias, dos fatores e elaborar o modelo matemático que gerou o mapa final de aptidão à expansão urbana. A Tabela 9 traz a matriz de comparação pareada e a Tabela 10 a matriz normalizada.

**Tabela 9** - Matriz de comparação pareada

Matriz de Comparação Pareada					
Atributos	Geologia	Pedologia	Declividade	Infraestrutura	Uso do Solo
Geologia	1	1/3	1/5	1/7	1/7
Pedologia	3	1	1/3	1/3	1/5
Declividade	5	3	1	1/3	1/3
Infraestrutura	7	3	3	1	1/2
Uso do Solo	7	5	3	2	1
Σ	23,00	12,33	7,53	3,81	2,18

Fonte: Os autores, 21/05/2015

Na matriz de comparação pareada, os fatores foram criteriosamente comparados dois a dois, estabelecendo a relação de importância que o fator da linha tem sobre a coluna, a partir da escala de comparadores da Tabela 1 (pág. 16).

**Tabela 10** - Matriz normalizada

Matriz Normalizada						
Atributos	Geologia	Pedologia	Declividade	Infraestrutura	Uso do Solo	PESOS
Geologia	0,043	0,027	0,027	0,038	0,066	<b>0,040</b>
Pedologia	0,130	0,081	0,044	0,088	0,092	<b>0,087</b>
Declividade	0,217	0,243	0,133	0,088	0,153	<b>0,167</b>
Infraestrutura	0,304	0,243	0,398	0,263	0,230	<b>0,288</b>
Uso do Solo	0,304	0,405	0,398	0,525	0,460	<b>0,419</b>

Fonte: Os autores, 21/05/2015

A razão de consistência (RC) foi de 0,043. Por estar abaixo de 0,1, indica que os julgamentos foram adequados e os pesos podem ser implementados. Verifica-se ainda que os fatores distância de infraestruturas existentes e uso e cobertura do solo ficaram com os maiores pesos, chegando a mais de 70% da importância. Essa discrepância se deve ao fato de os mapas com maiores escala e influência no planejamento ambiental terem sido favorecidos na comparação pareada.

O mapa de uso e cobertura do solo é primordial no reconhecimento de áreas com vegetação nativa, assim como de áreas já impactadas e/ou com infraestruturas, que mais se adequam à expansão urbana.

Os mapas de declividade e pedologia possuem suma importância nos processos erosivos, deslizamentos, inundações e nas instabilidades das fundações. Entretanto, a baixa escala desses fatores os desfavoreceram na comparação com o uso do solo e distância de áreas com infraestruturas. Caso esses dados possuíssem maior precisão, teriam ganho maior influência no modelo matemático final. Também o mapa de geologia apresentou pouca influência devido, principalmente, à sua baixa escala, este fator teve o menor peso dentre os cinco.

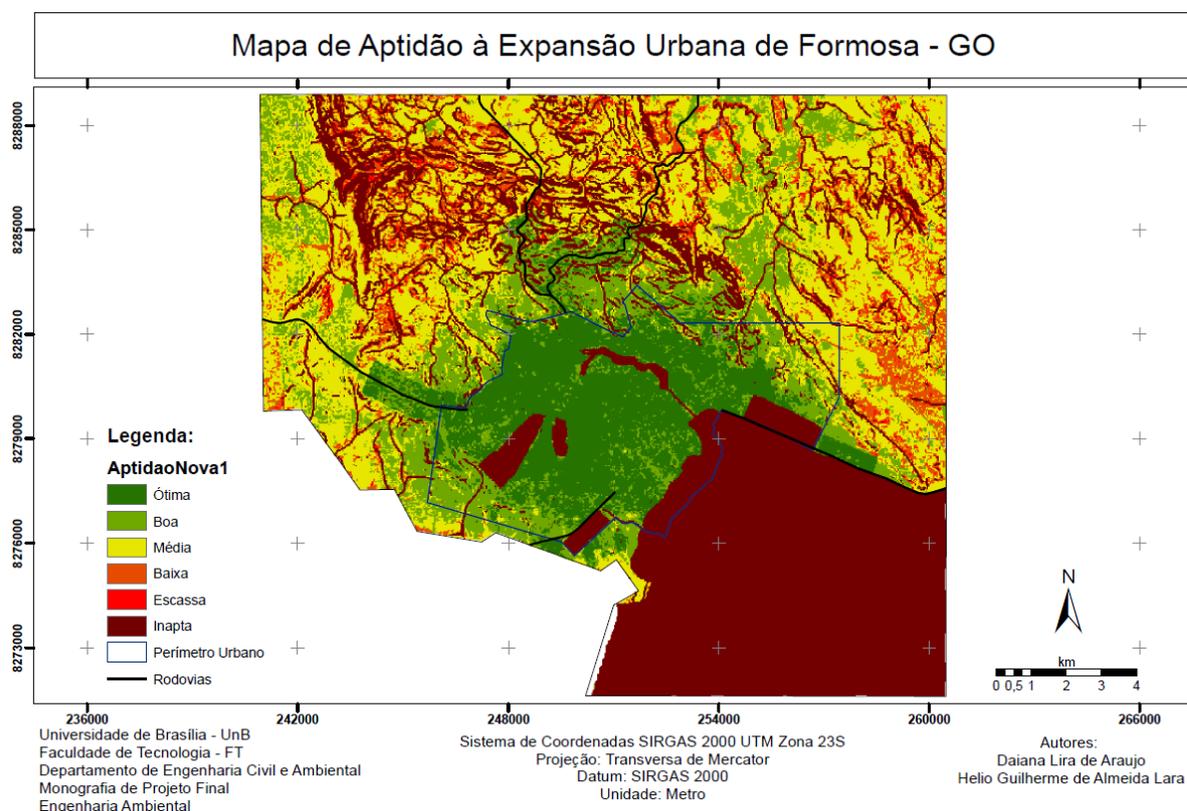
Finalmente, foi possível chegar ao modelo matemático usado na geração do mapa de aptidão à expansão urbana, adicionando as restrições ambientais, que funcionaram como uma máscara, onde as áreas em que o valor das restrições era igual a zero ficaram inaptas (Equação 7):

$$[(Geo.*0,040)+(Ped.*0,087)+(Dec.*0,167)+(Infra.*0,288)+(Uso*0,419)]*Restrições \quad (7)$$

#### 4.3.8. Mapa de Aptidão à Expansão Urbana

A Figura 12 mostra o resultado final para o mapa de aptidão à expansão urbana. Grande parte da área de estudo ficou classificada como inapta ou com baixos níveis de aptidão. Destaque para a região ao norte, que possui relevo bastante acidentado e grande número de corpos hídricos e, portanto, de Áreas de Proteção Permanente.

Figura 12 - Mapa de aptidão à expansão urbana do Município de Formosa



Ademais, as regiões periféricas do perímetro urbano também apresentaram baixas favorabilidades para expansão urbana, o que pode vir a ser um problema para o crescimento populacional, visto que a região não tem muitas possibilidades de expansão, contando a sudeste, com a restrição da área do Exército, e a sudoeste com a divisa com o Distrito Federal.

Além do mais, nota-se que porções consideráveis dentro do perímetro urbano foram classificadas como de média, baixa ou escassa aptidão. Essas áreas estão situadas, principalmente, nas zonas de expansão urbana do zoneamento municipal. O que sugere a baixa adequação ambiental do perímetro proposto pelo Plano Diretor.

## 4.4. Cenários

### 4.4.1. Verificação das Ocupações Irregulares

Por meio do mapa de Aptidão gerado, pôde-se, então, identificar regiões que, apesar de internas ao perímetro urbano, apresentavam relevante risco à ocupação e, portanto, inaptidão ao uso; além disso, pôde-se, também, identificar regiões fora do perímetro que apresentavam alta aptidão à ocupação, para o caso de ser necessária a expansão do perímetro proposto pelo PD. Os resultados dessa análise estão apresentados na Figura 13.

As áreas do perímetro julgadas inaptas estão associadas principalmente a relevos acidentados, declividades acentuadas e presença de vegetação nativa. Por outro lado, as áreas julgadas como de expansão apresentaram, principalmente, proximidade com as rodovias, mas também declividades baixas e pastagens.

Figura 13 - Mapa de delimitação das áreas

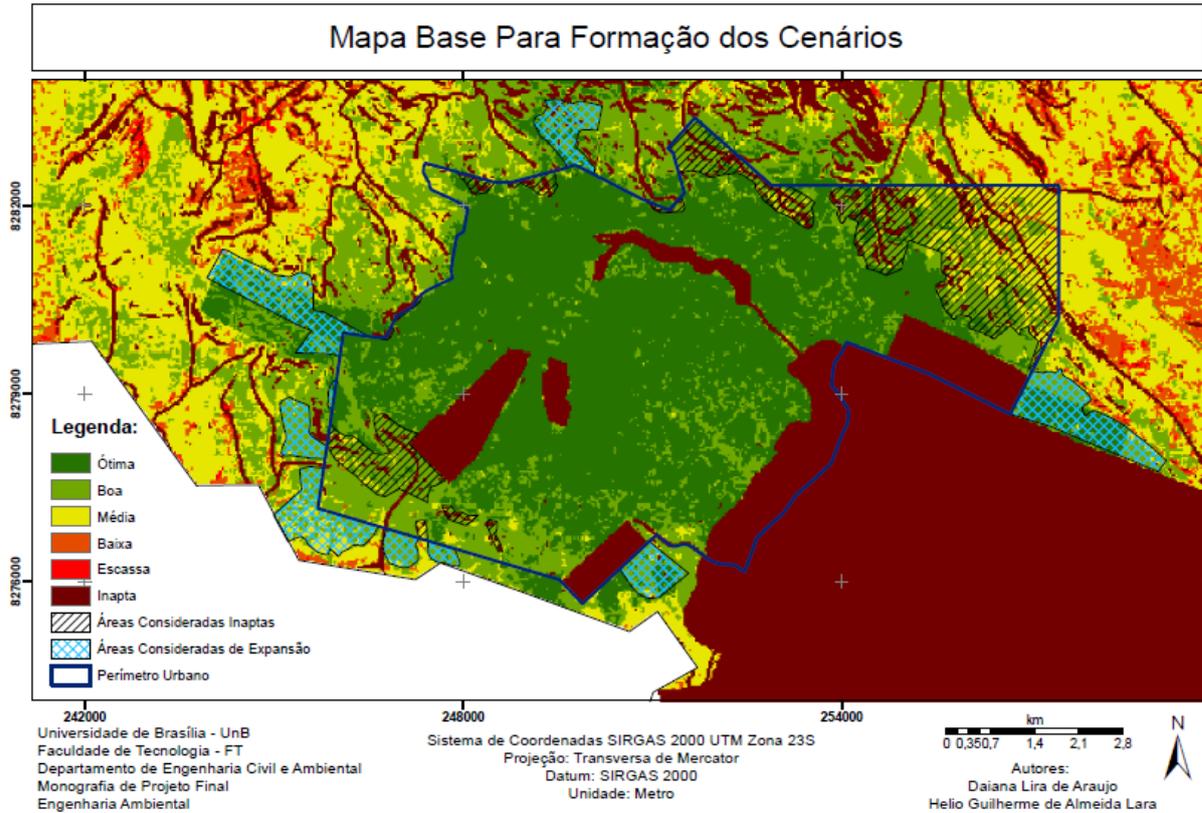
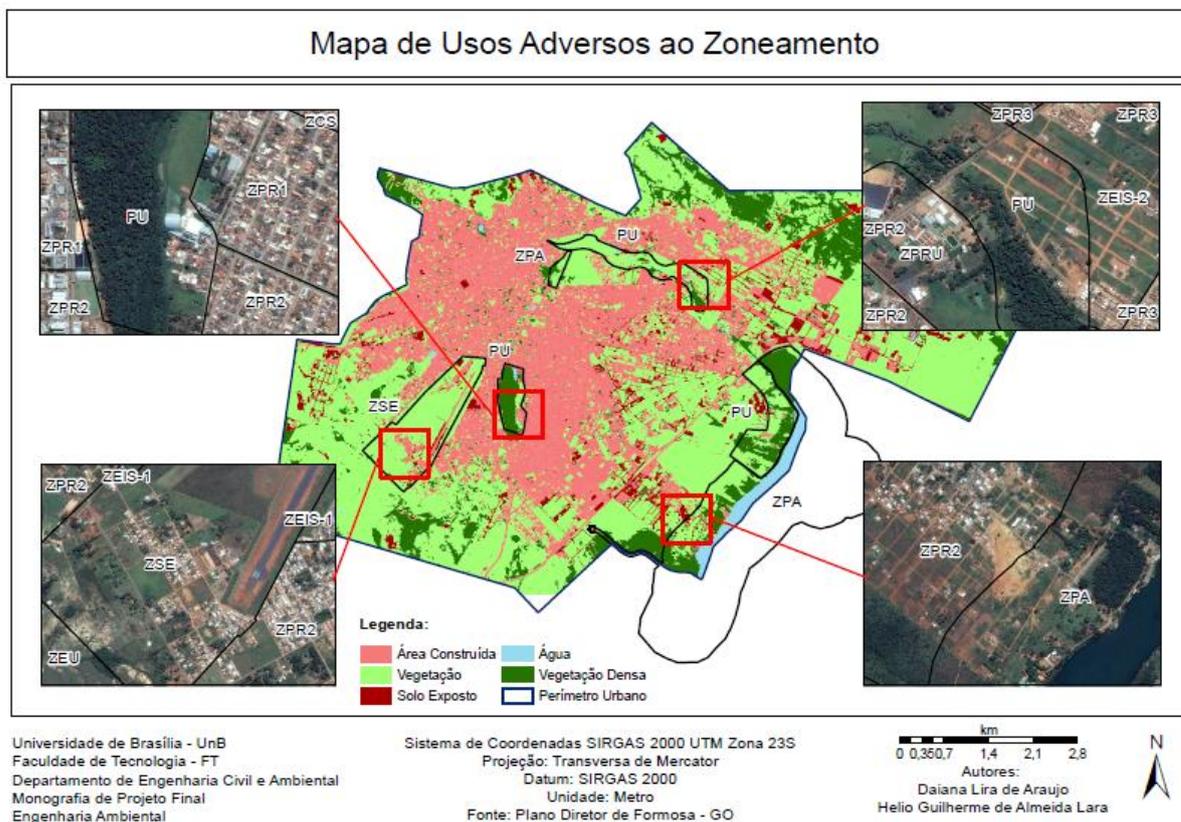


Figura 14 - Mapa de análise de usos adversos ao zoneamento



A partir daí, deu-se a verificação das áreas com atual ocupação irregular na área de estudos (Figura 14). Para tanto, consideram-se ocupações irregulares aquelas alocadas em áreas apontadas como inaptas pelo mapa de Aptidão.

Na ZSE e no Parque Municipal Mata da Bica foram observadas ocupações urbanas consolidadas, invadindo inclusive a zona prevista para atividades aeroportuárias. Também foram verificadas tendências de loteamento com edificações isoladas invadindo áreas de preservação, seja em Parques Urbanos ou na própria ZPA da Lagoa Feia. Essas áreas de inconformidades foram extraídas dos cenários de ocupação, pois não atendem às premissas do planejamento ambiental.

Ainda, por meio da Figura 14, foi possível confirmar a baixa ocupação intraurbana, como diagnosticado pelo PD, havendo diversos vazios urbanos, mesmo depois de passados  $\frac{3}{4}$  do horizonte temporal previsto pelo Plano Diretor. Tais regiões desocupadas apresentam boas condições à ocupação, inclusive com parte da infraestrutura básica já instalada.

#### 4.4.2. Cenários de Ocupação

Excluídas as áreas inaptas, e conhecidas as regiões, externas ao perímetro urbano, com maior aptidão à ocupação, procedeu-se então a construção dos cenários. Foi constatado que para o Cenário 1 deveria haver uma área de expansão, o que não foi necessária no Cenário 2, já que esse deveria se adequar ao perímetro já existente, variando, para isso, as densidades demográficas nas diferentes zonas.

A Tabela 11 apresenta as áreas originais e as consideradas aptas ou inaptas pela verificação de aptidão; e também as densidades calculadas para cada um dos cenários. Nota-se que a zona que mais sofreu com a exclusão de áreas impróprias foi a ZEU, com aproximadamente 60% do seu território extraído.

O cenário 1 (Figura 15), cuja densidade foi considerada constante em 40 hab./ha, ocupou toda a área apta do perímetro e ainda extrapolou cerca de 600 ha, havendo assim a proposta de novo perímetro urbano, que contemple as regiões de expansão assinaladas e exclui as áreas consideradas inaptas. Na delimitação das áreas externas, procurou-se obedecer aos níveis de favorabilidade do mapa de aptidão, dando privilégio às áreas que concentravam classes aptas.

**Tabela 11** - Resumo dos resultados dos cenários

Zona	Área Original (ha)	Área Inapta		Área Apta (ha)	Densidade Populacional (hab./ha)	
		ha	%		Cenário 1	Cenário 2
ZPR1	455,51	0,51	0,11	455,00	40	87,5
ZCS	241,14	0,00	0,00	241,14		
ZPRU	106,13	6,16	5,80	99,97		
ZPR2	1019,19	7,23	0,71	1011,96		
ZEIS-1	95,44	3,06	3,20	92,38		
ZEIS-2	154,61	0,00	0,00	154,61		
ZPR3	1255,93	150,04	11,95	1105,89		
ZEU	1256,60	742,96	59,12	513,64		35
<b>Total</b>	<b>4584,55</b>	<b>909,96</b>	<b>19,85</b>	<b>3674,59</b>		

Fonte: Os autores, 21/05/2015

Já o Cenário 2 (Figura 16) restringiu-se às áreas aptas do perímetro urbano proposto pelo Plano Diretor, aumentando a densidade populacional de forma diferencial e atendendo às recomendações do PD associadas ao planejamento urbano ambiental.

Figura 15 - Cenário de ocupação 1

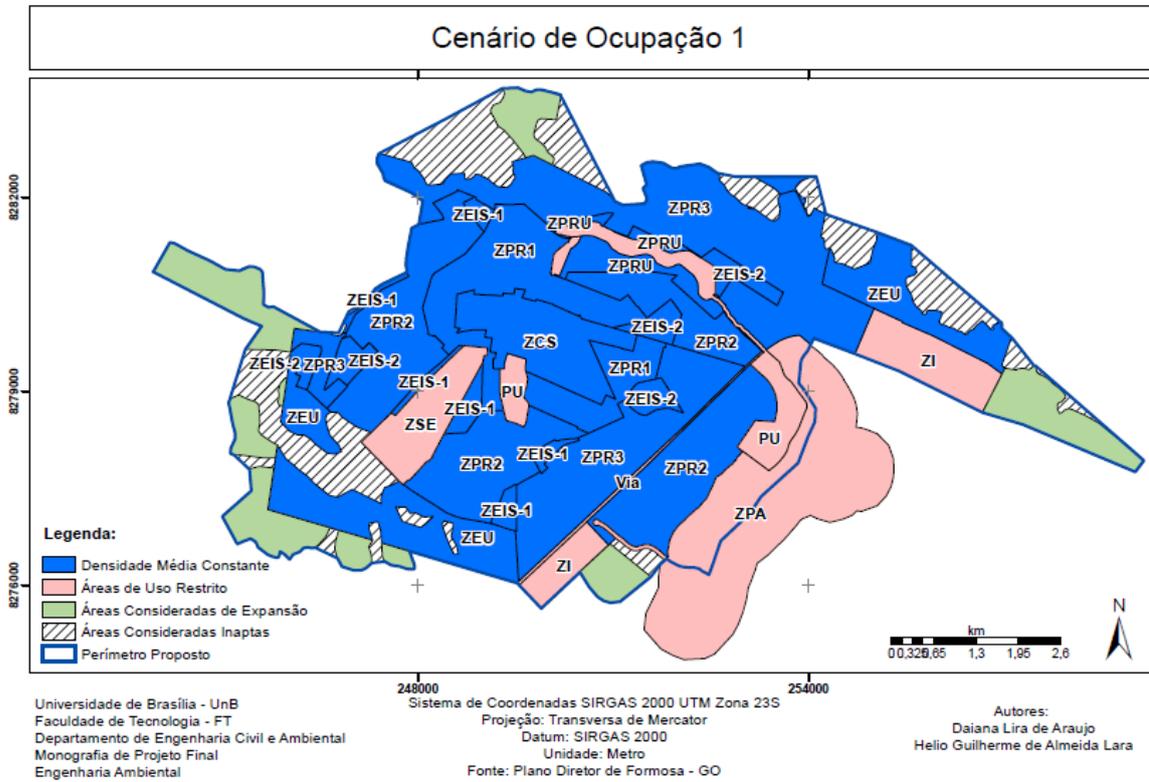
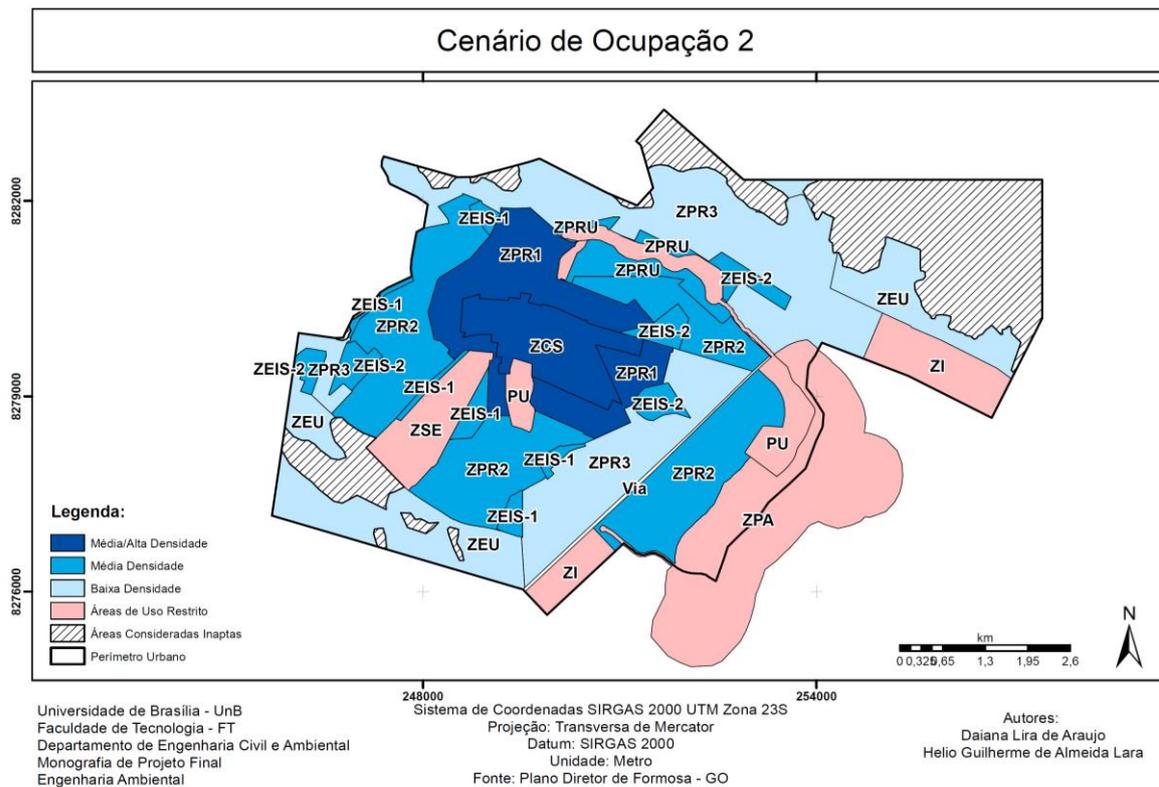


Figura 16 - Cenário de ocupação 2



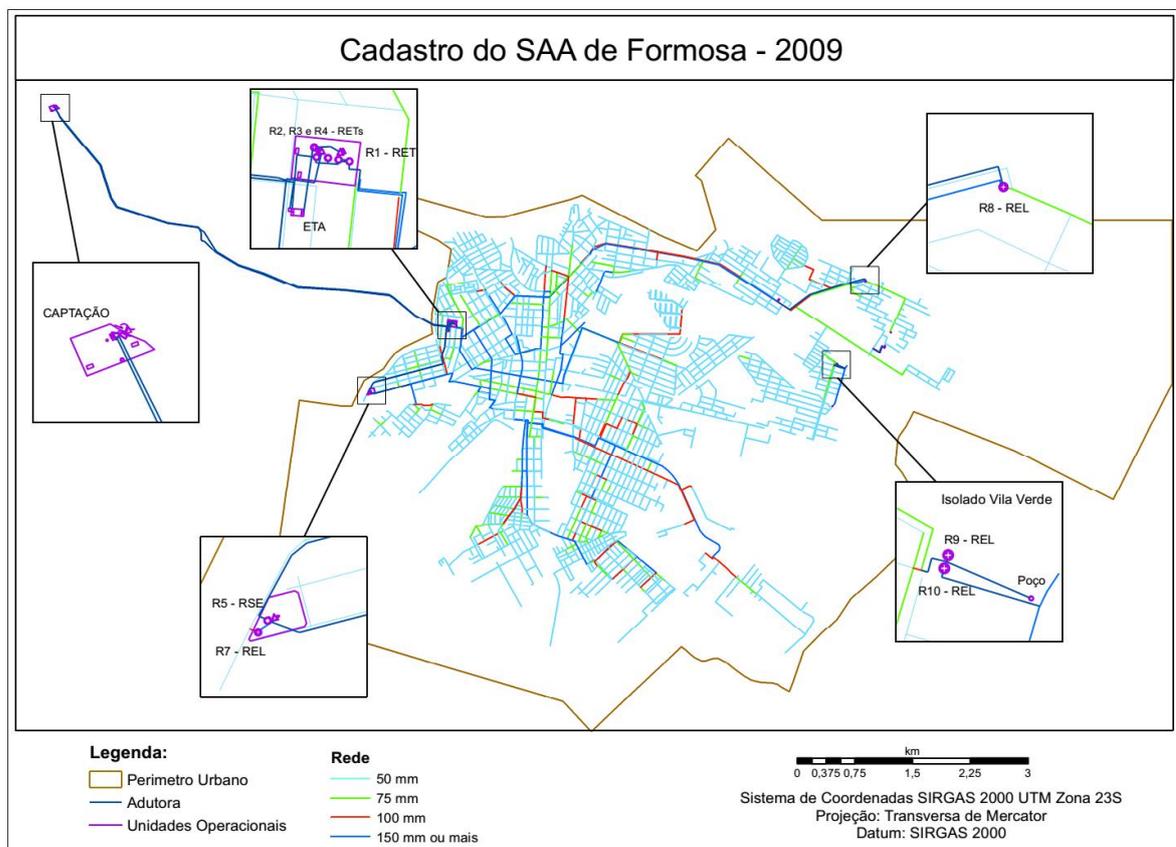
#### 4.5. Diagnóstico do SAA

O sistema público de abastecimento existente em Formosa faz uso de dois mananciais, um superficial e outro subterrâneo. Desse modo, a captação é feita com tomada d'água direta em barragem de elevação de nível no córrego Bandeirinha ou por meio dos diversos poços distribuídos pela cidade.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é do tipo convencional. As águas captadas dos poços tubulares, no entanto, recebem, apenas, a adição de cloro. Quanto aos reservatórios, foram identificados dez ao longo de todo sistema, sendo um deles de armazenamento de água para lavagem dos filtros, e os demais de distribuição. Como é possível verificar na Figura 17, são quatro reservatórios enterrados (RET), um semienterrado (RSE), sendo todos os demais elevados (REL). Além da estação elevatória de água bruta localizada na captação, o sistema possui, para fins de transferência entre reservatórios, quatro estações elevatórias de água tratada, segundo o cadastro de 2009.

No tocante à rede de distribuição, o que se verificou, ainda com base na Figura 17, foi que, exceto pelo sistema isolado Vila Verde, o sistema é totalmente integrado sem que haja a subdivisão de zonas de pressão independentes, o que pode acarretar diversos efeitos negativos, principalmente no que se refere a perdas ao longo da rede. Outro ponto é o traçado dos condutos principais e secundários que, em geral, foi feito formando-se ramos, o que se opõe ao recomendado pela NBR 12218 de 1994, que diz que os condutos devem, preferencialmente, formar circuitos fechados.

**Figura 17** - Cadastro do SAA de Formosa, referente ao ano de 2009



#### 4.5.1. Adequação das Unidades Existentes

No que se refere ao SAA, o Plano Diretor afirma que o sistema necessita de ampliações nas unidades de adução de água bruta, captação tratamento, reservação e rede de distribuição, sendo esta última a mais crítica, em vista do péssimo estado de conservação de parte das redes de distribuição e as elevadas pressões nelas verificadas.

Segundo o Parecer nº 009 do Ministério Público do Estado de Goiás, realizado em 2010 para exame dos serviços de água e esgoto em Formosa, estavam em andamento a ampliação das unidades de adução, tratamento e reservatório de distribuição, sendo que a capacidade da ETA seria ampliada de 210 para 308 L/s, enquanto que o volume de reservação seria acrescido em 1.500 m³.

Na página do SNIS estão disponíveis algumas informações, fornecidas pela própria concessionária de saneamento, quanto ao SAA existente (Tabela 12).

**Tabela 12** - Dados disponíveis no SNIS

ANO	População Total Abastecida	Volume de Água				
		Produzido (L/s)	Tratada em ETA (L/s)	Tratada por simples desinfecção (L/s)	Macromedido (L/s)	Consumido (L/s)
2013	99.763	204,54	195,74	8,81	204,26	133,64

Fonte: Os autores, 21/05/2015

Analisando esses dados é possível então obter diversos parâmetros de cálculo. As diferenças verificadas entre o volume produzido e o macromedido, e entre o volume macromedido e o consumido, indicam, respectivamente, os índices de perda observados na ETA e ao longo da tubulação. Por sua vez, a razão entre o volume consumido e a população total abastecida indica a demanda per capita no ano de referência. Adotou-se a demanda conservadora de 120 L/hab.dia, que está próxima da máxima observada.

No que se refere às perdas no sistema, em 2013 elas chegaram ao índice de 34,7%. Esse índice está acima da média estadual que era, em 2011, de 28,1%, e também supera o índice recomendado pela literatura: 25%.

Para efeito de verificação da capacidade das unidades atuais de tratamento e reservação em atender às demandas ao longo do horizonte de estudo, foi efetuado o cálculo da vazão do dia de maior consumo para as populações estimadas em cada ano, conforme a Equação 5 (pág. 22), e considerando-se os valores para K1 igual a 1,2 e as perdas iguais a 25% (valor colocado como meta). O volume de reservação foi obtido conforme recomenda Tsutiya (2006). Os resultados de cálculo estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13** - Demandas previstas para a ETA até 2050

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vazão demandada - ETA (l/s)	191,6	212,0	232,7	253,1	272,2	291,1	310,4	330,0	349,2
Volume demandado - reserv. (m³)	5518,9	6105,9	6701,6	7288,3	7840,2	8384,3	8940,5	9503,9	10056,4

Fonte: Os autores, 21/05/2015

Com base na informação de que a capacidade da ETA de Formosa foi expandida para 308 L/s, infere-se das demandas calculadas que essa unidade será capaz de atender bem a população até pouco antes do ano de 2040, sendo necessária sua readequação apenas naquele período. Já no que se refere ao volume dos reservatórios, que era de 4.675 e passou a ser 6.175 m<sup>3</sup>, esse será capaz de abastecer a população apenas até um pouco depois de 2015, sendo necessária a expansão de sua capacidade.

## 4.6. Proposição de Nova Concepção da Rede de Distribuição

Tendo em vista a precariedade da rede distribuição e o seu desajuste quanto às normas vigentes e ao cenário de ocupação considerado, evidenciou-se a necessidade de adequação da rede atual. Foi, então, proposta uma nova concepção, com o objetivo de verificar a viabilidade da implantação de uma rede, que aproveite ao máximo as instalações do sistema atual e atenda às exigências das normas.

### 4.6.1. Análise das “Zonas de Pressão” e Traçado das Tubulações

As informações levantadas quanto à cota e à altura dos reservatórios de distribuição existentes (Tabela 14) permitiram que se obtivesse para cada um deles uma “zona de pressão”. A partir daí verificou-se que algumas áreas mais elevadas não poderiam ser atendidas adequadamente pelos reservatórios existentes, sendo necessário que se levantassem propostas de adequação para essas regiões.

**Tabela 14** - Informações de carga dos reservatórios existentes

Reservatório	Cota (m)	Altura estimada (m)	Elevação da coluna d'água (m)
R1	949	0	949
R5	978	2	980
R7	978	15	993
R8	936	12	948
R9 e R10 (Isolado Vila Verde)	894	15	909

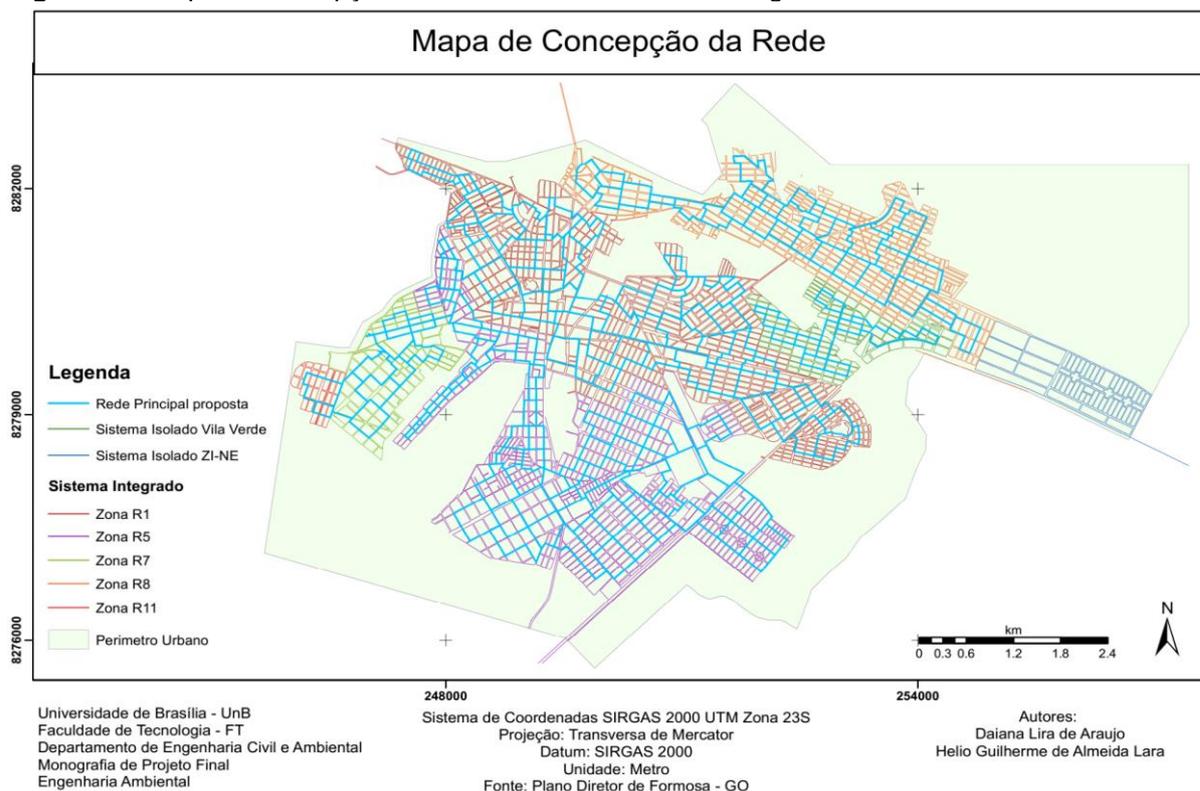
Fonte: Os autores, 21/05/2015

Para o caso da Zona Industrial Nordeste, foi sugerida a criação de um sistema isolado com manancial subterrâneo, o que é justificado pela grande distância que há entre essa área e o centro de reservação do sistema. Quanto à outra área de baixa pressão, foram feitas diversas tentativas de integrá-la ao sistema por meio da zona do reservatório R7. No entanto, nenhuma dessas foi bem-sucedida, sendo necessário, por fim, que se criasse uma nova zona com reservatório elevado próprio.

O resultado da análise de zonas de pressão foi, então, a separação das quadras, relativas ao Cenário 2, em sete diferentes zonas, sendo cinco do sistema integrado e duas dos sistemas isolados. Para cada uma delas foram traçadas tubulações principais independentes, conforme ilustra a Figura 18.

As demandas exercidas nos diversos nós, calculadas pela Equação 6 (pág. 22), resultaram em diferentes valores a depender da zona na qual a área de influência do nó estava localizada (Tabela 15).

**Figura 18** - Mapa de concepção da rede de abastecimento de água



**Tabela 15** - Demanda nos nós

ZONA DO SAA	ZONA DE DENSIDADE	DEMANDA POR ZONA (l/s)	DEMANDA POR NÓ (l/s)
Sistema Isolado Vila Verde	Média/alta	11,45	0,572
	Média	7,58	0,216
	Baixa	0,83	0,831
Zona R1	Média/alta	147,48	1,061
	Média	46,89	0,586
	Baixa	11,17	0,279
Zona R5	Média/alta	64,40	1,288
	Média	71,15	0,498
	Baixa	21,36	0,403
Zonas R7 e R11	Média	29,86	0,515
	Baixa	2,87	0,410
Zona R8	Média	5,35	0,891
	Baixa	39,05	0,285

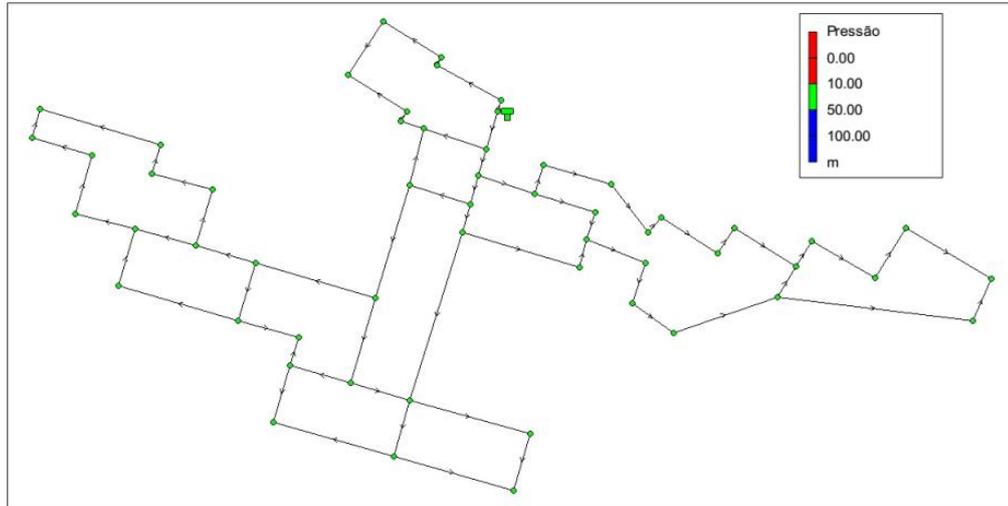
Fonte: Os autores, 21/05/2015

#### 4.6.2. Dimensionamento da Rede de Distribuição

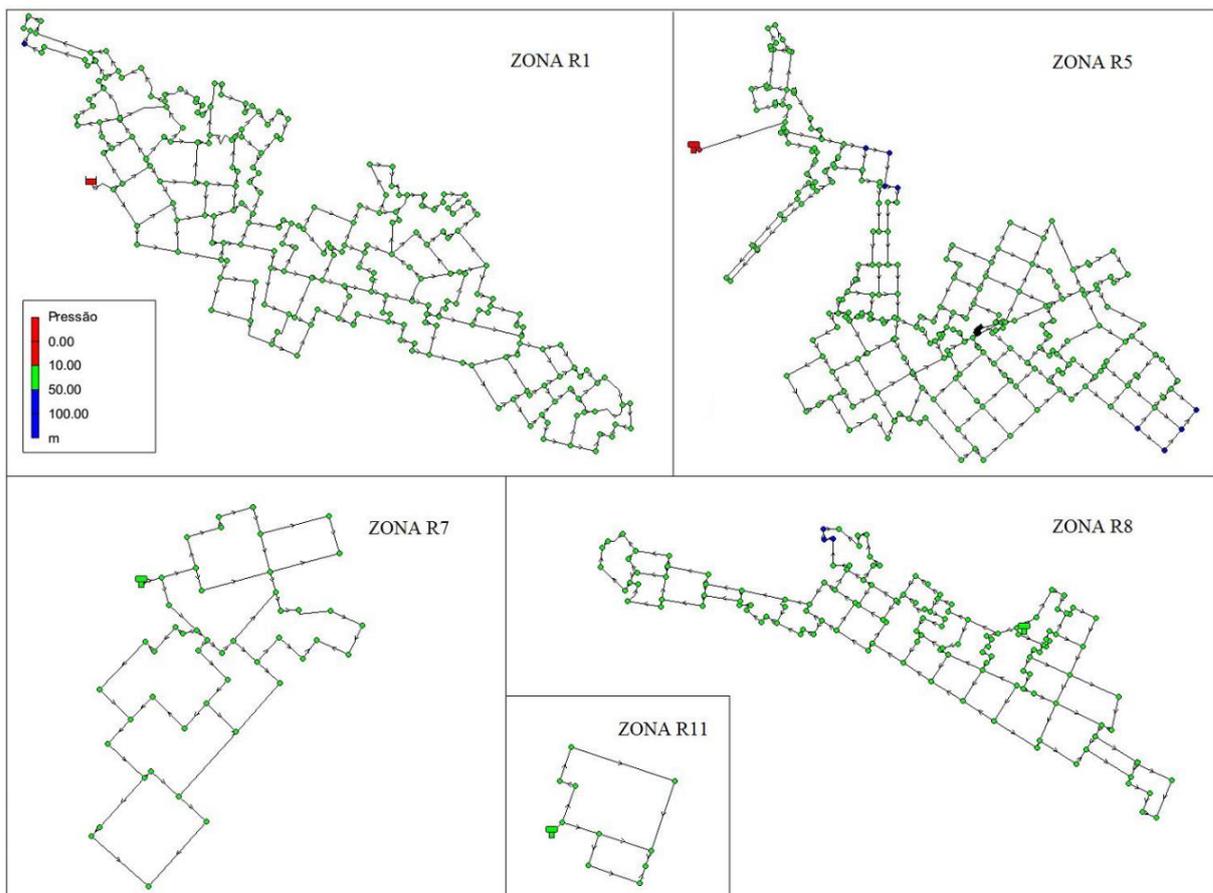
A rede de distribuição de cada uma das “zonas de pressão” foi dimensionada de forma independente até que obtivesse as condições ideais de pressão no nó e velocidade na rede. As pressões, conforme ilustrado nas Figuras 19 e 20, puderam ser alcançadas na maioria dos nós, sendo necessário, em apenas alguns casos onde a pressão superou os 50 mca, a colocação de equipamentos redutores de pressão; e, no caso da zona R5, a

colocação de uma bomba do tipo *booster*, com o intuito de aumentar a pressão em alguns pontos altos da rede.

**Figura 19** - Pressões obtidas no sistema isolado Vila Verde

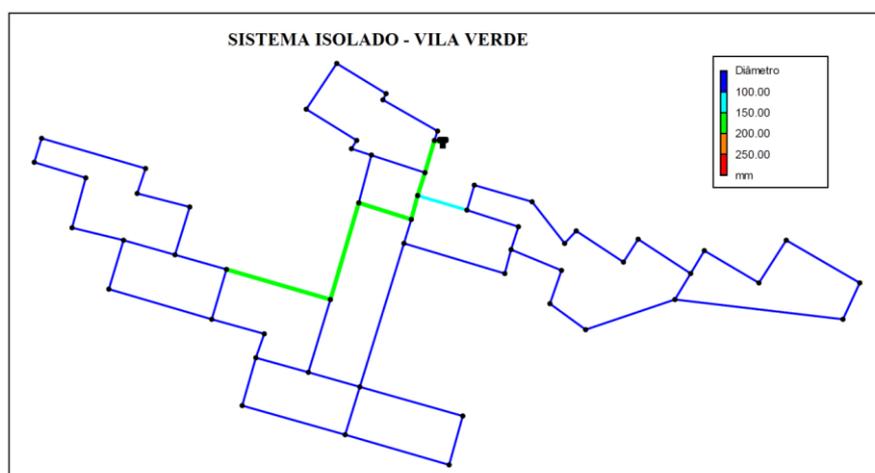


**Figura 20** - Pressões obtidas nas zonas do sistema integrado

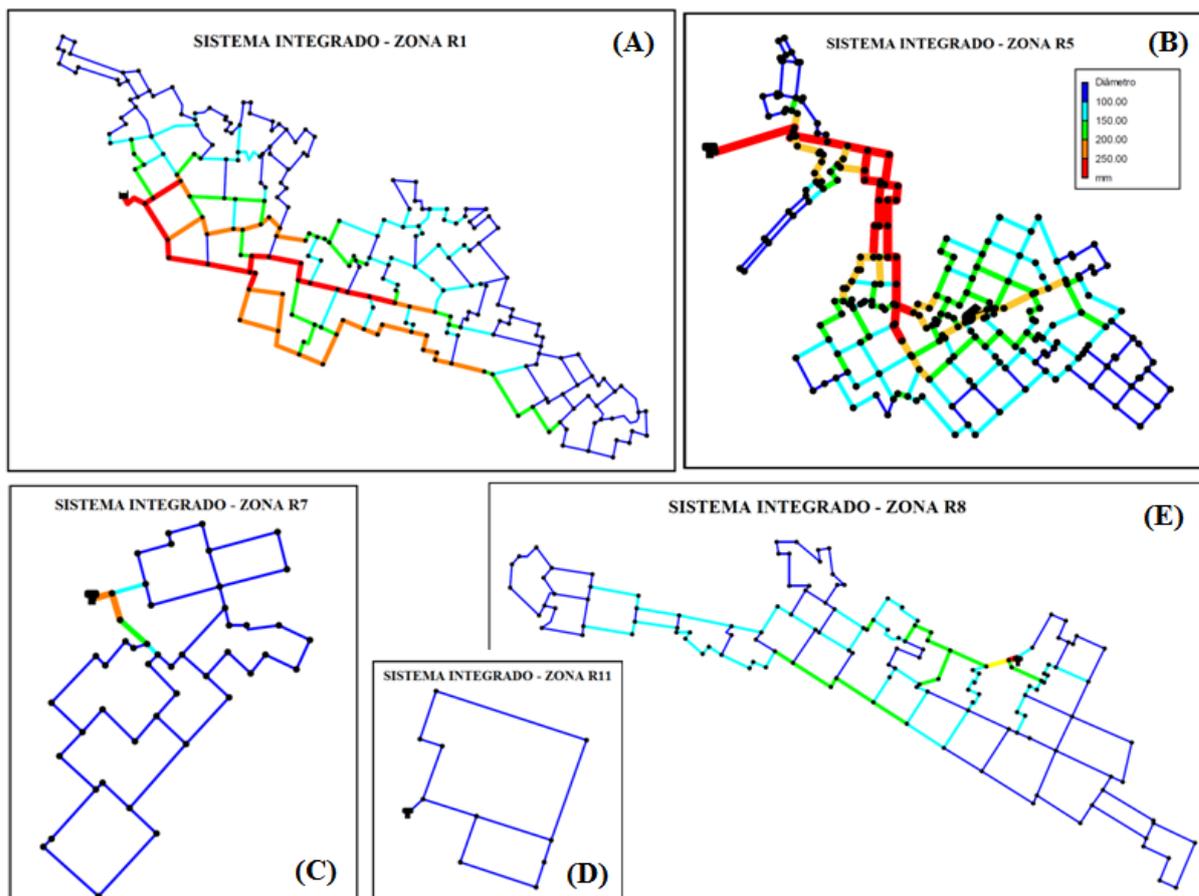


O dimensionamento da rede, por meio da adequação da pressão, resultou nos diâmetros para as tubulações principais apresentados nas Figuras 21 e 22. Os resultados das Figuras 21 e 22 (c) e (d) foram obtidos por meio do algoritmo Lenhsnet e podem ser considerados como a solução ótima economicamente.

**Figura 21** - Dimensionamento das tubulações do sistema isolado Vila Verde



**Figura 22** - Dimensionamento das tubulações: (a) da Zona R1; (b) da Zona R5; (c) da Zona R7; (d) da Zona R11; (e) da Zona R8



O material considerado no dimensionamento da rede foi o PVC. Com relação à velocidade na tubulação, apesar dos diversos esforços feitos durante o dimensionamento, ela não conseguiu atender ao valor mínimo determinado pela norma, o que se justifica pelas baixíssimas demandas exercidas nos nós da rede e pelas baixas densidades demográficas consideradas.

Para se alcançar a velocidade mínima estipulada pela norma, em redes de no mínimo 75 mm de diâmetro, é necessário que as demandas nos nós extremos sejam de, ao menos, 2,65 m/s. O que, se considerada a demanda *per capita* de 120 L/hab.dia e a área de influência do nó de 16 ha, se refere a uma densidade demográfica de cerca de 119 hab./ha. Assim, para que a rede proposta se mostrasse adequada aos olhos da norma, seria necessário um adensamento ainda maior do que o proposto no Cenário 2.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O mapa de aptidão à ocupação urbana ressaltou algumas incoerências verificadas no zoneamento proposto pelo Plano Diretor, sendo a principal delas a incorporação de uma série de áreas inadequadas (seja pelo alto risco associado a elas ou ao caráter de proteção ambiental) à zona destinada à expansão urbana.

Com relação à expansão do perímetro urbano, o mapa de aptidão confirmou o diagnosticado pelo Plano Diretor no que diz respeito às limitações impostas a ampliação da cidade, o que se dá devido a diversos aspectos físicos da região, em especial, no que diz respeito ao relevo e à presença de diversos córregos e áreas de vegetação nativa. Ademais os aspectos políticos e legais, vinculados à área de treinamento do exército e a divisa com o Distrito Federal.

Por meio da análise do uso do solo em 2015 foi possível verificar que, apesar de já ter sido atingido, aproximadamente,  $\frac{3}{4}$  do horizonte temporal do Plano Diretor, a ocupação rarefeita que havia sido diagnosticada se mantém na maior parte da cidade, com inúmeros vazios urbanos; também foram verificadas diversas ocupações irregulares na cidade. Situações essas que demandam intervenção imediata por parte do poder público, permitindo a otimização da infraestrutura existente, além da melhoria na qualidade ambiental.

Com relação ao Sistema de Abastecimento de Água existente, foi verificado que, entre as unidades avaliadas, a de tratamento e reservação se apresentaram incapazes de receber a demanda estimada para o fim de 2050, sendo necessárias obras de ampliação no decorrer desse período. A mesma inadequação foi verificada para a rede de distribuição atual, que se mostrou ineficaz no atendimento à população e no cumprimento das exigências feitas pela NBR 12218, de 1994. Assim, inferiu-se que a melhor solução para adequação seria a proposta de uma nova concepção de rede, buscando-se aproveitar ao máximo as estruturas existentes.

A adequação da rede atendeu bem as demandas espaciais previstas para a proposta de loteamento, feita pelo Plano Diretor e revista no Cenário 2, respeitando as recomendações feitas pela normativa, exceto pelas velocidades nas tubulações que, em sua maioria, resultaram em valores abaixo do limite mínimo. Isso se deu devido às baixas densidades demográficas verificadas até mesmo no Cenário 2.

Dessa conclusão, foi possível aferir que as condições de adensamento da população, e com isso da demanda, são fatores condicionantes, também, para o bom funcionamento da rede. O que mostra a necessidade de adensamento urbano no município dentro dos limites discutidos, porquanto que, a partir de certo ponto, densidades demográficas altas também são prejudiciais ambiental e socioeconomicamente.

O SIG ArcGis apresentou-se muito eficaz, pois garantiu uma visão mais ampla do problema, tornando mais rápido e fácil o alcance dos objetivos propostos. O programa EPANET mostrou-se bastante prático e adequado como modelo de simulação hidráulica e avaliação do sistema proposto. Sendo a combinação ArcGis - EPANET uma opção muito adequada para o estudo de Sistema de Abastecimento de Água.

Por fim, os resultados deste trabalho poderão contribuir para:

- Disponibilidade de um acervo de dados e informações em ambiente SIG, que podem ser usados para diferentes objetivos, permitindo uma nova perspectiva sobre o ordenamento territorial da cidade de Formosa;
- Diagnosticar algumas unidades do Sistema de Abastecimento de Água presente em Formosa, conforme o cadastro disponibilizado, propondo-se sua melhoria e adequação quando necessário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.
- Almeida, W. S.; Souza, N. M.; De Carvalho, J. C. Produção de carta geotécnica preliminar e capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO). In: DE CARVALHO, J. C (Org.). Livro Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos. Brasília, DF. Universidade de Brasília, 2012, v. 4, p. 587-612.
- Brasil. Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Estatuto da Cidade**. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em: novembro de 2014.
- Brasil. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em: novembro de 2014.
- Brasil. Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em: novembro de 2014.
- Burrough, P. A. e McDonnel, R. A. (1998). **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford University Press, Oxford, E.U.A., 333 p.
- Câmara, G. e Davis, C. (2001). "Introdução". In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Sagres, Curitiba, Brasil, 1-1 - 1-5.
- Câmara, G. e Queiroz, G. R. (1998). **Fundamentos de Geoprocessamento**. INPE, Brasil. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br>. Acesso em: novembro de 2014.
- Câmara, G., Casanova, M. A., Medeiros, C. B., Hemerly, A. e Magalhães, G. (1997). **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Sagres, Curitiba, Brasil, 193 p.
- Carmo, J. P. A., Souza, G. F., Polidoro, M., Lollo, J. A. (2011). "Análise da fragilidade ambiental em áreas urbanas. O caso do município de Londrina - PR". **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. Vol. 1, p. 855-862, Curitiba, Brasil.
- Corseuil, C. W. (2006). **Técnicas de Geoprocessamento e de Análise de Multicritérios na Adequação de Uso das Terras**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 117 p.
- Dias, J. E., Gomes, O. V. O. e Goes, M. H. B. (2004). "O uso do geoprocessamento na determinação de áreas favoráveis a expansão urbana no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil". *Geografia*, (13)2, p. 6-22.
- Fonseca, M. R. S. (2008). **Avaliação Hidrológica para Subsidiar a Construção de Cenários Sobre o Futuro da Ocupação Humana na Bacia Hidrográfica do Ribeirão**

**do Gama e do Córrego Cabeça de Veado - Distrito Federal.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Brasília, DF, 108 p.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007. 408 p.

Gomes, H. P. (2009). "Elementos básicos para a elaboração de projetos de abastecimento de água". In: Gomes, H.P. (eds.) **Sistemas de Abastecimento de Água - Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias.** Editora Universitária - UFPB, João Pessoa, Brasil, p. 11-58.

Gomes, H.P. (2009). "Operação de Sistemas de Abastecimento de Água - O programa EPANET". In: Gomes, H.P. (eds.) **Sistemas de Abastecimento de Água - Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias.** Editora Universitária - UFPB, João Pessoa, Brasil, p. 183-240.

Honda, S. C. A. L, Vieira, M. C., Albano, M. P., Maria, Y. R. (2015). "Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP)". **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, (7)1, p. 62-73.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, Formosa - GO. Disponível em: [www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br). Acesso em: novembro de 2014.

Jhon, M. H., Orlando, M., Jórdan, M. V. J., Andrés, A. H. C. (2013). "Áreas de expansión urbana em Tovar, estado Mérida-Venezuela". **Revista Geográfica Venezolana**, 54(2), p. 241-257.

Medeiros, J. S. e Câmara, G.; (2001). "GIS para estudos ambientais". In: Câmara, C.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (eds.) **Introdução à Ciência da Geoinformação.** Sagres, Curitiba, Brasil, p. 10-1 - 10-36.

Ministério Público do Estado de Goiás. (2010). Parecer nº 009 Acerca do Serviço de Água e de Esgoto.

Disponível em: [http://www.mpggo.mp.br/portal/arquivos/2013/05/21/11\\_07\\_44\\_175\\_parecer\\_formosa.pdf](http://www.mpggo.mp.br/portal/arquivos/2013/05/21/11_07_44_175_parecer_formosa.pdf). Acesso em: julho de 2015.

Moreira, F., Barbosa, C., Câmara, G. e Almeida-Filho, R. (2001). "Inferência geográfica e suporte à decisão". In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) **Introdução à Ciência da Geoinformação.** Sagres, Curitiba, Brasil, p. 9-1 - 9-49.

Nascimento, V. M. L. C. (2008). **Cartografia das Áreas Favoráveis à Ocupação Urbana no Município de João Pessoa/PB Utilizando Sistema de Informações Geográficas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa, PB, 128 p.

Nascimento, V. M. L. C., Lima, E. R. V e Santos, C. A. G. (2009). "SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB". **Ambiente Construído**, (9)1, p. 107-123.

Prefeitura Municipal de Formosa. Lei Municipal nº 147, de 14 de maio de 2014. Atualiza a Lei Municipal nº 251 de 2014 e dá outras providências.

Disponível em: [www.portaldatransparencia.gov.br](http://www.portaldatransparencia.gov.br). Acesso em: maio de 2015.

Prefeitura Municipal de Formosa. Lei Municipal nº 251, de 20 de dezembro de 2004. Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor e dá outras providências.

Disponível em: [www.sapl.formosa.go.leg.br](http://www.sapl.formosa.go.leg.br). Acesso em: novembro de 2014.

Santos, A. R., Louzada, F. L. O. e Eugenio, F. C. (2010). **ArcGis 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais.** Caufes, Alegre, Brasil, 185 p.

SEDHAB. Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Regularização e Habitação (2012). "Zoneamento Escológico-Econômico do Distrito Federal". Brasília, DF, 128 p.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e Coordenação de Goiás (1994). "Zoneamento Ecológico-Econômico da Área do Entorno do Distrito Federal". Goiânia, GO, 192 p.

Tsutiya, T. T. (2006). "Consumo de água". In: Tsutiya, T.T.(eds.) **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 35-66.

Tsutiya, T. T. (2006). "Redes de distribuição de água". In: Tsutiya, T. T. (eds.) **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 9-34.

Weber, E. J., e Hasenack, H. (2003). "O uso de geoprocessamento no suporte a projetos de assentamentos rurais: uma proposta metodológica". **Anais do X Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliação de Perícias - X COBREAP**, Porto Alegre, Brasil.

## ANEXOS

### Anexo I - Cálculo demográfico

#### A1. Objetivos

O presente anexo tem por objetivo apresentar o programa criado no *software* Matlab, com o propósito de calcular a população prevista, por meio da aplicação do método das componentes demográficas.

#### A2. Descrição do Método

Segundo Formosa (2004), o método consiste em se estimar quinquenalmente a população por meio da aplicação de probabilidades de sobrevivência e acrescentar (ou subtrair) aos sobreviventes, assim calculados, o número de migrantes correspondentes a cada grupo.

Essas operações são realizadas dentro de cada coorte independentemente, em etapas quinquenais sucessivas, de tal forma que a população final da primeira etapa constitua a população inicial da segunda, e assim sucessivamente, até se alcançar o período total desejado. A cada etapa de projeção surge uma nova coorte, formada pelos nascimentos do período considerado, conforme ilustra a Tabela A.1.

**Tabela A.1** - Evolução quinquenal das coortes

Coortes (C)	Grupos de Idade no Início do Período Quinquenal	Grupos de Idade no Final do Período Quinquenal
0	nascimentos no período	0 - 4 anos
1	0 - 4 anos	5 - 9 anos
"	"	"
"	"	"
"	"	"
15	70 -74 anos	75 -79 anos
16	75 e mais	80 e mais

(Fonte: Formosa, 2004)

Duas fórmulas básicas compõem o programa, uma aplicável à primeira coorte 0 (Equação A.1), e outra aplicável às demais coortes (Equação A.2).

$$P_{s,c}^{t+5} = B_s^{t,t+5} \cdot m_{s,c-1}^{t,t+5} \quad (\text{Equação A.1})$$

$$P_{s,c}^{t+5} = P_{s,c-1}^t \cdot m_{s,c-1}^{t,t+5} + P_{s,c-1}^t \cdot M_{s,c-1}^t \quad (\text{Equação A.2})$$

Sendo

$$B_s^{t,t+5} = \alpha_s \cdot 5 \sum_{i=4}^{10} (F_i^{t,t+5} \cdot P_{f,i}) \quad (\text{Equação A.3})$$

Onde:

$P_{s,c-1}^t, P_{s,c}^{t+5}$  - é a população da coorte (c) por sexo (s) no início (t) e no final (t+5) do período quinquenal de projeto;

$m_{s,c-1}^{t,t+5}$  - é a taxa de mortalidade correspondente à coorte (c), por sexo (s), entre t e t+5;

$M_{s,c-1}^t$  - é a componente migratória correspondente à coorte (c), por sexo (s), entre (t) e (t+5);

$B_s^{t,t+5}$  - são os nascimentos ocorridos entre (t) e (t+5), por sexo (s);

$\alpha_s$  - é a proporção de nascimentos do sexo (s) ( $\alpha_f = 0,4902$  e  $\alpha_m = 0,5098$ );

$F_i^{t,t+5}$  - é a taxa de fecundidade por grupo e idade i (15-19, 20-24, ... , 45-49).

## Comitê Editorial

**LUCIO RENNÓ**  
Presidente

**MARTINHO BEZERRA DE PAIVA**  
Diretor Administrativo e Financeiro

**BRUNO DE OLIVEIRA CRUZ**  
Diretor de Estudos e Pesquisas  
Socioeconômicas

**ANA MARIA NOGALES VASCONCELOS**  
Diretora de Estudos e Políticas Sociais

**ALDO PAVIANI**  
Diretor de Estudos Urbanos e Ambientais

**Abimael Tavares da Silva**  
Gerente de Apoio Administrativo

**Alexandre Barbosa Brandão da Costa**  
Gerente de Estudos Ambientais

**Alexandre Silva dos Santos**  
Gerente de Demografia, Estatística  
e Geoinformação

**Clarissa Jahns Schlabitz**  
Gerente de Contas e Estudos Setoriais

**Cláudia Marina Pires**  
Gerente de Administração de Pessoal

**Francisco Francismar Pereira**  
Gerente Administrativo e Financeiro

**Jusçanio Umbelino de Souza**  
Gerente de Pesquisas Socioeconômicas

**Larissa Maria Nocko**  
Gerente de Estudos Regional e Metropolitano

**Marcelo Borges de Andrade**  
Gerente de Tecnologia da Informação

**Rebeca Carmo Batista de Souza**  
Gerente de Estudos e Análises  
de Promoção Social

**Sérgio Ulisses Silva Jatobá**  
Gerente de Estudos Urbanos

**Ana Paula Ferreira Cortes**  
Chefe da Assessoria de Comunicação Social

### Revisão e copidesque

Heloisa Herdy  
Nilva Rios

### Editoração Eletrônica

Maurício Suda

**Companhia de Planejamento  
do Distrito Federal - Codeplan**

Setor de Administração Municipal  
SAM, Bloco H, Setores Complementares  
Ed. Sede Codeplan  
CEP: 70620-080 - Brasília-DF  
Fone: (0xx61) 3342-2222  
[www.codeplan.df.gov.br](http://www.codeplan.df.gov.br)  
[codeplan@codeplan.df.gov.br](mailto:codeplan@codeplan.df.gov.br)



**Secretaria de  
Planejamento,  
Orçamento e Gestão**



**Governo do Distrito Federal**