

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO *WEBMAPPING* DE UM
SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS

ISAIAS VERISSIMO LOPES

Campina Grande
Data: MAIO DE 2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

ISAIAS VERISSIMO LOPES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO *WEBMAPPING* DE UM SISTEMA DE SUPORTE A
DECISÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS**

CAMPINA GRANDE
MAIO DE 2011

ISAIAS VERISSIMO LOPES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO *WEBMAPPING* DE UM SISTEMA DE SUPORTE A
DECISÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientador: Dr. Wilson Fadlo Curi

CAMPINA GRANDE

MAIO DE 2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

L864d

Lopes, Isaias Verissimo

Desenvolvimento de uma Aplicação Webmapping de um Sistema de Suporte a Decisão para Recursos Hídricos / Isaias Verissimo Lopes. — Campina Grande, 2011.

128 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Wilson Fadlo Curi

Referências.

1. Recursos Hídricos. 2. ORNAP. 3. Banco de Dados. 4. Webmapping. I. Título.

CDU 556.18 (043)

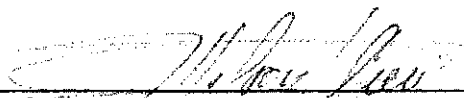
ISAIAS VERISSIMO LOPES

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEBMAPPING DE UM SISTEMA DE SUPORTE A

DECISÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS

Dissertação aprovada em 30/05/2011

COMISSÃO EXAMINADORA:



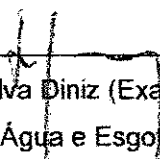
Dr. Wilson Fadlo Curi (Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande



Dra. Iana Alexandra Alves Rufino (Examinador Interno)

Universidade Federal de Campina Grande



Dr. Laudizio da Silva Diniz (Examinador Externo)

Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.

Aos meus pais, Rita e Aderaldo, fontes inesgotáveis de amor e dedicação em todos os momentos da minha vida. E a minha esposa e filho, Polyanna e Murilo, razão dos meus esforços. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus por ter me dado saúde e paz para poder estudar e aos meus pais por todo apoio e compreensão. A minha esposa e a meu filho pela compreensão da minha ausência nestes últimos anos. A meus irmãos pelo apoio. A meu orientador Wilson pelo apoio e pela confiança em minha capacidade de desenvolver este trabalho. A Sarah, Allan, Rony e Diego que foram minha segunda família durante o tempo de mestrado. A minha turma por todo o momento de descontração, e troca de experiências para uma pesquisa próspera e unida em especial a Ronaldo, que também é meu companheiro de trabalho. Ao professor do IFPB, Marcello Benigno por todos os ensinamentos transmitidos. A todos do laboratório de física e de Hidráulica I e II, e em especial a Mota, pessoa com a qual compartilhei varias horas no laboratório. A todos os professores, pelo ensino e dedicação, em especial aos professores(as) Rosires, Wilson e Marx Prestes pelo conhecimento passado para o desenvolvimento do trabalho. Aos funcionários da UFCG, em especial a Josete que sempre me ajudou a solucionar os problemas burocráticos junto à coordenação do curso. E a CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de mestrado. A UFCG pela acolhida no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

Na vida se tentares viver de amor, perceberás que aqui na terra convém fazeres a tua parte, porque a outra não sabes nunca se virá, e não te interessas que venha, porque no amor, o que vale é amar.(Chiara Lubich)

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento de um módulo *Webmapping* para o sistema de suporte a decisão ORNAP. O desenvolvimento deste aplicativo possibilitará a visualização de forma espacializada de informações sobre os recursos hídricos em um ambiente *Web*, a integração entre este módulo do sistema e os demais se dará por meio da utilização de um banco de dados com suporte espacial onde será realizada o armazenamento dos dados e a junção entre as informações espaciais provenientes de diversas fontes e as alfanuméricas provenientes do ORNAP. Para tal feito se fez uso de tecnologias livres, que além de não acarretarem nenhum custo, mostraram-se bastante robustas atendendo todas as necessidades do projeto, para o armazenamento e integração dos dados, foi utilizado o sistema gerenciador de banco de dados *PostgreSQL* com sua extensão espacial *PostGIS* e para a elaboração do *webmapping* foi utilizado a plataforma de desenvolvimento *Mapserver* que dentre outras funcionalidades, possui a característica de se conectar e disponibilizar dados armazenados do *PostgreSQL/PostGIS*. O foco não é apenas desenvolver um sistema para *WEB*, mas, sobretudo um sistema genérico capaz de ser adaptável a diversos temas na área de recursos hídricos, aos quais possam ser associados algum tipo de variável espacial.

Palavras-chave: Recursos Hídricos, ORNAP, Banco de Dados, *Webmapping*.

ABSTRACT

This work deals with the development of a Webmapping module for decision support system ORNAP, the development of this application allows the viewing of spatialized form of information on water resources in a Web environment, the integration module between this system and the others will be through the use of a database with spatial support. where data will be stored and the joint between spatial information from several sources and alphanumeric coming from the SSD. For such feat it was used free technologies that do not entail any cost and show to be very robust, meeting the project needs. To integration and store data it was used the database manager system postgresQL and its spatial extension PostGIS. To elaborate the Webmapping application the development platform Mapserver was used, which among other functionalities, connects and provides stored data of PostgreSQL/PostGIS. The main goal is to develop a generic system able to be adaptable to several themes in water resources area which are able to be associated to any type of spatial variable.

Keywords: Water Resources, Internet, SSD, Database, webmapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alguns componentes envolvidos na análise de Sistemas de Recursos Hídricos.....	22
Figura 2 - Sistema físico representativo da aplicação do ORNAP.....	32
Figura 3 – Fluxograma de funcionamento do modelo ORNAP.....	33
Figura 4 – Fluxograma de interação entre os módulos de desenvolvimento do ORNAP.....	34
Figura 5 – Arquitetura de um SIG.....	36
Figura 6 – Integração entre <i>PostgreSQL</i> e o <i>PostGIS</i>	45
Figura 7 – Tela do atlas dos recursos hídricos do Estado do Ceará.....	49
Figura 8 – Tela do SIGweb da ANA.....	50
Figura 9 – Tela inicial da aplicação da AESA.....	52
Figura 10 – Consulta a dados geográficos na internet.....	53
Figura 11 – Integração do servidor <i>Web</i> e <i>MapServer</i>	55
Figura 12- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.....	59
Figura 13 – Perfil longitudinal do rio Gramame.....	61
Figura 14 – Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do rio Gramame.....	63
Figura 15- Classificação dos solos da Bacia Hidrográfica do rio Gramame.....	65
Figura 16 – Possível estrutura organizacional de um BD para o SSD ORNAP.....	70
Figura 17 – Tela de importação de arquivos <i>DBF's</i> do <i>PostgreSQL</i>	71
Figura 18 - Tela de conexão do <i>Quantumgis</i> com o <i>PostGIS</i>	73
Figura 19 - Tela de exportação de <i>shapefile</i> do <i>Quantumgis</i> para o <i>PostgreSQL/PostGIS</i>	73
Figura 20 - Drenagem da Bacia com a codificação dos respectivos trechos.....	76
Figura 21 - Esquema geral de funcionamento de uma aplicação <i>MapServer</i>	77
Figura 22 - Etapas de desenvolvimento da aplicação <i>Mapserver</i>	78

Figura 23 – Tela inicial do <i>Fusion2</i>	81
Figura 24 – Tela inicial da aplicação <i>Webmapping</i> com todas as camadas ativas... 83	
Figura 25 – Barra de funções do Botão direito do <i>mouse</i>	84
Figura 26 – Barra lateral da aplicação.	85
Figura 27 – Rodapé da aplicação.	85
Figura 28 – Uso da ferramenta de <i>Measure</i>	87
Figura 29 - Seleção do açude Gramame-Mamuaba e visualização dos seus atributos	89
Figura 30 - Municípios Localizados dentro do limite da bacia hidrográfica	91
Figura 31 - Mapa de população do ano de 2007 por município.	93
Figura 32 – Mapa de população do ano de 2010 por município.	94
Figura 33 - Mapa de população urbana por município no ano de 2010.....	95
Figura 34 - Mapa de população rural por município no ano de 2010.....	96
Figura 35 - Mapa temático das microrregiões geográficas.	98
Figura 36 - Rodovias de acordo com o tipo de pavimentação.	99
Figura 37 - Localização das sedes municipais.....	101
Figura 38 - Localização dos postos pluviométricos.....	103
Figura 39 - Linhas com pluviometria média.	105
Figura 40 - Drenagem da Bacia hidrográfica.	107

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Consulta realizada em linguagem SQL.....	74
Tabela 1- Participação em áreas dos municípios na bacia hidrográfica	60
Tabela 2 – Evapotranspiração potencial média diária segundo G.H. Hargreaves (mm).	62
Tabela 3 – Ocupação e uso do solo em 1998.....	66
Tabela 4 – Principais parâmetros fisiográficos da bacia do Rio Gramame e suas sub-bacias.	66
Tabela 5 – Dados referentes aos Municípios.....	92
Tabela 6 – Dados populacionais oriundos do IBGE.....	92
Tabela 7 – Dados da tabela de rodovias.	100
Tabela 8 - Dados da tabela de sedes municipais.	102
Tabela 9 - Dados da tabela de postos pluviométricos	104
Tabela 10 - Dados da tabela de pluviometria média.....	106
Tabela 11 - Dados da tabela Drenagem.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agencia Executiva de Gest3o das 3guas do Estado da Paraiba
ANA	Ag3ncia Nacional de 3guas
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARO	<i>Army Research Office</i>
BD	Banco de Dados
BDE	Banco de Dados Espacial
BDG	Banco de Dados Geogr3ficos
CGI	<i>Common Gateway Interface</i>
CISDERGO	<i>Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater (Optimal) Operation</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DBF	<i>Data Base File</i>
DDL	Linguagem de Defini3o de Dados
DHI	<i>Danish Hydraulic Institute</i>
DML	Linguagem de Manipula3o de Dados
GDAL	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
GIS	<i>Geographic Information system</i>
GPL	<i>General Public License</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OGC	<i>Open Geospatial Consortium.</i>
ORNAP	<i>Optimal Reservoir Network Analysis Program</i>
PDF	<i>Portable Document Format</i>
SAD	<i>South American Datum</i>

SEI	<i>Stockholm Environment Institute</i>
SRHC	Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará
SFS	<i>Simple Features Specification</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGBDR	Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados Relacionais
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SQL	<i>Structured Query Language.</i>
SRID	<i>Spatial Reference System Identifier</i>
SSD	Sistema de Suporte a Decisão
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
USA	<i>United States of America</i>
UTM	<i>Universe Transverse Mercator</i>
WEAP	<i>Water Evaluation and Planning System</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

CAPITULO 1.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPITULO 2.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO.....	20
2.2 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS	21
2.2.1 Sistemas de Simulação de Recursos Hídricos	24
2.2.2 Sistemas de Otimização de Recursos Hídricos	25
2.2.3 Sistemas Mistos de Otimização e Simulação de Recursos Hídricos	27
2.2.4 Sistemas de Informações Geográficas	35
2.3 SISTEMAS DE BANCO DE DADOS.....	38
2.3.1 PostgreSQL	41
2.3.2 Banco de Dados Geográficos	42
2.3.3 PostGIS.....	46
2.5 DISPONIBILIZAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS NA INTERNET	47
2.5.1 Sistemas para Publicar mapas na Internet	53
CAPITULO 3.....	59
3 ÁREA DE ESTUDO.....	59
3.1 LOCALIZAÇÃO	59
3.2 HIDROGRAFIA	60
3.3 CLIMATOLOGIA	62

3.4 GEOLOGIA.....	63
3.5 PEDOLOGIA.....	64
3.6 RELEVO E VEGETAÇÃO.....	65
CAPITULO 4.....	67
4 METODOLOGIA.....	67
4.1 DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS.....	68
4.1.1 Informações alfanuméricas.....	68
4.1.2 Informações espaciais.....	72
4.2 Junção Espacial.....	74
4.3 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO MAPSERVER.....	76
4.2.1 O Arquivo de Definição Mapfile.....	79
4.2.2 O Arquivo <i>Template</i>	79
4.2.3 O <i>Fusion2</i> 80	
CAPITULO 5.....	82
5. RESULTADOS.....	82
5.1 FERRAMENTAS DE INTERAÇÃO DA APLICAÇÃO.....	84
5.2 EXEMPLOS PRÁTICOS DE USO DA APLICAÇÃO.....	86
5.2.1 Medidor de Distâncias.....	86
5.2.3 <i>Querys</i> e Consultas.....	88
5.3 PUBLICAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS.....	90
5.4 DEMAIS CAMADAS.....	100
5.4.1 Sedes Municipais.....	100
5.4.2 Postos Pluviométricos.....	102
5.4.3 Pluviometria Média.....	104
5.4.3 Drenagem.....	106
CAPÍTULO 6.....	110

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	110
6.1 CONCLUSÃO	110
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	111
REFERÊNCIAS	113
APENDICES.....	123

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais importante à vida na terra, uma vez que, em grandes proporções pode causar enchentes e destruição, e, em sua escassez provoca fome e miséria. Portanto, é imperiosa a necessidade de fazer uso de práticas racionais que visem à minimização destes impactos. Essas práticas devem estar associadas a ideais sustentáveis, que devem compatibilizar, no espaço e no tempo, o crescimento econômico com a conservação do meio ambiente e a equidade social.

Por estes motivos, estudos acerca dos recursos hídricos são de extrema importância, além de serem variados e multidisciplinares, envolvendo aspectos de hidrologia, climatologia, hidráulica, análises política, institucional e de conflitos, etc. As discussões correntes procuram tratar da gestão dos recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica, seguindo o que preceitua a Lei 9433/97 (Brasil, 1997), e, ainda, no sentido de que a definição da bacia hidrográfica como unidade de gestão é uma forma de estruturação do problema para melhor gerir os recursos hídricos.

Verifica-se que os problemas encontrados na distribuição da água podem ser solucionados unindo três fatores: evitar o desperdício, conter a poluição dos mananciais e prover uma gestão eficiente.

Um dos instrumentos de gestão, disposto no Capítulo IV, Art. 5º, Inciso VI, da Lei 9433/97, é o sistema de informações, que permite organizar as informações e fazer com que elas sejam disponibilizadas e utilizadas para gerir sistemas de recursos hídricos de forma racional e otimizada de acordo com as premissas das políticas nacional e estadual. Dentro deste contexto, várias tecnologias de sistemas de informação podem ser aplicadas, como os sistemas de suporte a decisão (SSD).

De acordo com Mota et al (2011a) os SSD são uma classe de sistemas de informação ou sistemas baseados em conhecimento que se refere a um modelo genérico de tomada de decisão em que é analisado um grande número de variáveis e tem o objetivo de ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados). Os sistemas de bancos de dados, que fazem parte dos SSD, são uma coleção de dados físicos, biológicos, econômicos, sociais e operacionais espaço-temporalmente distribuídos relacionados

ao sistema que são armazenados e usados pelo sistema quando do requerimento de uma análise. A organização espacial é, geralmente, feita através do geoprocessamento, aonde são aplicadas técnicas de tratamento, processamento e disponibilização da informação espacial de vários tipos de dados.

O sistema computacional que dá suporte a manipulação deste tipo de dados é denominado de sistema de informações geográficas (SIG), ou seja, são banco de dados relacionados espacialmente, que torna possível organizar as informações distribuídas espacialmente e fazer com que elas sejam processadas e disponibilizadas com mais facilidade e eficiência.

Vários SSD's, como o *MODSIM* desenvolvido por Labadie, Pinela e Bode (1984) e *MIKEBASIN* desenvolvido pelo *Danish Hydraulic Institute* (Lima, 2002) possuem extensões que possibilitam a conexão com softwares de SIG, nestes casos o *ArcGIS*, que é um *Software* proprietário, o que acarreta um aumento no custo do sistema. Outros SSD's, como o *ACQUANET* desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões - LabSid, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o *RIVERWARE* (ESCHENBACH et al., 2001) e o *WAP* (WEAP, 2001), possuem apenas algumas funcionalidades de SIG.

Neste contexto, a internet e os avanços trazidos por ela surgem como um facilitador na troca de informações pertinentes a gestão dos recursos hídricos, os SIG's também trilharam o mesmo caminho de desenvolvimento, assim vários softwares de SIG livres e proprietários desenvolveram aplicativos para disponibilização via *Web*. Estes aplicativos ficaram conhecidos como *SigWeb*. Um dos softwares mais conhecidos e usados no mundo para desenvolvimento de aplicações *Webmapping* é o *MapServer*. Isso ocorre, provavelmente, porque ele possui inúmeras funcionalidades para o desenvolvimento de aplicações de *Webmapping* básicas, que permitem ao usuário interagir com os dados e o servidor de mapas, intermediando entre o navegador *Web* os dados espaciais e alfanuméricos.

O diferencial desta pesquisa está em possibilitar ao SSD ORNAP, a integração com um *SIGweb*, permitindo assim a disponibilização das informações pertinentes ao ORNAP de forma espacialmente distribuída em um ambiente *web*. Isto possibilitara aos usuários do sistema que em geral são tomadores de decisão um suporte para que seja tomada a decisão mais acertada.

A partir das premissas expostas e da necessidade de obter e armazenar as informações acerca dos recursos hídricos para melhor geri-los, o presente estudo utilizou-se dessas tecnologias para desenvolver um banco de dados povoado com informações espaciais e alfanuméricas pertinentes ao sistema de suporte a decisão ORNAP. Estas informações foram estruturadas e integradas através de técnicas de manipulação de dados e disponibilizadas na *Web* através da conexão entre o banco de dados e o servidor de mapas para internet, o *Mapserver*. Tal ação possibilitou a criação de um sistema de banco de dados, no qual serão armazenadas todas as informações correlatas e onde será feita a junção entre as informações espaciais e alfanuméricas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma aplicação *Webmapping* para possibilitar a visualização espacializada de informações pertinentes a um sistema suporte a decisão (SSD) voltado a os recursos hídricos. Será utilizado um sistema de banco de dados com suporte espacial gratuito, para o armazenamento de informações e a junção entre as informações espaciais e as alfanuméricas provenientes do ORNAP. A disponibilização na internet será realizada pelo *MapServer*, que também é gratuito.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um banco de dados estruturado com suporte a informações espaciais relativas a um sistema de recursos hídricos.
- Desenvolver um *Webmapping* com interface amigável e conectado a um banco de dados, utilizando o servidor de mapas *Mapserver*.
- Disponibilizar mapas interativos e informações relacionadas em um ambiente *Web*.
- Aplicar este sistema na caracterização espacial de alguns aspectos sócio-ambientais da bacia do rio gramame-pb.

CAPITULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO

Sistema de Suporte à Decisão - SSD é uma classe de sistemas de informações ou sistemas baseados em conhecimento que se refere a um modelo genérico de tomada de decisão em que é analisado um grande número de variáveis. A decisão é uma escolha entre as alternativas existentes através de estimativas dos pesos destas alternativas.

"SSD's têm por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados)" (PORTO e AZEVEDO, 2002).

Sabe-se que problemas não estruturados são aqueles para os quais não existem soluções através de algoritmos bem definidos e ocasiona não serem facilmente tratáveis por computador (VIEIRA, 2007). Em consequência, a solução destes problemas exige uma estreita interação entre homem e máquina, fato que constitui uma das principais características dos SSD's.

Suas principais características, segundo Turban, (1990) são: (i) incorporam dados e modelos; (ii) sistemas desenhados para ajudar os gestores nos seus processos de decisão, no que se refere a problemas semi-estruturados (ou não estruturados); auxiliam, mas não substituem avaliações de gestão; têm como objetivo melhorar a eficácia das decisões e não a eficiência com que as decisões são tomadas.

Para Finlay (1994) e Turban (1995), um SSD deve ser interativo, flexível, adaptável, especialmente desenvolvido para apoiar a solução de um problema gerencial não estruturado para aperfeiçoar a tomada de decisão. Portanto, estes sistemas devem utilizar dados (interativos e armazenados em bancos de dados), possuir uma interface amigável e permitir ao tomador de decisão escolher as melhores alternativas existentes com o objetivo de auxiliá-lo na decisão a ser tomada, que deve ser executada de forma a resolver os problemas existentes de uma determinada organização pública ou privada.

De acordo com Marakas (2003), um SSD deve ter uma arquitetura generalizada que é composta por cinco partes distintas: a) um sistema gerenciador de banco de dados; b) um sistema gerenciador de modelagem; c) uma engenharia de conhecimento; d) uma interface com o usuário; e e) o usuário.

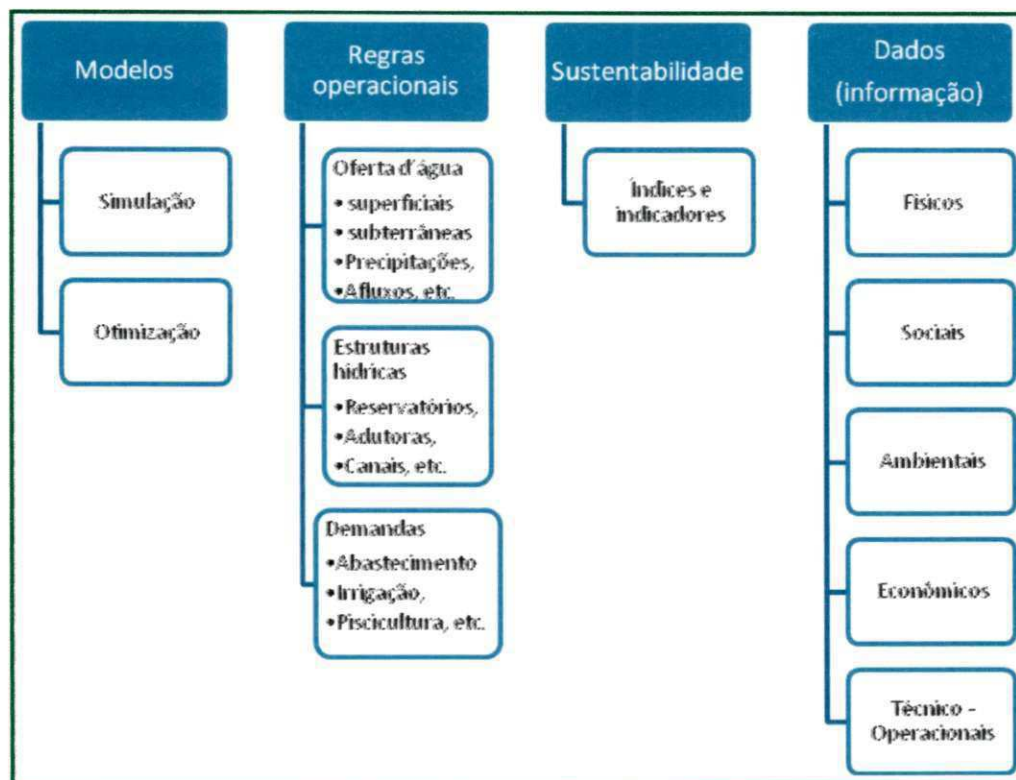
Em Carlsson e Turban (2002) é dado um "panorama" dos SSD'S para a próxima década, onde é relatado uma grande interação com a Internet, ele foca 4 pontos: (i) os métodos e instrumentos para resolver problemas não-estruturados e semi-estruturados; (ii) os sistemas interativos que utilizam exaustivamente a Internet; (iii) os sistemas direcionados para o usuário final, os quais são ótimos para gestores e (iv) a separação de dados e modelos nas aplicações no qual promete gerar uma maior eficiência na modelagem.

O processo da tomada de decisão em sistemas de recursos hídricos envolve muita complexidade, incertezas de diversas naturezas, a existência de conflitos, os investimentos são de grande porte, há a necessidade de planejamento de longo prazo, existe um dinamismo ao longo da vida útil desses sistemas, há também repercussões de cunho econômico, social e ambiental significativos, além da participação de grupos heterogêneos no processo decisório.

2.2 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

A análise de sistemas em recursos hídricos consiste em técnicas para solucionar problemas complexos de Engenharia de Recursos Hídricos a partir da abordagem sistêmica. Uma abordagem sistêmica, a exemplo de sistemas de recursos hídricos, implica na decomposição de um problema maior em subproblemas menores, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Alguns componentes envolvidos na análise de Sistemas de Recursos Hídricos.



Fonte: Curi e Curi. 2008.

Segundo Lima e Lanna (2005), uma das principais áreas de aplicação dos modelos de análise de sistemas de recursos hídricos é no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

A análise de sistemas de recursos hídricos pode ser definida como o conjunto de princípios e métodos usados na análise do comportamento e estrutura de sistemas complexos. O termo sistema, nesse contexto, refere-se a um conjunto de elementos inter-relacionados, os quais podem ter natureza social ou natural, física, concreta ou abstrata, existente ou planejada, estática ou dinâmica, etc., e que, em geral, é de natureza interdisciplinar. A análise de sistemas é uma ciência que usa métodos para definir os vários sistemas, distingui-los do meio ambiente, representá-los e otimizar sua estrutura e comportamento. (SANTOS, 2007).

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos devem, prioritariamente, buscar a eficiência econômica, a equidade social, a sustentabilidade ambiental e a flexibilidade operacional, além de incluir outros

aspectos técnicos, sociais, ambientais e institucionais, de forma a adequar e conciliar as intervenções humanas aos sistemas de recursos hídricos.

Isto envolve uma série de dados, fatores e entraves, devido aos usos múltiplos da água, as operações integradas dos reservatórios e outras estruturas hidráulicas, a adequação da disponibilidade às demandas de água e as restrições técnico-operacionais destes sistemas, que visam solucionar ou apenas minimizar problemas complexos. Por isso é que surge a utilização de várias técnicas de análises de sistemas aplicadas aos recursos hídricos. Geralmente os estudos de alternativas operacionais em sistemas de recursos hídricos são realizados através de aplicações de complexas metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de simulação e otimização (YEH, 1985; SIMONOVIC, 1992; LABADIE, 2004 e WURBS, 2005).

Segundo Lanna (1997), para a análise de sistemas de recursos hídricos, são dois os principais propósitos: simular o comportamento da realidade e otimizar os processos decisórios. Simonovic (1992) afirma que simulação e otimização são ferramentas essenciais para o desenvolvimento de uma base quantitativa de decisões em gerenciamento de reservatórios e a utilização dessas técnicas no planejamento e operação de projetos reais se encontra em bastante crescimento.

Muitos modelos já foram desenvolvidos utilizando diversas técnicas com o intuito de alcançar estes objetivos e podem ser utilizados em vários casos, porém não existe um modelo geral que sirva para qualquer caso, devido às especificidades de cada sistema.

Lima e Lanna (2005) ressaltam que a escolha da metodologia dependerá das particularidades do sistema em análise. Verifica-se que os modelos que utilizam programação matemática (linear, dinâmica ou não linear), bem como os modelos de simulação serão importantes em situações específicas.

Apesar do reconhecimento de que simulação, otimização e métodos associados são ferramentas essenciais para o desenvolvimento de bases quantitativas para a tomada de decisão, autores como Yeh (1985) e Wurbs (1993) notaram que existia uma lacuna entre a pesquisa e a aplicação dessas teorias na prática, que acreditamos continuar a existir. Isto se deve às características complexas, dinâmicas e multidisciplinares dos problemas de recursos hídricos e a necessidade de se representar o sistema real em um formato matemático apropriado para as técnicas de otimização (SIMONOVIC, 1992).

2.2.1 Sistemas de Simulação de Recursos Hídricos

A simulação objetiva representar um sistema físico e prever seu comportamento sob um determinado conjunto de condições, não apresentando, praticamente, nenhuma exigência quanto à natureza do problema, a não ser a de que ele possa ser formulado matematicamente (WURBS, 1993).

A simulação tem como principal característica a flexibilidade, sendo esta considerada uma das principais vantagens, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática mais detalhada devido ao requerimento de se resolver um sistema de equações associado a um instante de tempo de cada vez. Por isso, a simulação é considerada míope, ou seja, as decisões são baseadas no estado das variáveis no presente, sem levar em consideração o que deverá ocorrer no futuro.

Braga (1987) afirma que existem dois tipos básicos de modelos de simulação em recursos hídricos. O primeiro diz respeito à simulação dos processos hidrológicos (exemplo: os de transformação de chuva em vazão) e de qualidade da água, onde equações diferenciais e relações empíricas são utilizadas para representação de vários aspectos quantitativos e qualitativos do ciclo hidrológico. O segundo tipo de modelo de simulação é referido aos aspectos de dimensionamento e operação de sistemas de recursos hídricos. Modelos de simulação associados com a operação de reservatórios consideram, em regra geral, um cálculo de balanço hídrico entre as afluições, efluências e variações no armazenamento, podendo, ainda, incluir avaliações econômicas de prejuízos decorrentes de enchentes, benefícios de geração de energia hidrelétrica, benefícios de irrigação, pesca e outras características similares.

Alguns dos modelos de simulação utilizam-se de um dado conjunto de vazões históricas para representar a série histórica inteira. Na operação de reservatórios, as liberações são determinadas por um conjunto pré-estabelecido de regras (CELESTE, 2006). Desta forma, a simulação tanto de procedimentos simples quanto de procedimentos mais complexos não gera, diretamente, políticas ótimas de operação, mas geram uma representação bem detalhada e mais realista do sistema, além de possibilitar ao gestor (tomador de decisão) avaliar o desempenho do sistema considerando várias regras de decisão, que podem ser alteradas com intuito de se aproximar do ótimo.

De acordo com Andrade (2000), aplicações pioneiras de simulação em recursos hídricos estão referidas à década de 1950, com as primeiras publicações sobre pesquisas no desenvolvimento de simulação de sistemas de reservatórios sendo produzidas pelo *Havard Water Program*.

Segundo Barth (1987), a grande aplicação dos modelos de simulação em recursos hídricos tem sido na área do dimensionamento e operação de reservatórios múltiplos. Notadamente quando se deseja levar em conta a aleatoriedade das sequências de vazões afluentes e eventuais correlações cruzadas entre postos em uma bacia, o enfoque mais utilizado, na prática, tem sido a simulação.

Na literatura atual podemos encontrar vários modelos de simulação como, por exemplo, *HEC-3* e o *HEC-5*, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center – USA* (YEH, 1985); o *SIM-I* e o *SIM-II*, do *Texas Water Systems* (EVANSON e MOSELY, 1970); o *ARB-Arkansas River Basin Model*, (COOMES, 1979); Modelo *TVA* (SHELTON, 1979); o *ACRES* (SIGVALDASON, 1976); entre outros.

2.2.2 Sistemas de Otimização de Recursos Hídricos

Em planejamento e gerenciamento de sistemas de recursos hídricos, os problemas que exigem uma resposta à pergunta “como escolher a alternativa ótima” que maximize um índice de eficiência têm solução através de modelos de otimização (WURBS, 1993).

Yeh (1985) aponta que os mais importantes avanços no campo da engenharia de recursos hídricos foram o desenvolvimento e adoção de técnicas de otimização para o planejamento e gerenciamento de sistemas complexos de recursos hídricos.

Os modelos de otimização são formulados para encontrar os valores de um conjunto de variáveis de decisão que otimizem (maximizem e minimizem) uma função objetivo sujeita a restrições. A função objetivo e as restrições são representadas por expressões matemáticas em função das variáveis de decisão.

Não existe, porém, um procedimento de otimização geral que possa resolver eficientemente qualquer tipo de problema. A maioria das técnicas depende da forma e propriedades matemáticas da função objetivo e restrições (MATEUS e LUNA, 1986; DAHLQUIST e BJORCK, 1974).

Os modelos de otimização levam em consideração algum tipo de técnica de programação matemática que são classificadas em: programação linear;

programação dinâmica; programação não-linear e métodos heurísticos (Algoritmos genéticos, etc.).

Ros e Barros (2003) ressaltam que cada uma dessas técnicas pode ser resolvida de forma determinística ou estocástica, implícita ou explícita. A otimização determinística utiliza como variáveis de entrada, séries históricas e dados observados (as condições hidrológicas são perfeitamente conhecidas); a otimização estocástica implícita utiliza como variáveis de entrada séries geradas sinteticamente ou por métodos de previsão, ou seja, com base na série histórica; a otimização estocástica explícita utiliza na formulação da otimização procedimentos estocásticos aplicados à série histórica original como variável de entrada (a otimização é realizada sem a presunção do perfeito conhecimento de eventos futuros).

Atualmente podemos encontrar na literatura vários trabalhos utilizando técnicas de otimização em recursos hídricos como os exemplos apresentados a seguir.

Righetto e Filho (2003) apresentaram um estudo preliminar da operação dos reservatórios Cruzeta e Armando Ribeiro Gonçalves, RN, via programação linear, no sentido de verificar a magnitude de oferta hídrica destes reservatórios quando se dispõe de vazão firme proveniente de fonte exógena.

Curi e Curi (2001) desenvolveram e apresentaram o modelo *CISDERGO* - "*Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater (Optimal) Operation*", baseado em programação linear recursiva, destinado a maximizar múltiplos benefícios ou objetivos relativos ao uso da água de reservatório, poços e rios, em conjunção com o planejamento ou gerenciamento de perímetros irrigados. Aplicações do modelo são apresentadas no artigo de Almeida, Curi e Curi (2001), Albuquerque et al. (2003a) e Cunha (1999).

Aplicações de programação dinâmica na operação de reservatório são ilustradas nos trabalhos de Young (1967), Houck (1982), Karamouz, Houck e Delleur (1992), Mujumdar e Ramesh (1997), Perera e Codner (1996), Lima e Lanna (2001) entre outros.

O modelo de otimização ORNAP (*Optimal Reservoir Network Analysis Program*), desenvolvido por Curi e Curi (2001), é baseado em programação não-linear, que trabalha a nível mensal. O processo de otimização foi resolvido numericamente, através de programação não-linear, contemplando uma função objetivo para a maximização da receita líquida anual advinda da agricultura irrigada,

avaliando-se, também, o retorno financeiro da piscicultura extensiva nos reservatórios. Todos os requerimentos de ordem legal, socioeconômicos e de sustentabilidade hídrica, além das restrições físicas e condições climáticas, foram considerados no modelo. Foi utilizado, acoplado a modelos de otimização de áreas irrigadas e usos de água para piscicultura, o controle de cheias e o abastecimento urbano, com resultados bastante satisfatórios quando aplicado a esta classe de problemas.

Santos (2007), desenvolveu uma Versão do ORNAP (modelo de otimização), em programação linear, para prover uma ferramenta que visa o estudo da alocação ótima das disponibilidades hídricas entre os múltiplos usos de um sistema de reservatórios, quando operados de forma integrada, através de uma análise multiobjetivo. As não linearidades das funções objetivo e dos processos representados em cada restrição foram implementadas através do uso combinado de técnicas matemáticas de linearizações de funções e de um procedimento iterativo, denominado Programação Linear Sequencial (ou Sucessiva).

O autor em comento estabeleceu uma metodologia capaz de ser aplicada a sistemas de reservatórios, com a possibilidade de uma representação mais detalhada do sistema, tendo em vista a escolha de políticas operacionais que possam melhorar de forma sustentável, o uso da água em regiões com escassez hídrica, minimizando problemas peculiares de déficit hídrico e os conflitos de uso da água.

2.2.3 Sistemas Mistos de Otimização e Simulação de Recursos Hídricos

Além dos modelos de Simulação e Otimização citados anteriormente também existe uma serie de modelos mistos, os quais otimizam os processos a nível mensal. Dentre estes se destacam: *MODSIM*, *ACQUANET*, *MIKE BASIN*, *RIVERWARE* e *WAP*. Descritos a seguir.

O MODSIM, foi desenvolvido no Colorado *States University* por Labadie, Pinela e Bode (1984), é essencialmente um modelo de simulação, que permite fazer otimização aplicada para cada mês, da alocação de água via modelo de rede de fluxo. Foi utilizado por Azevedo, Porto e Porto (1998) na bacia do rio Piracicaba. Conforme os autores, a capacidade de combinar simulação e otimização é um dos pontos fortes do MODSIM em relação aos outros modelos. O MODSIM inclui a

capacidade de otimizar, para cada mês, a operação de sistemas mediante a utilização de um algoritmo de rede de fluxo chamado “*out ofilter*”. Trata-se essencialmente de um algoritmo de programação linear desenvolvido para a solução de problemas de otimização de rede de fluxo (LIMA, 2004).

O MODSIM possui uma extensão chamada GEO-MODSIM, que funciona como uma extensão personalizada do *ArcGis*¹ desenvolvido pela ESRI, permitindo a criação automática de redes de fluxo e o processamento de informações de um banco de dados com suporte espacial, esta ferramenta também possibilita ao MODSIM o uso de outras extensões do *ArcGis*, a exemplo do *Modflow*. Neste sentido Dai e Labadie (2001), aplicaram o MODSIM na bacia do baixo Arkansas, no Colorado, para identificar oportunidades de melhora na qualidade da água, através da utilização integrada das águas superficiais e subterrâneas.

O ACQUANET é um modelo de rede de fluxos para simulação de bacias hidrográficas, que permite a estruturação de redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais, representando o problema em estudo de forma bastante detalhada. Conforme Azevedo, Porto e Filho (1997), os modelos de rede de fluxo misturam características dos modelos de simulação e otimização e podem incorporar as características estocásticas das vazões de entrada, representando os sistemas de recursos hídricos por uma rede formada de “nós” e “arcos”. Os nós representam reservatórios, demandas, reversões, confluências e outros pontos importantes do sistema. Por outro lado, Os arcos são os elos entre os nós e representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes.

O ACQUANET foi desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões - LabSid, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e é uma versão modernizada do modelo ModSimP32 (Azevedo e Porto, 1999). Ele armazena todos os dados e resultados em bancos de dados no formato do *Microsoft Access* e aproveita a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato. As definições gerais de funcionamento, opções de cálculo e tipos de resultados providos por esse modelo estão descritos no “AcquaNet - Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos - Manual do

¹ ArcGIS - software desenvolvido e registrado pela empresa ESRI.

Usuário”, publicado pelo LabSid da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2003).

As versões mais recentes do AcquaNet incorporam ferramentas de sistema de informações geográficas (SIG), apesar do mesmo não se integrar totalmente com nenhum SIG. Sua estrutura é modular, permitindo a otimização da alocação de água numa bacia considerando aspectos importantes, a saber: qualidade da água, irrigação, produção de energia elétrica. O AcquaNet é detalhadamente descrito em Porto et al. (2003 e 2005).

O modelo MIKE BASIN 2000, desenvolvido pelo DHI (*Danish Hydraulic Institute*) da Dinamarca, é uma potente ferramenta capaz de executar análises hidrológicas extensas para sistemas independentes de abastecimento, de irrigação, produção de energia elétrica e, também, para sistemas de usos múltiplos. O modelo foi utilizado por Lima (2002), na análise dos conflitos entre os usos múltiplos da água na bacia do rio Atibaia no estado de São Paulo.

O MIKE BASIN 2000, associa técnicas de simulação e otimização através de uma rede de fluxo na qual os rios e os afluentes principais são representados por uma rede de arcos e nós. Outra característica do modelo é sua interface gráfica que é feita através do *software ArcView GIS*, permitindo a integração com sistemas de informações geográficas. Uma descrição mais detalhada do MIKE BASIN 2000 pode ser encontrada em Lima, Peixoto e Mauad. (2001).

O sistema *RIVERWARE* (ESCHENBACH et al., 2001) é uma ferramenta flexível de modelagem de bacia hidrográfica que permite simular e otimizar o gerenciamento de sistemas de reservatórios de múltiplos objetivos para operações diárias.

Carron, Zagona e Fulp (2003) realizou um estudo de caso utilizando *Riverware*, envolvendo a avaliação de incertezas associados com as elevações previstas da superfície dos reservatórios do baixo rio Colorado para fins de recuperação de espécies ameaçadas de extinção. A identificação dessas fontes de incerteza podem orientar os gestores no desenvolvimento de futuras diretrizes operacionais.

O WEAP21 (*Water Evaluation And Planning System*) é um modelo desenvolvido pelo *Stockholm Environment Institute (SEI)* do *Boston Center / USA*, destinado ao planejamento integrado de recursos hídricos. Como uma ferramenta de pesquisa, o WEAP simula as demandas e suprimentos de água, aflúências e

armazenamentos, geração de poluição, tratamento e descargas, operando numa base de tempo mensal. Como uma ferramenta de análises de políticas operacionais, o modelo permite avaliar amplas faixas de opções para o gerenciamento e desenvolvimento de recursos hídricos. Com base no balanço hídrico de água para cada nó e arco (*link*) do sistema, o modelo permite alocar prioridades de requerimentos, preferências locais de demandas, balanço de massa e outras restrições em diversos cenários de avaliação de disponibilidades hídricas, custos e benefícios, compatibilidades de metas ambientais, sensibilidade e incertezas de variáveis de decisão. As definições gerais de funcionamento, opções de cálculo e tipos de resultados providos pelo modelo WEAP21 estão descritos no “*USER GUIDE for WEAP21*”, publicado pelo *Stockholm Environment Institute - Boston, TellusInstitute, Boston MA, USA*. (WEAP, 2001).

O ambiente de simulação, WEAP21 fornece uma interface baseada em SIG para representar graficamente fontes de demanda de água, os recursos hídricos naturais e artificiais, sistemas de abastecimento e sistemas de tratamento, incluindo cidades, áreas irrigadas, sistemas fluviais, estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgoto, hidrelétricas, etc. (WEAP, 2001).

Assaf e Saadeh (2008), avaliou as opções de gestão da qualidade das águas na bacia do alto rio Litani, no Líbano, usando um sistema integrado de apoio à decisão (WAP21), baseado em SIG.

Dentre os modelos mistos de simulação e otimização dos recursos hídricos o ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program), que foi desenvolvido com base em programação não-linear por Curi & Curi (2001) e adaptado para programação linear por Santos (2007), se apresenta como um SSD robusto e amplo, pois destina-se a dar suporte a decisão com relação aos múltiplos usos dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, visando maximizar múltiplos benefícios ou objetivos relativos aos múltiplos usos da água.

2.2.3.1 ORNAP

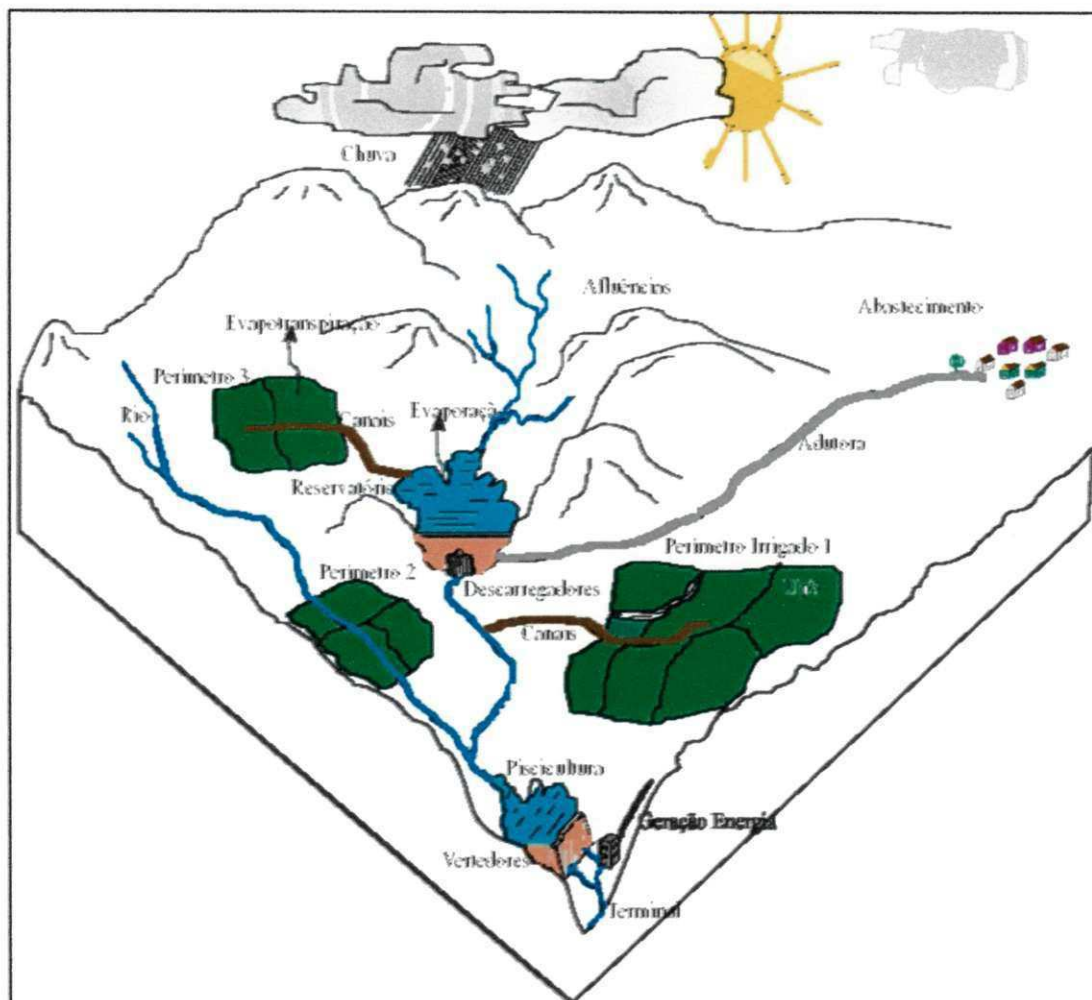
Segundo Andrade (2006) o ORNAP é destinado a maximizar múltiplos benefícios ou objetivos relativos aos múltiplos usos da água (abastecimento humano, piscicultura, atividades agropecuárias e industriais, controle de enchentes,

prevenção contra secas, geração de energia, etc.) com vistas a dar subsídios ao planejamento ou gerenciamento do uso de bacias hidrográficas.

O ORNAP, que vem sendo gradativamente aprimorado, foi projetado tendo como base a teoria de sistemas físicos (Kesavan, 1987, Vlack e Singal, 1983, apud Curi e Curi, 2001) onde as informações físicas de cada elemento do sistema (quer dos reservatórios – como tomadas d'água, vertedores, relações cota x área x volume, etc.; capacidades das calhas dos rios e dados hidrometeorológicos - como precipitações, vazões afluentes e evaporação; das áreas irrigáveis - como áreas máximas, planos culturais por tipo de cultura, parâmetros hidroagrícolas e econômicos, sistemas de irrigação, etc.) são naturalmente fornecidas. A entrada de dados ao programa é feita de forma simples, caracterizando a descrição do sistema em estudo, e o ORNAP se encarrega de, automaticamente, formular as equações e promover a solução do problema (ANDRADE 2006).

As variáveis trabalhadas pelo ORNAP, como mostra Albuquerque et al (2003), são relacionadas aos elementos naturais (hidroclimáticos e hidroagrícolas) e artificiais (demandas, características físicas, parâmetros comerciais, entre outros) identificados como pertinentes ao estudo do sistema hídrico. Curi e Curi (2001) definiu para estes elementos quatro pontos básicos de entradas de dados: (i) os reservatórios, (ii) demandas de água para o abastecimento doméstico, (iii) calhas dos rios e (iv) perímetros de irrigação. A Figura 2 mostra uma configuração de um sistema hídrico em termos de componentes físicos para o ORNAP.

Figura 2 - Sistema físico representativo da aplicação do ORNAP.

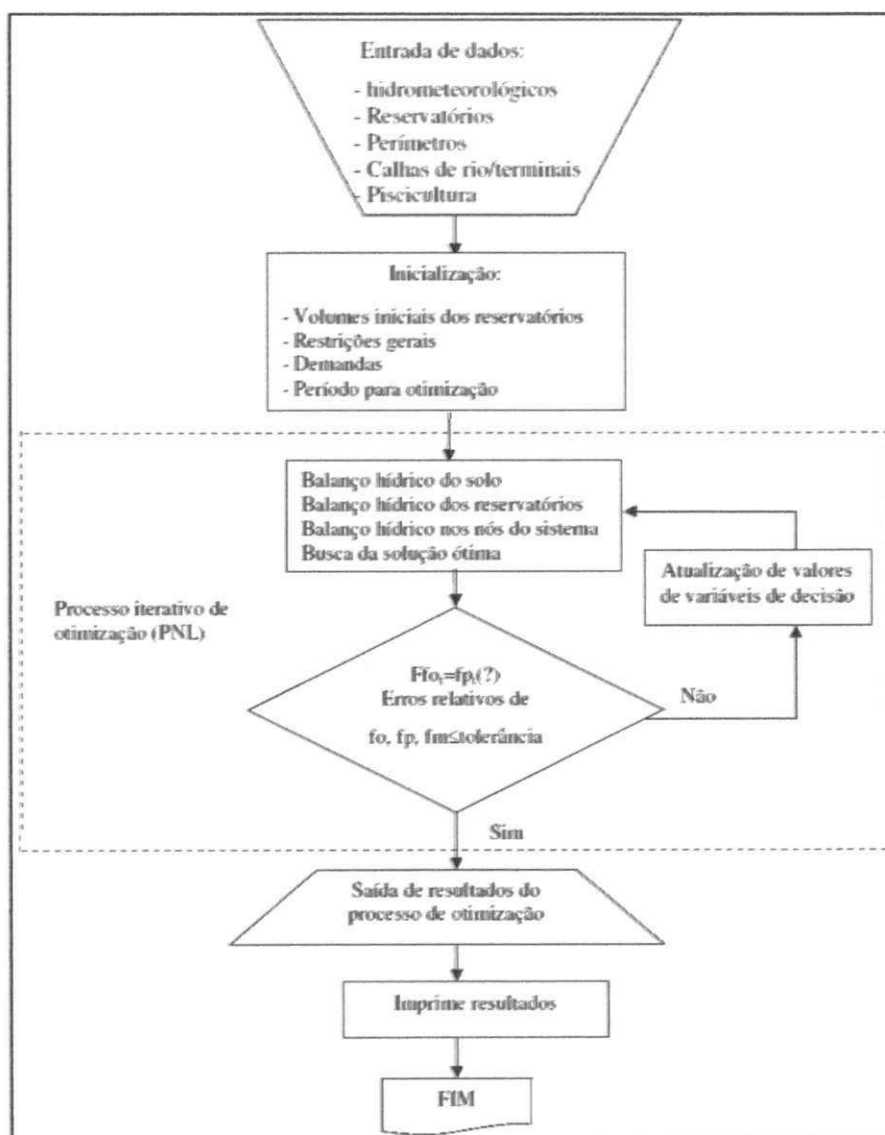


Fonte: Curi e Curi. 2001.

Albuquerque et al (2003) ressalta que as saídas do modelo possibilitam extensas análises de desempenho do sistema hídrico em estudo, determinam valores mensais para volumes, cotas e áreas de espelho d'água, vazões mensais de afluxos, de descargas e de sangria por reservatório; vazões mensais nas tomadas d'água e nas calhas do rio; vazões mensais para irrigação por perímetro, áreas irrigadas e mão de obra alocada por cultura e por perímetro; receita líquida anual auferida por cultura em cada perímetro; áreas mínimas de espelho d'água, produção de pescado, mão de obra e receita líquida anual advinda da piscicultura, para cada reservatório. O programa, ainda, gera resultados para análise da convergência do processo iterativo e de restrições, dentro da tolerância requerida, descrevendo o tipo das restrições violadas, ou não, suas quantidades mensais e valores totais, seja em

vazões, volumes, níveis e áreas. O fluxograma do ORNAP e exposto na figura 3 a seguir.

Figura 3 – Fluxograma de funcionamento do modelo ORNAP.



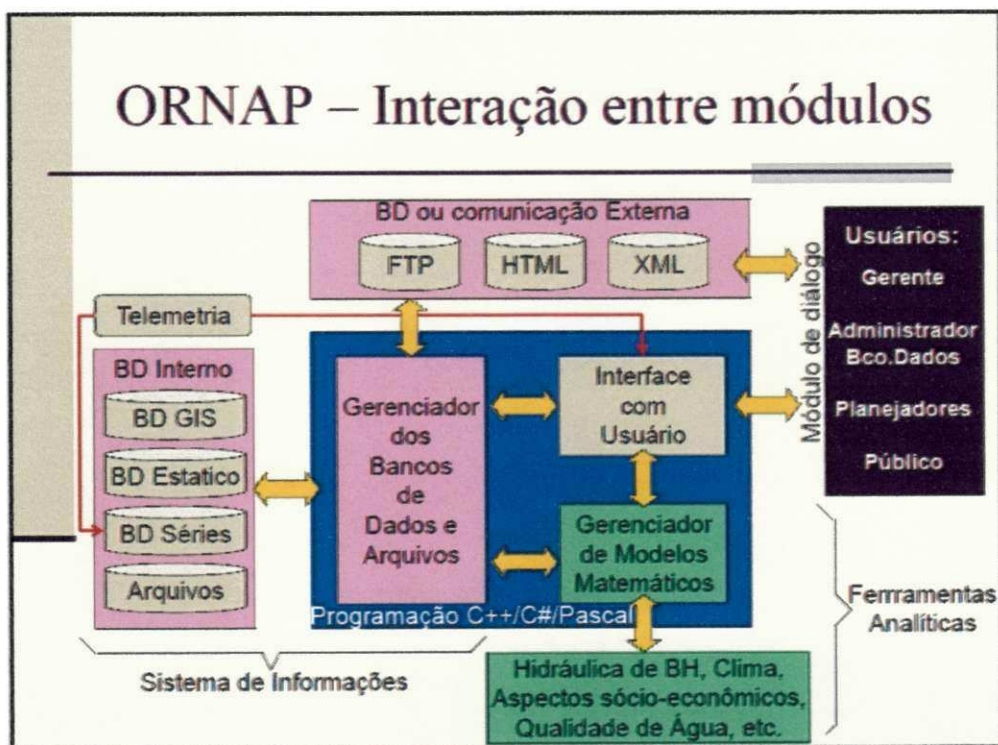
Fonte: Curi e Curi. 2001.

Barbosa et al. (2001) utilizou o modelo para estudar o comportamento da operação de um sistema de 3 reservatórios em paralelo sujeitos a usos múltiplos, localizados na Bacia do Capibaribe, no estado Pernambuco. Andrade et al. (2001) também fez uso do modelo para determinar a operação ótima de um sistema hídrico formado por 2 reservatórios em série e 3 perímetros de irrigação, localizados na bacia do Capibaribe, em Pernambuco. Celeste et al. (2004) aplicaram o ORNAP para estudar o potencial hídrico de um sistema de sete reservatórios agregados na

bacia hidrográfica do rio Piancó para fins de agricultura irrigada. Albuquerque et al. (2003) realizaram um estudo sobre o planejamento ótimo e integrado de cinco reservatórios inseridos na parte alta da bacia hidrográfica do rio Capibaribe do Estado de Pernambuco, utilizando-se da programação linear e não-linear, ensejando a maximização da receita líquida advinda da agricultura irrigada e da piscicultura extensiva. Outras aplicações deste modelo podem ser vistas, entre outros, nos trabalhos de Andrade et al. (2002); Melo et al. (2004), Silva (2004), e Lima (2004).

Como exposto por Curi e Curi (2001) o ORNAP é composto por vários módulos de desenvolvimento, como mostra a figura 4, entre estes módulos de desenvolvimento estão à interface com o usuário que permitira a manipulação e visualização dos dados (modulo em que o *Webmapping* esta inserido), o sistema gerenciador de banco de dados que e responsável pelo armazenamento e interação entre os dados alfanuméricos, estáticos, de series históricas e espacial, e o banco de modelos que é onde se encontra todos os modelos matemáticos desenvolvidos para a obtenção dos resultados dos processos de simulação e otimização realizados.

Figura 4 – Fluxograma de interação entre os módulos de desenvolvimento do ORNAP



Fonte: Curi e Curi. 2001.

A partir destas referências, o SSD ORNAP surge como potencial viável para se trabalhar em conjunto com um SIG, uma vez que ele possui uma gama de informações que podem ser disponibilizadas espacialmente. Conjugado com fato de estas informações estarem armazenadas em um banco de dados estruturado, que utiliza o *PostgreSQL* como o sistema gerenciador de banco de dados, que permite o desenvolvimento de uma metodologia que possa agregar O SIG ao ORNAP.

Dentro deste contexto, o desenvolvimento de um *Webmapping* para o SSD ORNAP, apresenta-se como uma grande inovação, pois todos os SSD's citados são caracterizados por possuírem apenas algumas funcionalidades de SIG, ou trabalharem com SIG's locais, que na maioria das vezes são proprietários. Diferentemente dos sistemas que se pretende desenvolver na presente pesquisa que são livres e voltados para web.

2.2.4 Sistemas de Informações Geográficas

Segundo Aronoff (1989), SIG é qualquer conjunto de procedimentos manuais ou baseados em computador, usados para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados.

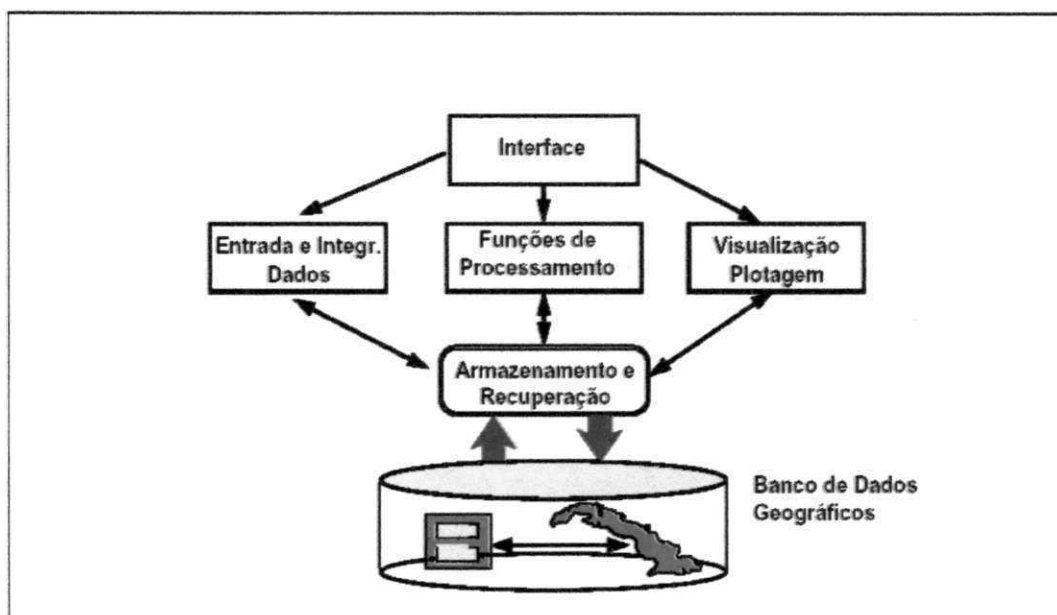
Burrough (1986) define SIG como uma coleção de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos.

Câmara et al (1997) afirma que devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- Como ferramenta para produção de mapas;
- Como suporte para análise espacial de fenômenos;
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Segundo Melo Jr (2002) os SIG foram desenvolvidos ao longo do tempo segundo várias arquiteturas. Nas mais recentes, os dados geográficos passaram a ser armazenados em Banco de Dados. Na Figura 5 tem-se a visão de Câmara et al (1997) para a arquitetura de um SIG.

Figura 5 – Arquitetura de um SIG



Fonte: Câmara et al (1997)

No século XX, ocorreu um grande avanço da tecnologia. Este avanço criou uma demanda por grandes volumes de dados geográficos que necessitavam ser apresentados no formato de mapas de forma mais rápida e precisa. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de aquisição de dados como fotos aéreas e sensores remotos baseados em satélite, houve uma explosão da produção de dados geográficos implicando em maior uso e na necessidade de análises mais sofisticadas. Dados geográficos eram gerados mais rapidamente do que podiam ser analisados. Os sistemas de informações geográficas foram desenvolvidos para prover poder de processamento para analisar grandes volumes de dados geográficos (ARONOFF, 1989).

2.2.4.1 Aplicações em Recursos Hídricos.

No âmbito geral, pode-se afirmar que o uso do SIG's são atualmente imprescindíveis para uma gestão de sucesso dos recursos hídricos. Vários *softwares* de simulação e otimização voltados para esta área, como o MIKE BASIN citado anteriormente, incorporaram SIG's em busca de ampliar suas funcionalidades e resultados, cuja aplicação abrange também aspectos voltados ao tratamento e

qualidade da água, abastecimento e saneamento, irrigação, além da utilização integrada de SIG's e Modelos Hidrológicos.

Em pesquisas recentes, Flauzino *et al* (2010) aplica SIG na gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, no cerrado mineiro, auxiliando na gestão e preservação destes recursos. Os resultados apresentados por este autor a partir da obtenção, armazenamento, manipulação e apresentação de dados georreferenciados mostram o diagnóstico da área estudada e permitem um avanço nos estudos ambientais.

Neste sentido, de acordo com Umbelino *et al* (2007) a aplicação do geoprocessamento e SIG revela-se indispensável na aplicações de estudos de preservação dos recursos hídricos e estudos de vulnerabilidade social possibilitando avaliar com precisão áreas de interesse em relação a expansão urbana bem como mapear e interpretar a vulnerabilidade socioambiental.

Silva (2005) realizou um estudo da viabilidade do uso integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, utilizando para isso técnicas de geoprocessamento, como sistema de informações geográficas e produtos de sensoriamento remoto. Com a aplicação destas técnicas, encontrou-se um déficit mensal inferior em 60% daquele determinado por métodos convencionais.

No estudo de Silva (2007), que objetivou desenvolver uma rotina computacional que permitisse otimizar a renda líquida maximizada de cultivos irrigados em um ambiente de SIG, os resultados permitiram concluir que a rotina computacional desenvolvida se mostrou eficiente no planejamento da agricultura irrigada, podendo ser aplicada a outras culturas e outras regiões.

Por sua vez, Neto (2007) apresentou uma metodologia para determinação das características físicas de uma bacia hidrográfica utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG). O estudo de caso foi feito em uma sub-bacia localizada no município de São José dos Campos-SP. A base de dados obtidos do presente trabalho foi gerada a partir da digitalização na tela de um mapa topográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Com base na análise do coeficiente de compacidade (KC) pode-se afirmar que a área da sub-bacia não tem risco de ocorrer inundações. De acordo com a análise dos resultados da densidade de drenagem (Dd) verificaram que a sub-bacia é bem drenada.

Almeida, Roehrig e Wendland (2007) expõem que na área de recursos hídricos o uso conjunto de modelos hidrológicos acoplados aos SIG já estão bem

difundidos, mas, geralmente, os SIG's são comerciais. O mesmo apresentou uma metodologia para a integração do Sistema de Informações Geográficas livre *JUMP*² e um modelo hidrológico distribuído de deflúvios, compondo um sistema de suporte a decisão espacial para a área de recursos hídricos. Este SSD, denominado ARENA, é composto de um SIG livre, um banco de dados georreferenciados, e os módulos de diálogo, que permitem o acesso ao modelo hidrológico. A fim de proceder a integração, a equação do modelo hidrológico, foram integrados às entidades geométricas no *JUMP*. Este tipo de integração exige uma profunda compreensão do modelo, bem como um bom conhecimento do SIG. A limitação do *JAMP* foi encontrada, especificamente no que diz respeito à saída dos resultados.

Os SIG's vêm evoluindo através da incorporação de novas tecnologias como a internet. Segundo Colas et al. (2000) um SIG on-line é um serviço que usa a Internet para distribuir mapas interativos e outros dados espaciais derivados de um Sistema de Informações Geográficas. A criação de um SIG on-line envolve categorização de conteúdo, preparação dos dados, design da estrutura de navegação do site na Web, projeto da interface, instalação de software, configuração dos servidores, e testes utilizando os usuários potenciais.

Soares, Rufino e Almeida (2010) desenvolveram um sistema de suporte a decisão em ambiente Web, chamado *SIGWeb GeoCISA*, buscou-se que o sistema permita a visualização de diferentes informações de Recursos Hídricos especializados em planos (camadas), com possibilidades de interação do usuário e com disponibilização de funções básicas comuns à maioria dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e visualizadores *web* de mapas.

2.3 SISTEMAS DE BANCO DE DADOS

Por banco de dados entende-se a coleção dos dados propriamente dita. Algumas definições de banco de dados encontradas na literatura incluem: "Um banco de dados é uma coleção de dados relacionados" (ELMASRI; NAVATHE, 1994). Por sua vez Date (1981) afirma que "Um banco de dados é uma coleção de dados operacionais armazenados, sendo usados pelos sistemas de aplicação de uma determinada organização".

² *JUMP* – (*Unified Mapping Platform*) é um SIG OpenGIS que foi desenvolvido pela Vivid Solutions©.

Um banco de dados pode ser mantido manualmente ou por computador e sempre é povoado com dados para um propósito específico, ou seja, contém elementos da aplicação e informações que circulam por ela. Numa aplicação de distribuição de água, por exemplo, o banco de dados armazena tanto a descrição dos consumidores quanto o dados sobre o consumo mensal de cada um.

De acordo com Silberschatz, Korth e Sudarshan (1999), um banco de dados pode ser dividido basicamente em dois modelos lógicos de dados que são: modelos baseados em registros e modelos baseados em objetos. No modelo baseado em registros, os dados são descritos nos níveis conceituais e de visões de usuários e o banco de dados é estruturado em registros de formatos fixos de diversos tipos, onde cada tipo de registro tem sua coleção de atributos e podem ser um dos três tipos: relacional; rede; ou hierárquico. Nos modelos lógicos baseados em objetos, os dados são descritos nos níveis conceituais e de visões de usuários e o banco de dados pode ser um dos dois tipos: entidade-relacionamento; ou orientado a objetos. Especificamente no modelo orientado a objetos, o código executável é parte integrante do modelo de dados.

O modelo de banco de dados relacional é um modelo de dados baseado em lógica e na teoria de conjuntos. Este foi o primeiro modelo formal e somente depois seus antecessores, os bancos de dados hierárquicos e em rede, passaram a ser também descritos em linguagem formal.

Segundo Date (1995), um Sistema Gerenciador de Banco de Dados ou Sistema Gestor de Base de Dados (SGBD) é o conjunto de programas (softwares) responsáveis pelo gerenciamento de uma base de dados. O principal objetivo é retirar da aplicação cliente a responsabilidade de gerenciar o acesso, manipulação e organização dos dados. O SGBD disponibiliza uma interface para que os seus usuários possam incluir, alterar ou consultar dados.

Um sistema de gerenciamento de banco de dados possui dois tipos de linguagens que são utilizadas para o trabalho direto com o banco de dados que podem ser: as linguagens de definição de dados, as chamadas DDL (*Data Definition Language*) e as linguagens de manipulação dos dados que são chamadas de DML (*Data Manipulation Language*). As DDL's permitem especificar o esquema do banco de dados, por intermédio de um conjunto de definições de dados que são os chamados metadados e são armazenados no dicionário de dados. Enquanto que as DML's permitem ao usuário acessar ou manipular os dados no mais alto nível de

abstração, isso é feito através de comandos de consulta, inserção, alteração e remoção de dados via a linguagem denominada SQL (*Structured Query Language*).

De acordo com Filho e Lochpe (2001) um SGBD inclui o suporte a:

- Definição do BD - especificação e descrição detalhada dos tipos, estruturas e restrições referentes aos dados a serem armazenados no BD;
- Construção do BD - processo de carga inicial dos dados em um meio de armazenamento controlado pelo SGBD;
- Manipulação do BD - abrange as alterações realizadas nos dados para refletir mudanças ocorridas no ambiente. Isto inclui as operações de inclusão e exclusão de dados;
- Consulta aos dados - tipo de operação mais comum realizada por usuários que necessitam extrair informações armazenadas no BD.

Um sistema de banco de dados consiste de um sistema de manutenção e manipulação de registros em um computador, que compreende os seguintes componentes: dados; hardware, software, e usuários. Tem como objetivo isolar os usuários dos detalhes mais internos do banco de dados, que correspondem a abstração de dados.

Mota et al (2011a) apresenta algumas das vantagens que um sistema de banco de dados pode oferecer, quais sejam:

- Compartilhamento de dados;
- Rapidez na manipulação e no acesso aos dados;
- Disponibilidade dos dados em tempo hábil;
- Reduzir o esforço humano em seu desenvolvimento de softwares;
- Controle integrado de informações distribuídas fisicamente;
- Aplicação automática de restrições de segurança;
- Redução de problemas de integridade dos dados; entre outros.

Além do mais, deve fornecer uma visão abstrata dos dados para os usuários que consiste na abstração em três níveis: nível de visão dos usuários (que descreve partes do banco de dados conforme as necessidades de um usuário individualmente); nível conceitual (que consiste na forma como os dados estão

armazenados no banco de dados); e nível físico (que consiste no mais baixo nível de abstração e descreve como os dados estão armazenados realmente).

2.3.1 PostgreSQL

O *PostgreSQL* é apresentado por Uchoa (2011) como o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) de código aberto que possibilitou o desenvolvimento de soluções corporativas com uma melhor relação custo x benefício. O autor apresenta ainda, que um ponto forte deste SGBD é a sua capacidade de tratar grandes volumes de dados com escalabilidade, ou seja, a sua arquitetura pode ser continuamente ampliada de acordo com a demanda dos usuários. Exatamente neste contexto, entram as aplicações na área de Geotecnologias que necessitam de uma infraestrutura robusta e em contínua expansão.

Baseado no *POSTGRES*, Versão 4.21, desenvolvido no Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Califórnia em Berkeley. Foi patrocinado pelas seguintes instituições: *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*; *Army Research Office (ARO)*; *National Science Foundation (NSF)*; e *ESL, Inc.*

O *PostgreSQL* descende deste código original de *Berkeley*, possuindo o código fonte aberto. Fornece suporte às linguagens SQL92/SQL99 além de outras funcionalidades modernas.

O *POSTGRES* foi o pioneiro em muitos conceitos objeto-relacionais que agora estão se tornando disponíveis em alguns bancos de dados comerciais. Os Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados Relacionais (SGBDR) tradicionais suportam um modelo de dados que consiste em uma coleção de relações com nome, contendo atributos de um tipo específico. Nos sistemas comerciais em uso, os tipos possíveis incluem número de ponto flutuante, inteiro, cadeia de caracteres, monetário e data. É largamente reconhecido que este modelo não é adequado para aplicações futuras de processamento de dados. O *PostgreSQL* oferece um substancial poder adicional devido à incorporação dos conceitos mostrados abaixo de uma forma que os usuários podem facilmente entender o sistema (DOCUMENTAÇÃO POSTGRESCL, 2007):

- herança
- tipos de dados

- funções

Outras funcionalidades fornecem poder e flexibilidade adicionais (DOCUMENTAÇÃO POSTGRESCL, 2007):

- restrições
- gatilhos
- regras
- integridade da transação

Estas funcionalidades colocam o *PostgreSQL* dentro da categoria de bancos de dados referido como objeto relacional. Repare que isto é diferente daqueles referidos como orientados a objetos que, em geral, não são muito adequados para dar suporte às linguagens de banco de dados relacionais tradicionais. Portanto, embora o *PostgreSQL* possua algumas funcionalidades de orientação a objetos, está firmemente ligado ao mundo dos bancos de dados relacionais. Na verdade, alguns bancos de dados comerciais incorporaram recentemente funcionalidades nas quais o *PostgreSQL* foi o pioneiro.

2.3.2 Banco de Dados Geográficos

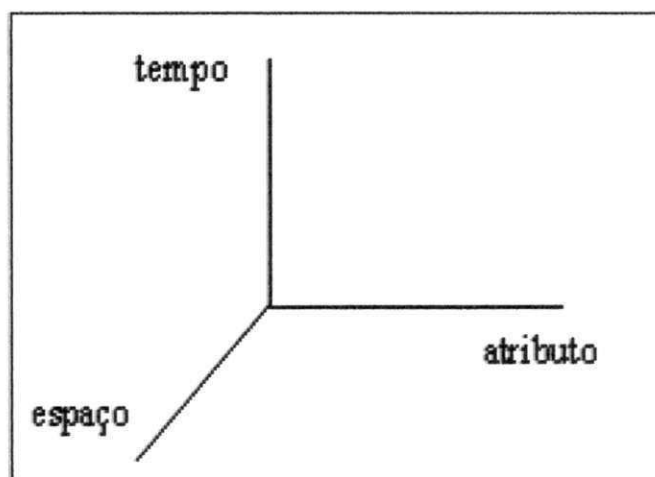
Um dado geográfico refere-se a uma medida observada de um fenômeno que ocorre sobre/sob a superfície terrestre, onde a localização da observação é um componente fundamental do dado.

O termo fenômeno geográfico compreende, de forma abrangente, qualquer ocorrência que pode ser: natural (ex.: um lago, um rio, uma formação geológica); antrópica (ex.: um canal para transposição, uma estação de tratamento de água, divisão territorial política); de fatos (ex.: uma enchente, uma epidemia, uma batalha); ou mesmo de objetos ainda inexistentes (ex.: o planejamento de uma adutora, o projeto de uma usina hidroelétrica).

Segundo Chrisman (1997), a informação geográfica possui três componentes básicos: atributo, espaço e tempo, como ilustrado na Figura 6, que possibilitam responder, respectivamente, a três perguntas: “o quê?”, “onde?” e “quando?”.

Segundo Worboys (1995), cada um desses componentes determina uma categoria de dimensão ao longo da qual os valores são medidos.

Figura 6 – Categorias de dimensões da informação geográfica



Fonte: Filho e Lochpe (2001)

O componente espacial descreve a localização geográfica e a forma geométrica do fenômeno descrito pela informação geográfica, além de relacionamentos com outros fenômenos geográficos. Como a principal função de um SIG é possibilitar a realização de operações de análise espacial, o componente espacial é o mais importante no contexto de SIG.

Um fenômeno geográfico possui características qualitativas e quantitativas que são descritas de forma textual e/ou numérica. O componente atributo, também conhecido por atributo descritivo ou atributo não espacial, descreve as características não espaciais de um fenômeno geográfico. Nome, população e orçamento anual de um município são exemplos de atributos descritivos.

Todo fenômeno geográfico é eminentemente temporal, ou seja, está associado a um instante ou intervalo de tempo em que este ocorre ou em que é observado (PEUQUET, 1995). O componente tempo pode ser crítico para a informação geográfica, dependendo do tipo de fenômeno e do tipo de aplicação em que este está sendo utilizado.

Em um banco de dados geográficos existem, além dos dados referentes aos fenômenos geográficos, outros objetos convencionais, presentes na maioria dos sistemas de informação. Por exemplo, uma fazenda é um fenômeno geográfico

quando suas informações espaciais (ex.: os limites da fazenda) estão armazenadas no banco de dados. Neste mesmo banco de dados é possível ter dados sobre os proprietários de fazendas, considerados objetos convencionais por não terem informações espaciais associadas. Em um esquema conceitual é importante que se possa diferenciar, facilmente, entre classes (ou entidades) descrevendo esses dois tipos de objetos.

Os Bancos de Dados Geográficos (BDG), também são chamados de Banco de Dados Espaciais (BDE). Sua estrutura de funcionamento é semelhante ao banco de dados convencional, com a grande diferença de suportar feições geométricas em suas tabelas.

Segundo Silberschatz, Korth e Sudarshan (1999), BDE são banco de dados espaciais utilizados para armazenar informações geográficas, como mapas. Por sua vez Câmara et al (2005), utiliza o termo sistemas gerenciadores de dados geográficos, como um mecanismo dentro de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) que serve para armazenar dados e também a geometria dos objetos espaciais.

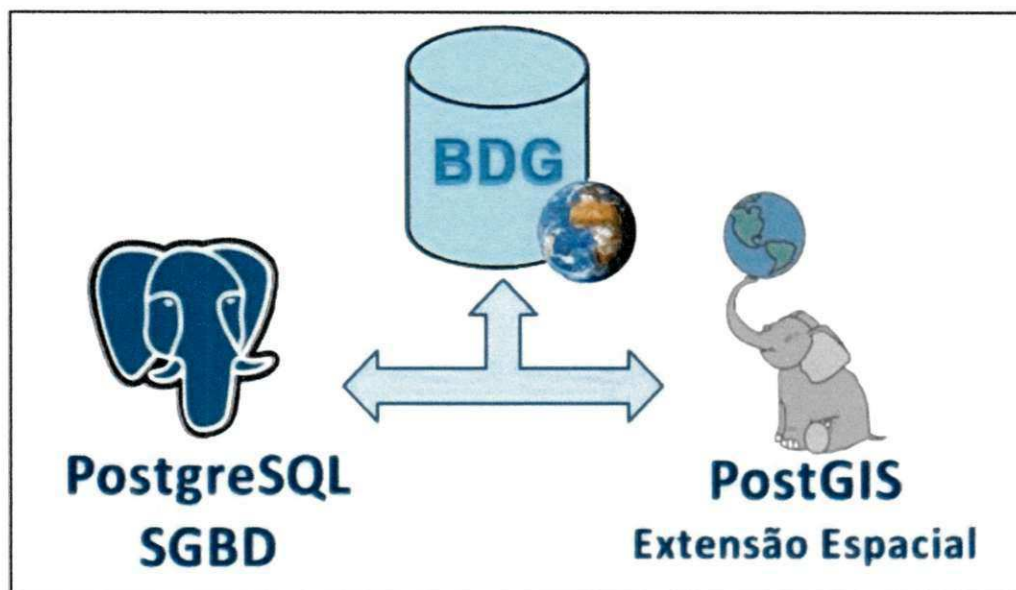
A partir da utilização de um BDG, é possível construir aplicações para manipulação de dados espaciais de forma mais coesa e ainda usufruir das vantagens que possui um SGBD. Dentre elas, cita-se a persistência dos dados, integridade, segurança e um aumento da eficiência, pois com o uso de um SGBD, as informações podem ser extraídas e alteradas de modo mais prático e eficaz. (SILBERSCHATZ et al., 1999).

Os SGBD convencionais não suportam a implementação de BDG de forma nativa. Por isso, diversas empresas desenvolvedoras desses programas criaram extensões espaciais que possibilitam trabalhar com esse tipo de informação espacial.

Um exemplo do uso dessas extensões é o *PostGis*, que é a extensão espacial do famoso SGBD de código aberto *PostgreSQL*.

A Figura 6 a seguir mostra a relação entre o BDG, o *PostgreSQL* (SGBD) e o *PostGIS* (sua extensão espacial).

Figura 6 – Integração entre *PostgreSQL* e o *PostGIS*



Fonte: Medeiros 2010

Ao construir um banco de dados geográficos será possível realizar consultas tais como:

- “Que cidades estão dentro dos limites da bacia hidrográfica?”
- “Que municípios são cortados pelo Rio Gramame?”
- “Existem povoados em áreas de risco de enchentes? Onde estão?”
- “Qual a distância entre um determinado posto pluviométrico e o talude da barragem?”
- “Qual o posto pluviométrico mais próximo do talude da barragem?”

Note-se que essas questões não podem ser respondidas através de um banco de dados convencional, pois estes não armazenam a componente espacial, nem relações de topologia, como adjacência e pertinência. Apenas um BDG permitiria que essas questões fossem respondidas com base na posição geográfica de cada elemento do banco.

A aplicabilidade de SIG's e SGBD's geográficos é vasta, podendo ser utilizados com grande propriedade na área rural, urbana e ambiental, pois podem auxiliar a tomada de decisões. Como exemplos de usabilidade pode-se citar, o registro e manutenção de dados ambientais, o controle de tráfego urbano de uma cidade e a criação de mapas interativos em páginas web.

Para visualização da realidade armazenada no banco, diversos softwares de SIG e servidores de mapas podem ser integrados aos SGBD com função espacial.

2.3.3 PostGIS

O PostGIS é um módulo que adiciona entidades geográficas ao PostgreSQL. Nativamente, o PostgreSQL já suporta geometrias espaciais, porém o PostGIS adiciona a capacidade de armazenamento/recuperação segundo a especificação SFS (*Simple Features Specification*) do consórcio internacional Open GeoSpatial (OGC). Além do armazenamento de dados geográficos, este módulo também implementa diversas funcionalidades topológicas, possibilitando o desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) Corporativos e garantindo a interoperabilidade com inúmeros sistemas.

O licenciamento do *PostGIS* é definido pela GNU GPL (*General Public License*), garantindo todas as liberdades de um software livre. Um fato importante a ser destacado pela licença GNU GPL é que, qualquer melhoria do código-fonte do *PostGIS* deve ser devolvida ao mantenedor (líder do desenvolvimento) do projeto. O *PostGIS* foi desenvolvido pela empresa canadense *Refractions*.

Power (2009), testou a implementação de um banco de dados espacial para dados sobre a água, a escolha da plataforma de banco de dados espaciais foi apontado como um dos pontos críticos e foi avaliado em termos de desempenho, funcionalidade e custo. Esta avaliação tem vários motivos, identificar problemas de desempenho com consultas típicas, comparar estruturas alternativas de esquema, o preço de referência, tempo de processamento, uso da memória, sistemas operacionais compatíveis, plataformas de banco de dados e as versões dos bancos de dados. No primeiro momento foi comparado apenas as plataformas *PostgreSQL/PostGIS* e *MySQL* com extensão espacial, a metodologia consistiu na realização de consultas espaciais simples e complexas nas duas plataformas, concluiu-se que o *MySQL* executa mais rapidamente consultas espaciais simples, porém o *PostgreSQL/PostGIS* executou mais rapidamente as consultas mais complexas além de possuir um número de funções espaciais bem maior, inclusive algumas funcionalidades de SIG.

2.5 DISPONIBILIZAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS NA INTERNET

O Compartilhamento dos dados dos SIG é hoje em dia, uma necessidade para várias instituições públicas e/ou privadas. Este compartilhamento é dificultado por questões relacionadas ao acesso, formato e semântica.

A partir da década de 90 a internet popularizou-se e tornou-se uma importante fonte de difusão e compartilhamento de informações e dados geográficos, especialmente pelas vantagens a seguir:

- a) baixo custo;
- b) rápida atualização das informações;
- c) facilidade de acesso por qualquer pessoa, em qualquer parte do mundo;
- d) possibilidade de maior interação entre o dado e/ou informação e o usuário final.

Quando se deseja disponibilizar informações ou dados geográficos na Web, uma característica importante a ser considerada é a interação com o usuário. O ideal é que o usuário tenha o máximo de interação com a informação, ou seja, que ele possa consultá-la, alterando, por exemplo, a escala e os planos de informação visualizados.

Uma informação geográfica pode ser disponibilizada de forma estática ou dinâmica. Na informação disponibilizada estaticamente, a interação com o usuário é nula ou mínima. Informações disponibilizadas dinamicamente possuem alta interatividade com o usuário.

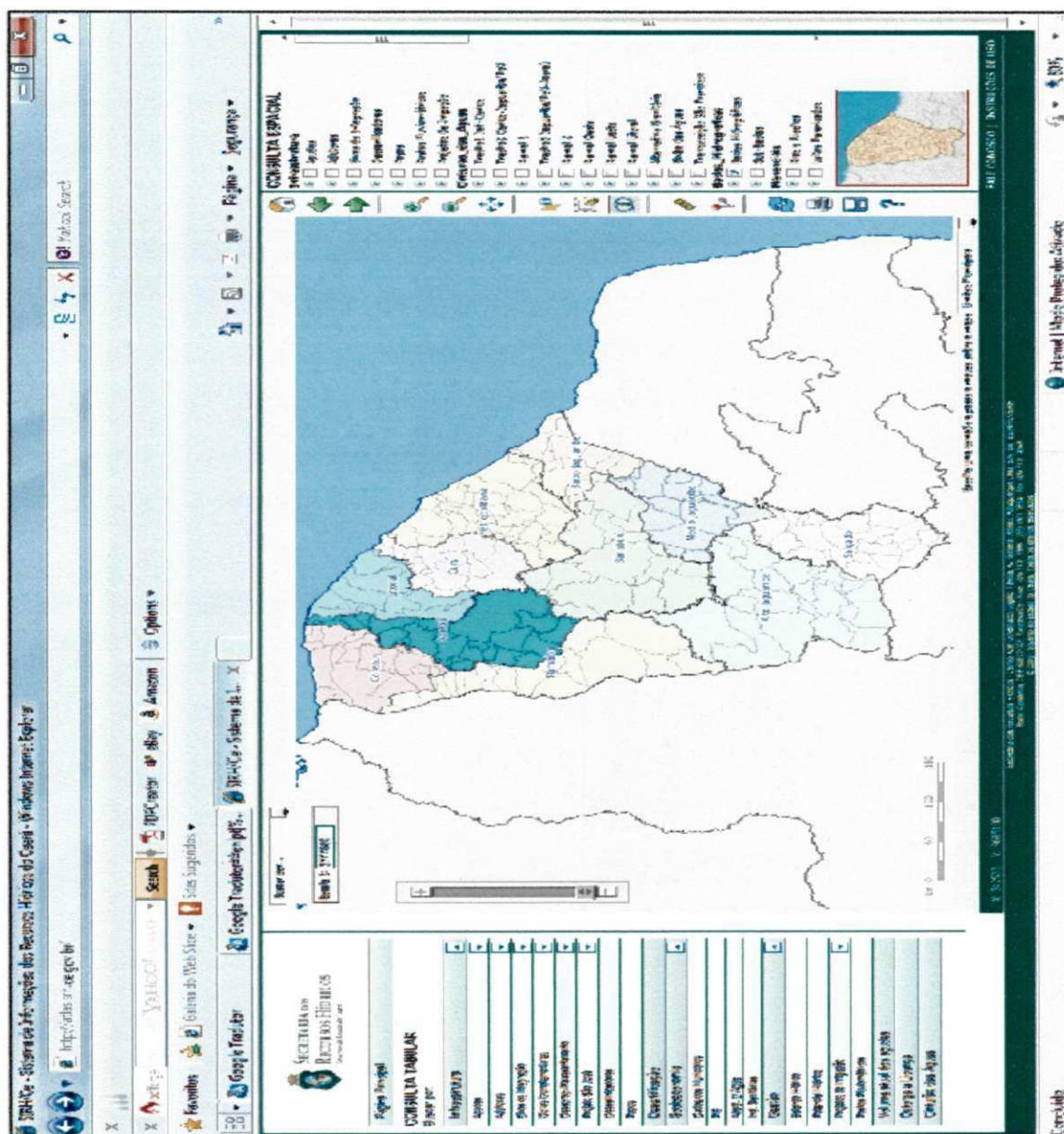
Neste sentido, o atlas desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRHC) é um exemplo de aplicação *webmapping* interativa voltada para os recursos hídricos, onde são disponibilizados diversos dados dentre os quais se destacam os dados referentes à:

- Infraestrutura como: açudes, adutoras, eixos de integração, dessalinizadores, poços, postos fluviométricos e projetos de irrigação;
- Bacias e sub-bacias hidrográficas, e aqueles provenientes de mananciais como: rios, riachos, leitos perenizados, lagos e lagoas;
- Divisão política estadual como; sedes municipais, limites municipais, localidades, regiões administrativas e microrregiões;

- Malha viária como: rodovias, ferrovias, e caminhos;
- Dados socioeconômicos como população, produto interno bruto e domicílios com esgotamento e abastecimento de água;
- Mapas temáticos de relevo, curva de nível, unidades fito ecológicas, solos, usos do solo, unidades geoambientais, áreas susceptíveis a desertificação e pluviometria media anual.

A Figura 7 abaixo mostra uma tela do atlas de recursos hídricos da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, que pode ser acessado pelo endereço: <http://atlas.srh.ce.gov.br/>.

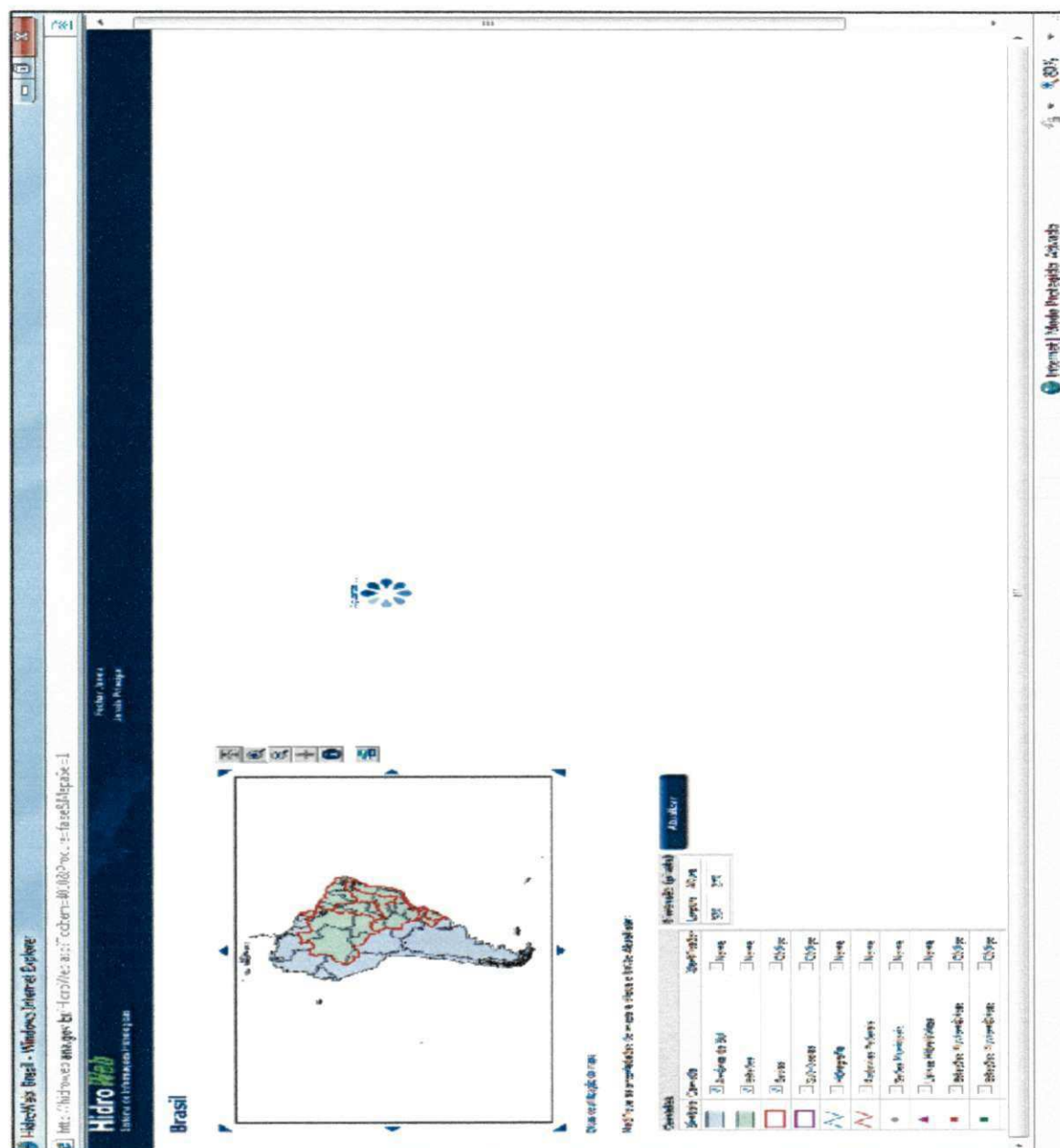
Figura 7 – Tela do atlas dos recursos hídricos do Estado do Ceará



Fonte: SRH.

Outro exemplo de *webmapping* voltado para a área de recursos hídricos é o desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA), que disponibiliza informações referentes à divisão política nacional, as bacias e sub-bacias de domínio da união, a hidrografia, as rodovias federais, as sedes municipais, as usinas hidrelétricas, as estações pluviométricas, as estações fluviométricas e estações de medição de qualidade de água. A Figura 8 mostra uma tela do SIGWEB da ANA hospedada no endereço: <http://hidroweb.ana.gov.br>.

Figura 8 – Tela do SIGweb da ANA.



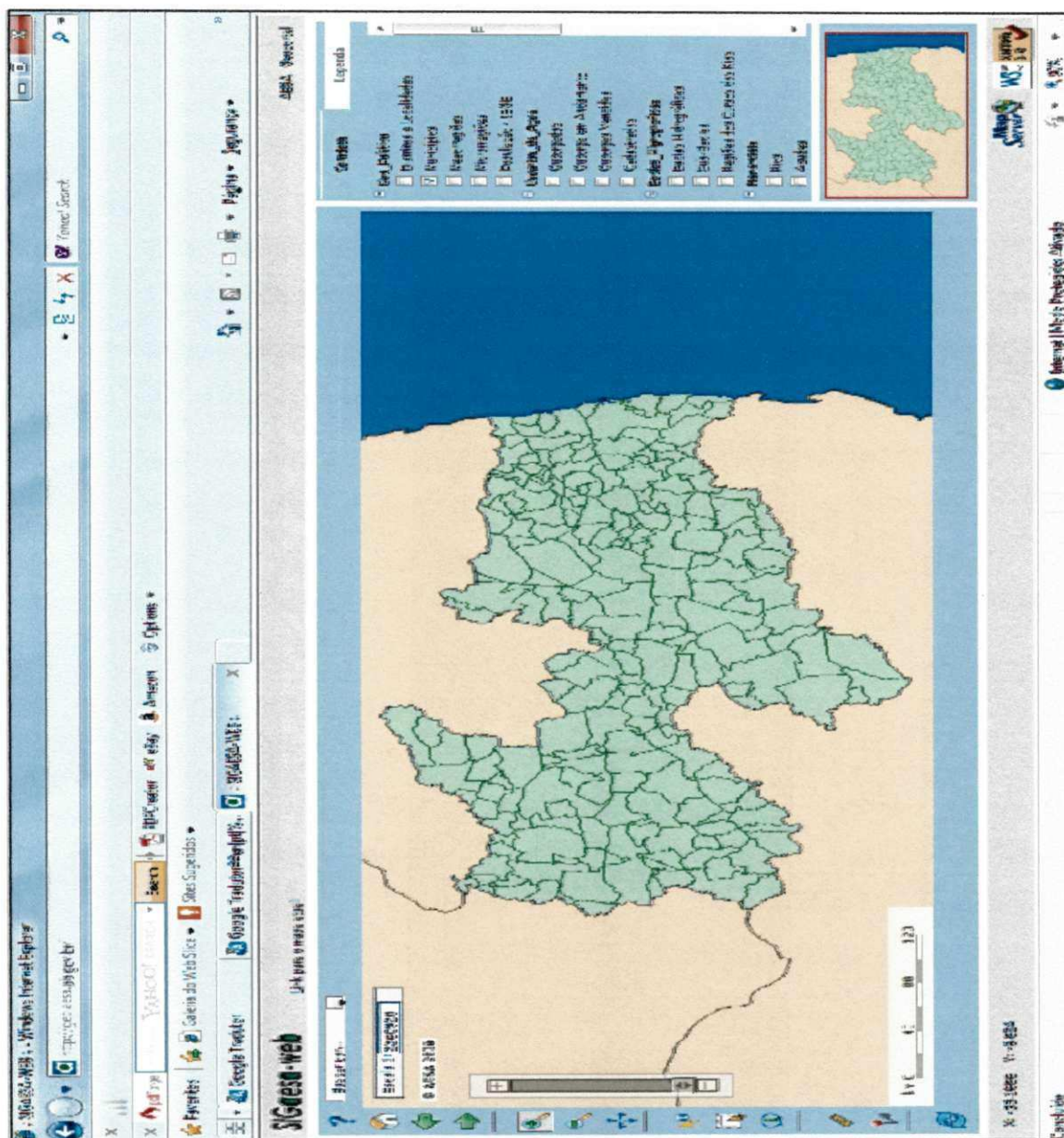
Fonte: ANA.

No estado Paraíba, um exemplo de *SigWeb* desenvolvido para a área de recursos hídricos é o *webmapping* da Agência executiva de Gestão da Água (AES/A), disponível no site <http://geo.aesa.pb.gov.br/>. Assim, como as aplicações citadas anteriormente, ele foi desenvolvido utilizando a tecnologia *Mapserver*, e disponibiliza os seguintes dados:

- Geopolíticos como: distritos, localidades, municípios, microrregiões, mesorregiões e a contagem populacional;
- Usuários de água como; usuários outorgados, outorgas em andamento, outorgas vencidas e usuários cadastrados;
- Domínio estadual como: os limites das bacias e sub-bacias, região dos cursos dos rios, açudes, rios e sistemas aquíferos:
- Pluviometria;
- Transporte (rodovias e ferrovias);
- Imagens de satélite;
- Irrigação;
- Geologia, morfologia e solos.

A Figura 9 mostra a tela inicial da aplicação da AESA.

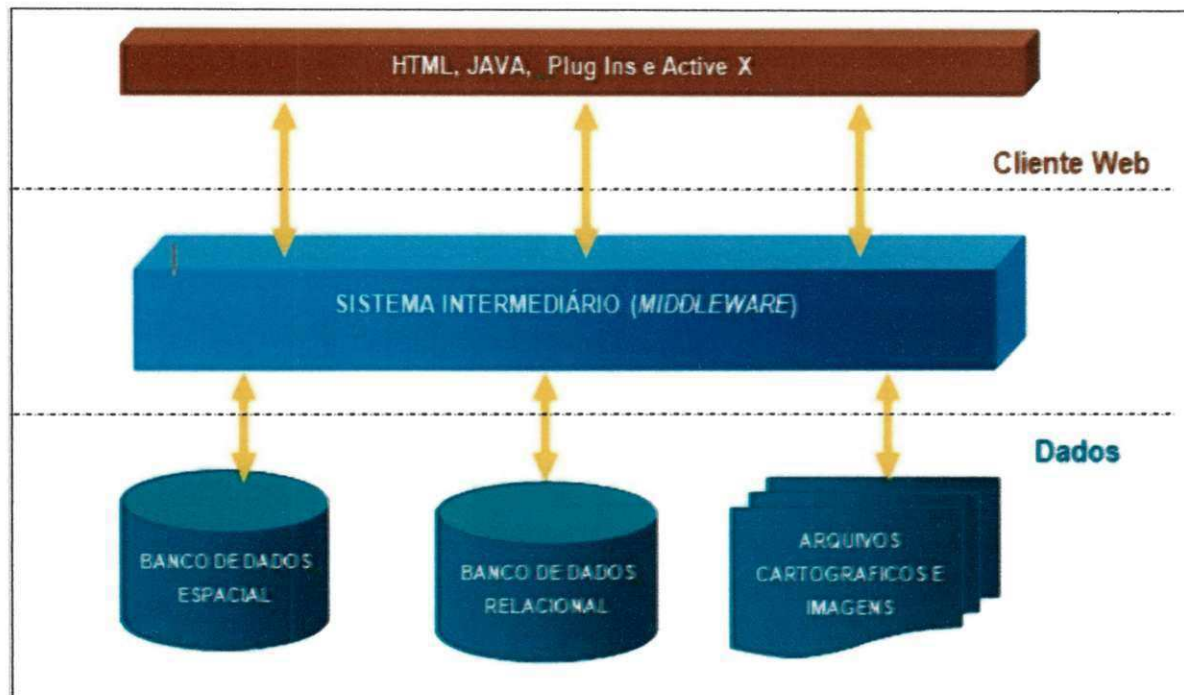
Figura 9 – Tela inicial da aplicação da AESA



Fonte: AESA

Na Figura 10 vemos uma das arquiteturas utilizadas para o acesso a dados geográficos através da Internet. Esta arquitetura é composta de três camadas. O cliente fica na camada mais externa. Ele tem acesso aos dados através do uso de *browsers* como o *Internet Explorer*. Estas páginas podem conter simplesmente código HTML ou ser mais rebuscada para embarcar *Applets* (programas Java) ou *Plug-ins*. Quanto mais sofisticada for a tecnologia utilizada no cliente maior é o seu poder de processamento local. Exemplos de publicadores de mapas são o *Arclms®*, *Mapguide®* e o *MapServer*.

Figura 10 – Consulta a dados geográficos na internet



Fonte: Melo Jr (2002)

2.5.1 Sistemas para Publicar mapas na Internet

Existem três categorias de sistemas para publicar mapas na *Web*: *applet*, *servlete* e o aplicativo *Common Gateway Interface* (CGI).

A aplicação *applet* é escrita na linguagem *Java* e pode ser executada no computador local ou a partir de um computador remoto, geralmente disponibilizado através de um servidor. Se o *applet* a ser executado está no próprio computador, o navegador nem precisa estar conectado à internet para executá-lo.

Os *applets* são eficientes para desenhar gráficos e implementar interfaces gráficas. *Servlet* outra aplicação *Java*, sendo uma extensão genérica do servidor, sendo implementada como uma classe *Java* que pode ser carregada dinamicamente para expandir a funcionalidade do servidor (HUNTER; CRAWFORD, 1998 apud MIRANDA, 2003).

Dentro do servidor, o *servlet* é executado em uma máquina virtual *Java* (*Java Virtual Machine* – *JVM*). Ele apresenta vantagens como portabilidade e a possibilidade de ser executado em qualquer sistema operacional.

O Alov map é um publicador de mapas gratuito, desenvolvido através da linguagem Java que pode ser implementado na forma de applet ou servlet. Na versão servlet os dados ficam armazenados em um SGBD e são enviados ao cliente de forma incremental, através do botão de “ligar/desligar camada”, já na versão applet, todos os dados são enviados ao cliente no momento em que a página é carregada no browser.

O Alov implementa zooming, panning e overlay, porém, tem pesquisa limitada apenas a dados não espaciais. Desta forma podemos consultar o nome de uma cidade no mapa, mas não podemos saber quais hospitais estão mais próximos de um ponto, ou seja, não há consultas espaciais Miranda et al. (2002).

A terceira aplicação, CGI, a qual foi utilizada no presente estudo, é uma aplicação Web onde um usuário faz uma solicitação ao navegador, que a repassa ao servidor, o servidor identifica a requisição como pertencendo a um CGI e a repassa novamente a um programa externo — o aplicativo CGI — que de alguma maneira implementa uma funcionalidade de resposta, que é então enviada de volta ao cliente, via servidor.

As primeiras páginas construídas para a Internet eram escritas em *HyperText Markup Language* (HTML), criando conteúdo estático. A geração de páginas com conteúdo dinâmico só foi possível com o surgimento de novas técnicas, como o uso da interface comum de comunicação — *Common Gateway Interface* (CGI). O advento do CGI permitiu a implementação de uma grande variedade de funcionalidades nas páginas Web (HUNTER; CRAWFORD, 1998 apud MIRANDA, 2003).

Todos os servidores permitem implementação de CGI. Segundo Miranda (2003), CGI significa “um padrão para comunicar aplicações externas (cliente) com um servidor de informação, tal como HTTP ou servidor Web”.

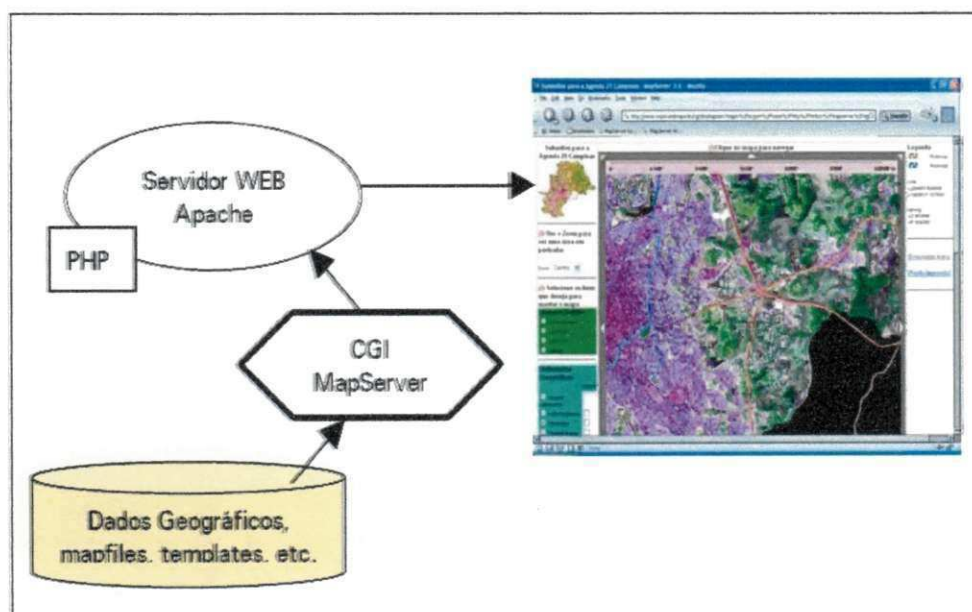
Sendo assim, uma aplicação Web escrita em CGI permite ao usuário a possibilidade de ter uma página Web dinâmica, acarretando numa maior interatividade entre ele e o conteúdo da página. De todo modo, a resposta que um CGI envia ao cliente tem que estar no padrão que ele entenda o HTML.

2.5.1.1 Servidor de Mapas Tipo Aplicativo CGI: *Mapserver*

O sistema *MAPSERVER* foi desenvolvido utilizando-se, também, de outros projetos de *softwares* livre/abertos pela Universidade de *Minesota* sob patrocínio da *NASA* a partir de 1996 no âmbito do projeto de pesquisa conhecido como *FORNET*. Sua plataforma de operação compreende aos sistemas *UNIX-LIKE* (*LINUX*, *FREEBSD*, etc.), além de ser suportado também em ambientes *WINDOWS*.

Ele possui uma interface CGI, também chamada de “motor *webmapping*” (Figura 11), com inúmeras funcionalidades para o desenvolvimento de aplicações de *webmapping* básicas, que permitem ao usuário interagir com os dados e o servidor de mapas, intermediando entre o servidor *Web* e os dados geoespaciais.

Figura 11 – Integração do servidor *Web* e *MapServer*



Fonte: Embrapa (2004)

Dentre essas funcionalidades, podem ser citadas: o suporte aos principais formatos *OPENGIS* (*Shapefiles*, *PostGIS*, *wms*, etc); o suporte a formatos matriciais de 8 bits (*tiff*, *geotiff*, *Erdas*, *jpeg*, entre outros); a indexação espacial *quadtree* para *shapefiles*; a customização por meio de arquivos *HTML* e *XML* (*Extensible Markup Language*); a seleção de características por item/valor, ponto, área ou outras características; o suporte a fontes *TrueType*; a geração de legendas e barra de escala automática; a visualização seletiva de camadas com definição de níveis de

transparências; a geração de mapas temáticos usando expressões lógicas baseadas em classes; a rotulação de características com medição de colisões; e o gerenciamento dinâmico de projeções cartográficas (PARMA, 2007).

Além disso, para aumentar o nível de customização, o *MapServer* fornece um completo API (*Application Programming Interface*) para programação através de linguagens como PYTHON, PERL, PHP, JAVA e C, o qual é a sua linguagem de programação nativa. Toda documentação pode se obter no site oficial do programa ou nas comunidades de usuários.

É conveniente lembrar que o *MapServer* não é um SIG, no conceito pleno de todas as facilidades que um SIG oferece, o que ele faz é prover condições suficientes de suporte para uma grande variedade de aplicações espaciais na Web.

O *Mapserver* disponibiliza um pacote chamado MS4W criado pela empresa *Maptools* para permitir aos usuários a instalação de um servidor *Web* para rodar aplicativos que utilizem o *MapServer* como *software* de geração de mapas.

Os principais componentes do pacote ms4w são:

- a) servidor *Apache* (HTTP);
- b) *MapServer* CGI;
- c) Linguagem de programação *PHP*;
- d) A biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) para tradução de formatos de dados geográficos.

A vantagem de utilizar o ms4w é que já vem tudo pré-configurado, isto é, todas as dependências do *MapServer* já vêm instaladas.

O aumento da quantidade de aplicações *webmapping* desenvolvida nos últimos anos e a sofisticação destas aplicações motivaram a criação de vários frameworks para esta área, facilitando assim o desenvolvimento de aplicativos *webmapping*.

2.5.1.2 Frameworks

Segundo Fayad e Schmidt (1997), *frameworks* representam uma estrutura formada por blocos pré-fabricados de *software* que os programadores podem usar, estender ou adaptar para uma solução específica e linguagens de padrões (Appleton, 1997) são formadas por um conjunto de padrões de *software* para resolver um problema complexo em um determinado domínio.

De acordo com Zemel (2009) algumas das vantagens em se usar frameworks são:

- **Utilidade:** O objetivo primeiro dos frameworks é auxiliar no desenvolvimento de aplicações e softwares. Para tal, eles têm funcionalidades nativas das mais variadas, que ajudam você a resolver as questões sobre programação do dia-a-dia com muito mais qualidade e eficiência.
- **Segurança:** Os bons frameworks são projetados de modo a garantir a segurança de quem programa e, principalmente, de quem usa o que foi feito a partir dele. Não se preocupe mais com aquelas intermináveis linhas de código para evitar um SQL Injection, por exemplo; com frameworks, a parte de segurança já configurada.
- **Extensibilidade:** Os frameworks permitem que você estenda suas funcionalidades nativas.
- **Economia de tempo:** O que você demoraria algumas horas ou alguns dias para fazer, você encontra pronto em um framework.
- **Ajuda fácil:** Os que desenvolvem frameworks geralmente disponibilizam material de qualidade nos web sites ou repositórios oficiais, com uma vasta documentação a respeito. Além disso, os bons frameworks sempre têm uma comunidade de desenvolvedores dispostos a se ajudarem entre si.

Neste contexto os frameworks surgem como facilitadores também no desenvolvimento de aplicações Webmapping, pois geralmente estes vem com muitas ferramentas comum aos SIG's como, por exemplo; o medidor de distancia, zoon in, zoon out, etc. Entre os frameworks desenvolvidos para auxiliarem no desenvolvimento de aplicações SIGWeb podemos citar o p.mapper, o IGIS, o fusion2, entre outros.

O p.mapper é um framework desenvolvido em PHP/Mapscript com utilização de recursos em ajax ou seja altamente dinâmico, juntamente com o motor MapServer , considerados por muitos o motor WebGIS em software livre mais estável atualmente. Com o *p.mapper* é possível a publicação de mapas com uma rica interface sendo altamente customizável, ou seja, permite a adequação das

funcionalidades do WebGIS para as necessidades do usuário. O p.mapper utiliza a Licença GNU *General Public License*- GPL e todas as outras ferramentas utilizadas como *MapServer*, *PHP/Mapscript* e *JQuery* utilizam licenças específicas de cada um, porém todas com a mesma essência GPL (COUTO 2009).

O IGIS é um framework distribuído em três camadas: apresentação, com páginas JSP que geram HTML e SVG; aplicação, composta de classes em Java que implementam o modelo de dados ao nível de aplicação e controlam a lógica do sistema (nesta camada se encontra a maior extensibilidade do framework); dados, que consiste de um banco de dados objeto-relacional com extensões espaciais Miranda et al. (2002).

De acordo com o autor em comentário o IGIS usa padrões OpenGIS e GML que possibilita interoperabilidade de SIG e faz uso da linguagem Scalable Vector Graphics (SVG). Podemos citar outras soluções como: ESRI ArcIMS, Oracle MapViewer, que são soluções proprietárias que requerem um alto investimento.

O *framework* utilizado para o desenvolvimento do *webmapping* do sistema ORNAP foi o Fusion2 que será mais bem descrito na etapa metodológica do presente trabalho.

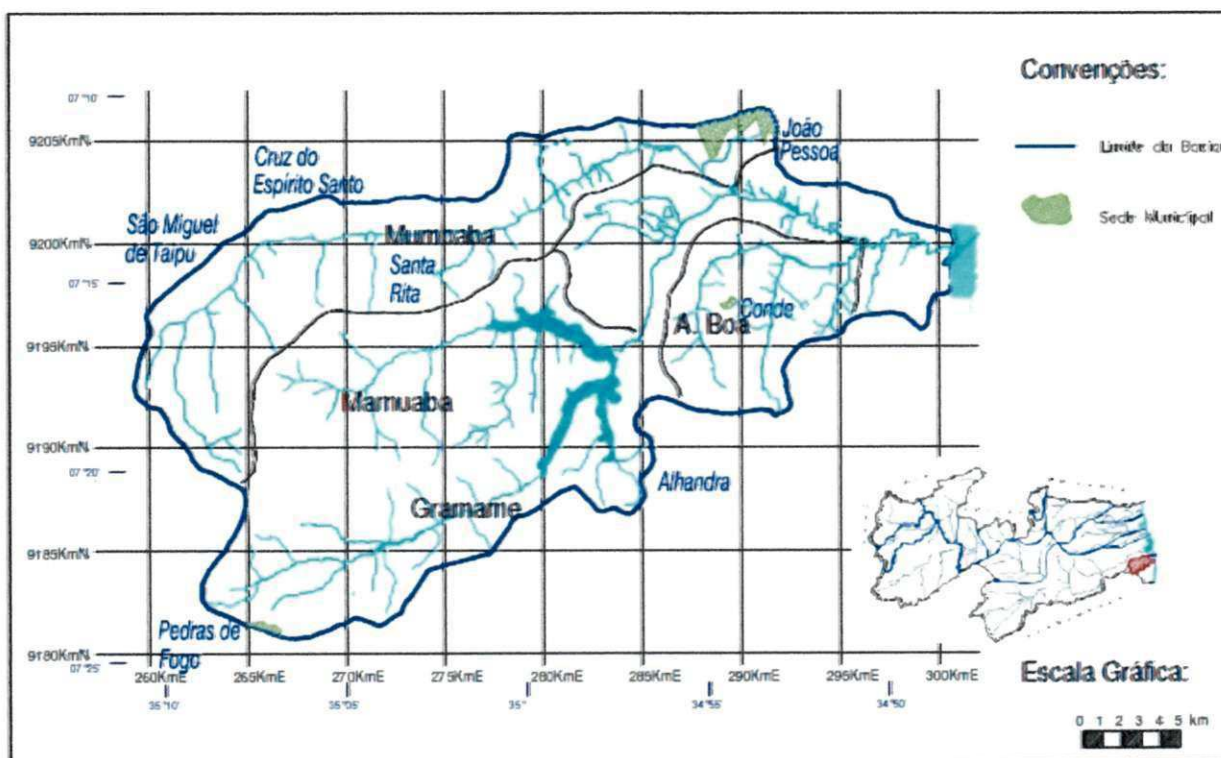
CAPITULO 3

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Gramame está localizada no litoral Sul do estado da Paraíba na região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e longitudes 34°48' e 35°10' Oeste. Limita-se ao Norte com a bacia do rio Paraíba, ao Sul com o estado de Pernambuco e a bacia do rio Abiaí-Papocas, a Leste com o oceano Atlântico e a Oeste com a bacia do rio Paraíba (Figura 12). Sua área de drenagem é de aproximadamente 589,1 km², e o comprimento da linha divisória de água que a delimita é de 123,3 km. É formada pelas sub-bacias; Mumbaba, Mamuaba, Água Boa e as sub-bacias dos rios Gramame e Mamuaba, contribuintes do açude Gramame-Mamuaba, principal reservatório da bacia com capacidade máxima de acumulação de 56,9 hm³.

Figura 12- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.



Fonte: SCIENTEC (2000)

No ano 2000 era atendida por esta Bacia uma população urbana de 794.887 (setecentos e noventa e quatro mil, oitocentos e oitenta e sete) habitantes e na zona rural 21.304 (vinte e um mil, trezentos e quatro) (SCIENTEC, 2000). A bacia abrange os municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo, cujos percentuais de participação na área da bacia estão indicados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1- Participação em áreas dos municípios na bacia hidrográfica

TMunicípio	Área do Município (km ²)	Área da Bacia (Km ²)	Participação (%)
Alhandra	224,42	99,72	16,93
Conde	164,1	76,47	12,98
Cruz do Espírito Santo	189,32	3,5	0,59
João Pessoa	209,94	59,07	10,03
Santa Rita	762,33	155,59	26,41
São Miguel de Taipu	63,60	2,20	0,37
Pedras de Fogo	348,02	192,56	32,69

Fonte: SCIENTEC (2000)

3.2 HIDROGRAFIA

O Gramame, principal rio, nasce na região do Oratório (município de Pedras de Fogo) a uma altitude de aproximadamente 150 metros (Figura 13) e percorre 54,3 km até chegar a sua foz na praia de Barra de Gramame (limitada pelos municípios de João Pessoa e Conde), sendo subdividido em alto, médio e baixo curso, com declividades médias de 11,6m/km, 2,4m/km e 0,9m/km, respectivamente (SCIENTEC, 2000). O rio Gramame apresenta regime fluvial perene e os seus principais afluentes são: Rio Utinga, rio Pau Brasil, riacho Pitanga, riacho Ibura, riacho Piabuçu, rio Água Boa, localizados na margem direita; riacho Santa Cruz, riacho da Quizada, riacho do Bezerra, riacho do Angelim, riacho Botamonte, rio Mamuaba, rio Camaço, rio Mumbaba, situados na margem esquerda.

3.3 CLIMATOLOGIA

Do ponto de vista climático, a região litorânea, na qual a bacia do rio Gramame está inserida, classifica-se como tropical úmida. A região apresenta evaporação média anual de 1300 mm, enquanto a precipitação média anual é de 1740 mm.

A proximidade do Estado à Linha do Equador, com alta radiação solar e elevado número de horas de insolação, determina um clima quente com temperatura média anual de 26°C e poucas variações intra-anual. Segundo a classificação climática de *Koepen*, adaptada para a região por Varejão e Silva (1987), a região litorânea, na qual se encontra a bacia do rio Gramame, está sujeita a dois tipos climáticos, quais sejam:

- Aw'i, que indica um clima tropical chuvoso, com estação seca na primavera e variação de temperatura mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível; e,
- BSw'h', indica um clima seco tipo estepe com estação seca na primavera e temperatura média mensal superior a 18°C. Pequena parte da área ocidental da bacia encontra-se classificada com esse tipo climático.

Os valores da evapotranspiração potencial média calculada pelo método de *Hargreaves* (Tabela 2) sobre a bacia hidrográfica, obtidos em SUDENE (1984) demonstram a ocorrência de baixa variabilidade espacial na mesma.

Tabela 2 – Evapotranspiração potencial média diária segundo G.H. Hargreaves (mm).

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez
Athandra	5,0	4,9	4,6	4	3,3	2,9	2,9	3,3	4	4,6	4,9	4,9
João Pessoa	4,9	4,8	4,5	3,9	3,1	2,8	2,9	3,4	4,1	4,7	4,9	4,9
Sapé	5,1	5	4,7	4	3,4	2,9	2,9	3,4	4,1	4,6	5,0	5,1
També	5,1	4,9	4,4	3,9	3,2	2,9	3,1	3,5	4,2	4,8	5,0	5,0

Fonte: SUDENE (1984)

3.5 PEDOLOGIA

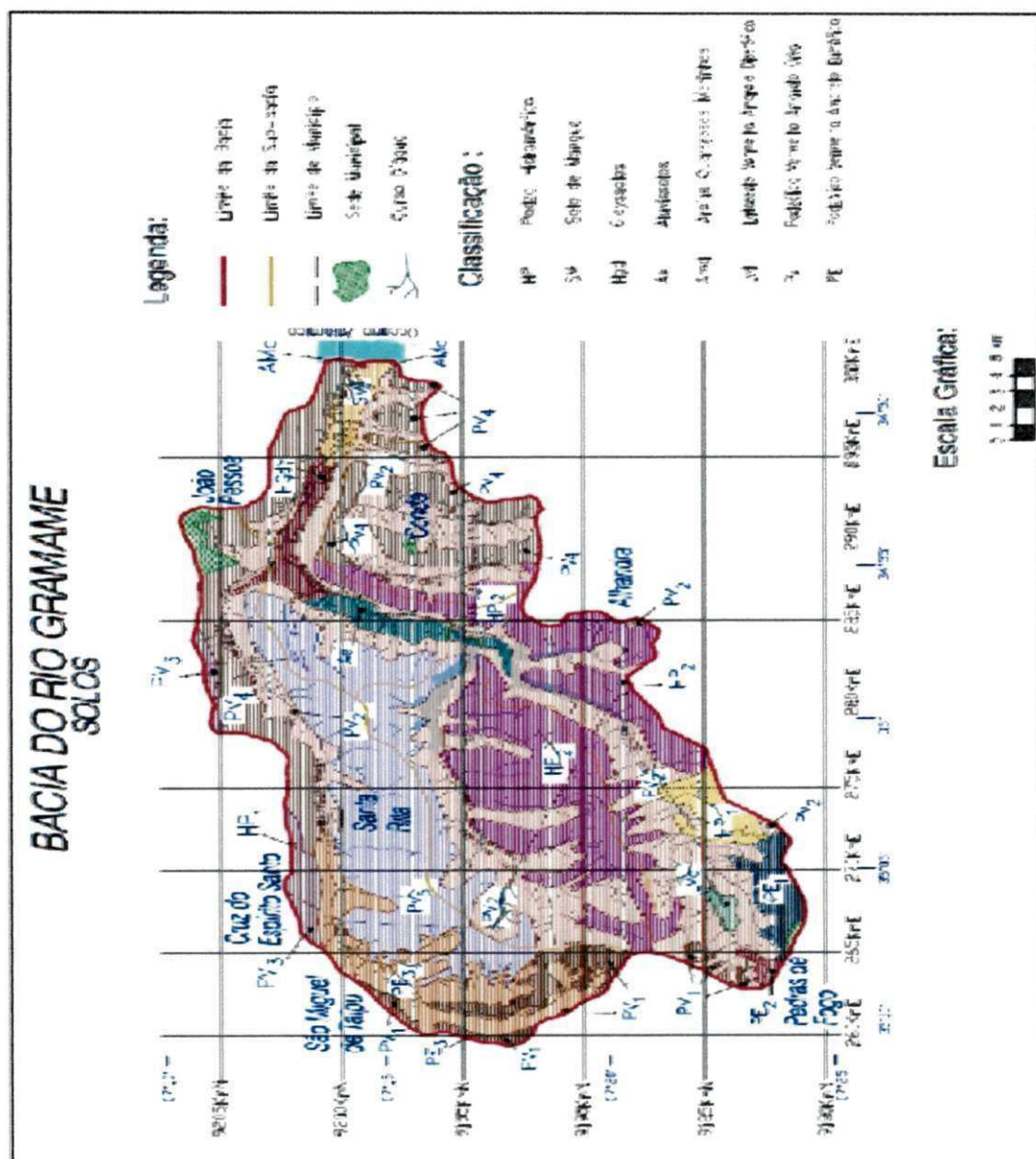
A distribuição espacial dos solos na bacia do rio Gramame (Figura 15) ocorre da seguinte maneira (SCIENTEC, 2000):

i) no alto curso dos rios Gramame e Mamuaba, encontram-se dois tipos: os latossolos Vermelhos Amarelo Distrófico, que são muito profundos, porosos e fortemente drenados e os solos Podzólicos Vermelho Amarelo Orto (PV1 e Pv2) que apresentam perfis profundos e bem diferenciados e tem baixa fertilidade natural além de serem bem drenados.

ii) no curso médio dominam os Podzóis Hidromórficos (HP) que são solos muito arenosos, bem diferenciados, profundos, ácidos, com saturação de bases muito baixa e alta saturação com alumínio, desenvolvem-se sobre sedimentos arenosos do Grupo Barreiras, referidos ao Terciário e sobre sedimentos arenosos quartzosos marinhos da Baixada Litorânea, referidas Haloceno.

iii) no baixo curso predominam os Podzólicos sendo que, nas zonas de acumulação ocorrem os Aluissolos (Al) são solos de fertilidade natural alta, pouco profundos ou profundos, moderadamente ácidos e/ou moderadamente alcalinos nas camadas inferiores, sem problemas de erosão, apresentam Areias Quartzozas e solos de Mangue.

Figura 15- Classificação dos solos da Bacia Hidrográfica do rio Gramame.



Fonte: SCIENTEC (2000).

3.6 RELEVO E VEGETAÇÃO

A instalação de indústrias, loteamento, atividade agrícola, implantação de açudes e estrutura viária, resultou na devastação da vegetação nativa. Em 1998 o antropismo equivalia a 87,1% da área da bacia hidrográfica restando apenas 12,9% de vegetação nativa, conforme mostrado na Tabela 3 (SCIENTEC, 2000).

Tabela 3 – Ocupação e uso do solo em 1998.

Tipo de Ocupação	Área (há)	Percentual
Mata Atlântica	3.820	6,5
Cerrado	1.137	1,9
Vegetação de Várzea	2.074	3,5
Vegetação de Mangue	613	1,0
Antropismo	51.266	87,1
Soma	58.910	100,0

Fonte: Scientec (2000).

De acordo com a classificação de relevo de Dubreuil (1974) apud Nouvelot e Ferreira (1977), para a Região Nordeste do Brasil, tem-se que a bacia do rio Gramame apresenta relevo predominantemente ondulado, com as sub-bacias variando de suave a ondulado. Na Tabela 4 estão mostrados os principais parâmetros fisiográficos da bacia e de suas sub-bacias.

Tabela 4 – Principais parâmetros fisiográficos da bacia do Rio Gramame e suas sub-bacias.

Sub-Bacia	A	P	Lp	Kc	L	I	F	Dd	Rc	Ri	Ordem	ESM	H(95%)	H(5%)	Ig	Ds
Gramame	589,10	123,30	54,30	1,43	50,30	11,71	0,20	1,23	4,87	2,54	5	0,41	15,00	162,00	3,01	73,05
Mumbaba	177,20	87,20	42,50	1,85	39,49	5,95	0,14	0,93	4,99	3,58	4	0,54	27,40	152,60	3,26	44,66
Mamuaba	128,00	54,70	25,00	1,36	21,52	5,95	0,07	1,43	5,02	3,09	4	0,35	42,50	170,00	75,00	65,15
Água Boa	65,40	33,50	16,80	1,17	10,89	6,01	0,23	1,28	2,82	4,62	4	0,39	14,50	115,00	9,53	76,92

Fonte: Scientec (2000).

Legenda:

A = Área da bacia (Km)

P = Perímetro da bacia (Km)

Lp = Comprimento do rio principal (Km)

Kc = Índice de compacidade

L = Lado maior do Retângulo Equivalente (Km)

I = Lado menor do Retângulo Equivalente (Km)

F = Fator de Forma

Dd = Densidade de Drenagem (Km/Km²)

Rc = Coeficiente de Confluência

Ri = Coeficiente de Comprimento

Ordem = Ordem do curso d'água principal

ESM = Extensão Superficial Média (Km)

H (95%) = Cota correspondente a 95% da área

H (5%) = Cota correspondente a 5% da área

Ig = Índice de declividade global

Ds = Desnível específico (m).

CAPITULO 4

4 METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho visa a associar várias tecnologias, com o intuito de facilitar a tomada de decisão no processo de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

A abordagem metodológica proposta envolve as seguintes etapas:

1. Desenvolvimento do Banco de Dados;
 - Desenvolvimento do banco de dados alfanumérico do sistema ORNAP.
 - Desenvolvimento da base de dados espaciais para o sistema ORNAP.

2. Integração entre dados do alfanuméricos e espaciais do sistema ORNAP;
 - Realização de Consultas em linguagens SQL, para integração dos dados.

3. Desenvolvimento da aplicação *Webmapping*.
 - Desenvolvimento do Arquivo *Mapfile*;
 - Desenvolvimento do Arquivo *Template*.
 - *Framework* utilizado.

A seguir tem-se a descrição dessas etapas.

Como exposto na Figura 3, o sistema ORNAP é composto por vários módulos de desenvolvimento, onde a idéia central deste trabalho foca a implementação do modulo de desenvolvimento referente à criação de um banco de dados com suporte espacial, para posterior integração entre estes dados e os demais dados do ORNAP, visando assim possibilitar o desenvolvimento de um *Webmapping* que irá promover a visualização de forma espacializada das informações do ORNAP (dados de entrada e resultados).

A integração entre o ORNAP e o *Webmapping* ocorrerá no interior do SGBD mediante a junção dos dados do ORNAP (dados de entrada e resultados) com os dados do *Webmapping*, junção esta que permitira a visualização dos dados do ORNAP no *Webmapping*, para tal se fez uso da linguagem de manipulação de dados SQL e para que as consultas realizadas em linguagem SQL obtenham sucesso se faz necessário que os identificadores únicos (chaves primárias) das tabelas (espaciais e alfanuméricas) sejam os mesmos em ambas.

Entendeu-se que esta metodologia de conexão entre o *Webmapping* e o ORNAP, através do SGBD, como sendo a mais acertada, haja vista a facilidade de implementação que se dá pelo fato da interface do ORNAP em si não necessitar ler as colunas espaciais, que são colunas que no caso deste trabalho tiveram um grau de complexibilidade de aquisição e manutenção de dados maior que os dados alfanuméricos, isto implica também em uma maior segurança dos dados espaciais, pois facilita as restrições de acesso as tabelas espaciais, uma vez que a grande maioria dos usuários terão apenas acesso as tabelas alfanuméricas.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS

4.1.1 Informações alfanuméricas

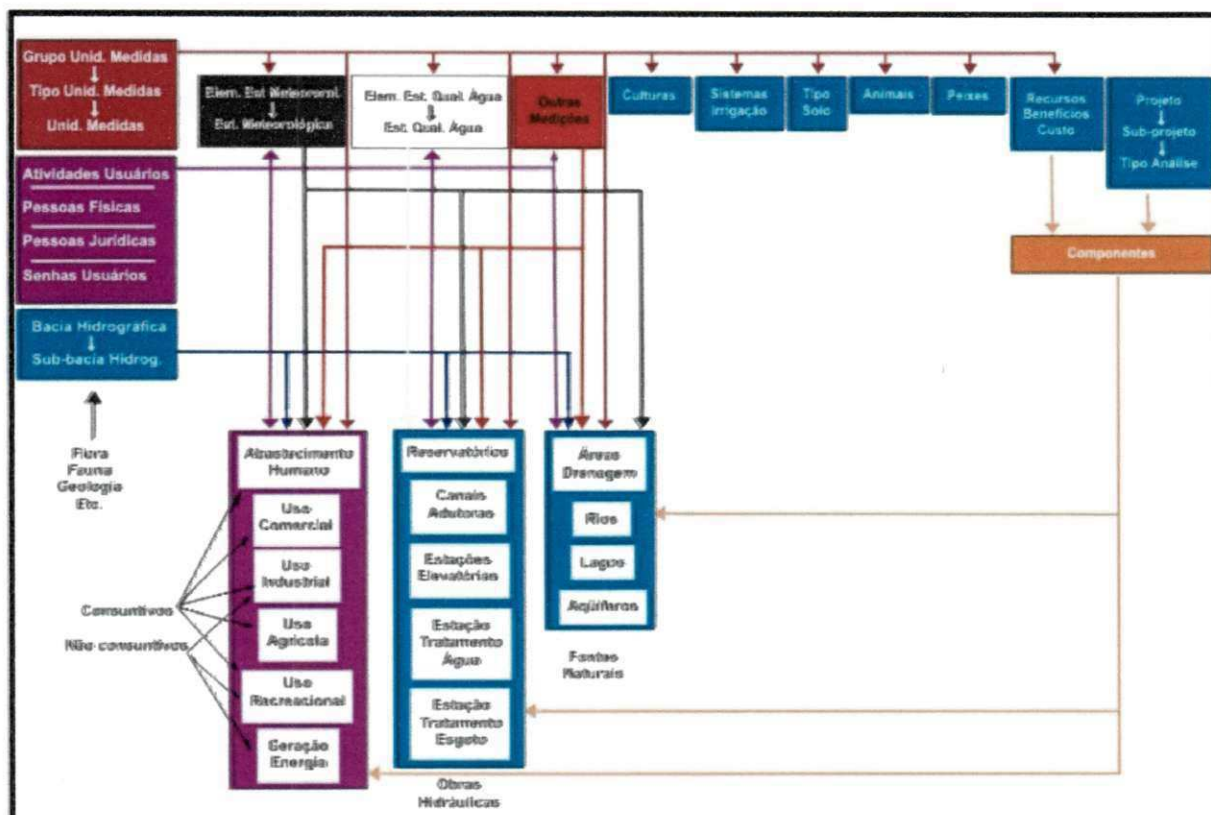
Conforme exposto em Mota *et al* (2011b), a especificação da base de dados do ORNAP está em fase final de desenvolvimento e é composta de uma série de tabelas interligadas que são armazenadas no SGBD *PostgreSQL*. Esta base contém principalmente as seguintes tabelas: cadastro de municípios e logradouros; cadastro de usuários (pessoa física ou jurídica); cadastro de estações de medição; cadastro de bacias hidrográficas; cadastro de rios; sistemas de irrigação; tipos de solos;

cadastro de estruturas hidráulicas (reservatórios, lagoas, aquíferos, adutoras, etc.); entre outras.

Essas tabelas do ORNAP que estão armazenadas no SGBD *PostgreSQL* estão interligadas através de chaves primárias e chaves estrangeiras, onde estas chaves primárias serão compatibilizadas com as chaves primárias das tabelas com informações espaciais que também estarão armazenadas no SGBD *PostgreSQL/PostGIS*, possibilitando assim que a união entre estes dados possa ocorrer de forma acertada.

De acordo com Mota *et al* (2011b) a base de dados especificada possui caráter flexível, ou seja, a criação, eliminação e modificação dos dados pode ser feita por intermédio de usuários especializados e devidamente autorizados através do sistema ORNAP de forma *online*, sem necessariamente o uso de programas de banco de dados para este fim. Portanto, este sistema (SSD) usa o que há de mais inovador no que diz respeito ao conceito de bancos de dados ativos, facilitando as possíveis modificações e manutenções da base de dados, que poderá ser feito localmente através de um *desktop* ou através do acesso remoto pela *Internet*. A Figura 16 apresenta o título de algumas tabelas e suas relações, conforme vem sendo trabalhadas (pesquisadas e desenvolvidas) por pesquisadores do grupo de pesquisa do CNPq GOTA.

Figura 16 – Possível estrutura organizacional de um BD para o SSD ORNAP.



Fonte: CURI & CURI. 2008.

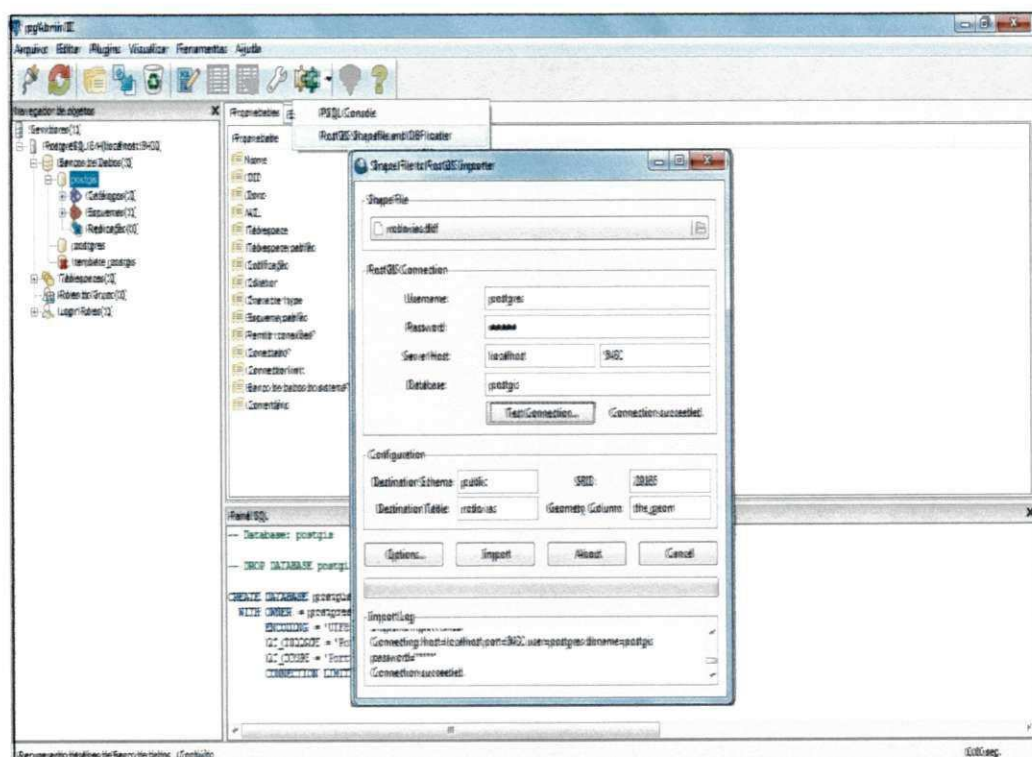
Como exposto na Figura 16, acima uma das variáveis trabalhadas pelo ORNAP é o abastecimento humano, para tal é de fundamental importância a aquisição de dados sobre os municípios, suas populações e o consumo destas populações, neste contexto, foi utilizado neste trabalho dados de população por município disponibilizados pelo IBGE, apenas para exemplificar como se dará a junção entre as tabelas espaciais e alfanuméricas que possibilitará a integração entre o ORNAP e o *Webmapping*.

Algumas informações alfanuméricas referentes aos municípios que estão dentro dos limites da bacia foram disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em formato *PDF (Portable Document Format)*. Esses dados foram digitalizados no software Excel, e salvos em formato *DBF (Data Base File)*, que é um formato para importação de dados aceito por diversos sistemas gerenciadores de banco de dados, incluído o *PostgreSQL*, vale ressaltar que o módulo de interface para web do ORNAP que está sendo desenvolvido por José

Carlos Mota, pesquisador do grupo de pesquisa do CNPq GOTA, possibilitará a alimentação direta no banco de dados de todas as informações necessárias a operação do sistema via *internet*.

No caso presente a importação das tabelas de municípios com dados de população em formato *DBF* para o *PostgreSQL*, foi utilizado uma função do próprio SGBD que permite a importação de arquivos com este formato, se fazendo necessário para tal apenas especificar o usuário do banco, a senha do banco, a porta usada, localização do servidor, o nome do banco, o *SRID* e a localização do arquivo a ser importado. A Figura 17 mostra a tela de importação de arquivos *DBF's* do *PostgreSQL*.

Figura 17 – Tela de importação de arquivos *DBF's* do *PostgreSQL*.



Fonte: *PostgreSQL*.

Esse mesmo procedimento foi utilizado para a importação de algumas tabelas já existentes relacionadas ao ORNAP.

4.1.2 Informações espaciais.

Para o povoamento do banco de dados foram coletados informações das seguintes fontes.

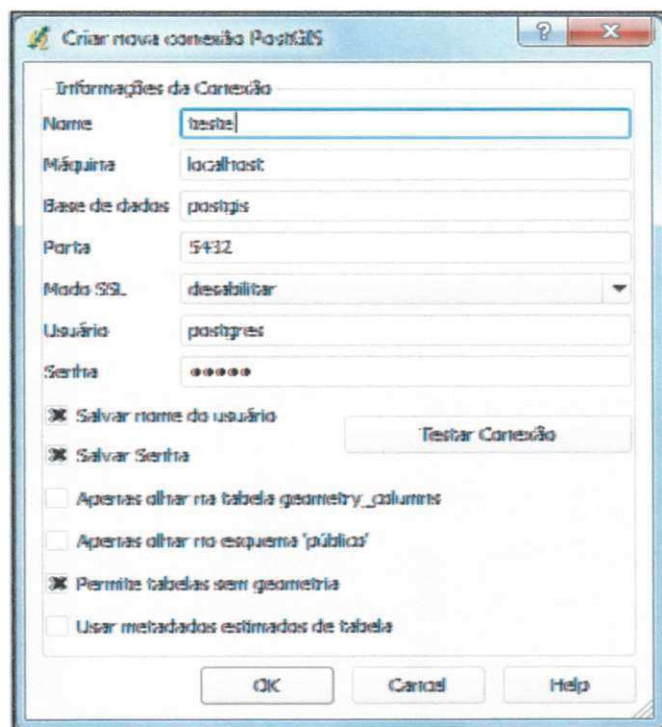
Os arquivos *shapefiles* da Açudagem Principal, Rodovias, Drenagem, Sedes Municipais, Limites Municipais, Postos Pluviométricos e Limites da Bacia, que continham além das informações espaciais, varias informações alfanuméricas a respeito da bacia hidrográfica, obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA).

Inicialmente, fez-se necessário um pré-processamento dos arquivos *shapefiles*, antes de serem exportados para o banco de dados. Esse pré-processamento consiste na exclusão de informações não relevantes das tabelas, bem como exclusão de informações que estão fora dos limites da área de estudo e transformação do sistema de coordenadas, que estavam em geográficas, para coordenadas planas UTM. Para isso, foi utilizado o *software* de *GIS desktop Quantumgis*³, o *Datum* continuou sendo o SAD 69.

Após o pré-processamento, fez-se a exportação dos arquivos para o banco de dados. Dentre as várias maneiras de fazê-lo, optou-se pelo próprio *Quantumgis*, uma vez que os dados já haviam sido processados por esse *software* e por ele permitir a importação de todos os arquivos de uma única vez, de forma rápida e fácil, necessitando de algumas informações referentes ao banco de dados para que, assim, ela consiga se conectar. Tais informações são: o nome do banco; em que maquina esta o banco (*Localhost* indica que o banco está no próprio computador em que se está trabalhando); a porta; o usuário do banco; a senha do banco; e o SRID (que é a parte responsável pelo sistema de coordenadas). A Figura 18 mostra a tela de conexão entre o *Quantumgis* e o *PostgreSQL/PostGIS*. Por sua vez, a Figura 19 mostra a ferramenta do *Quantumgis* para a importação dos *shapfiles*.

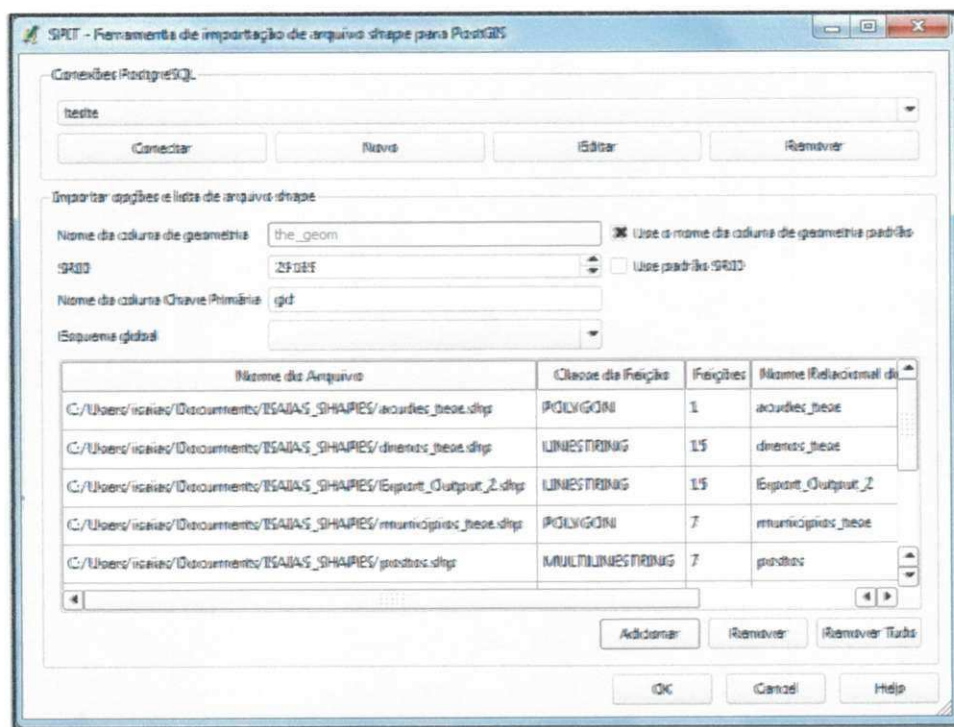
³ O *QuantumGIS* é um *software* de SIG desktop livre multi-plataforma que suporta formatos vetoriais, *raster* e de base de dados.

Figura 18 - Tela de conexão do *Quantumgis* com o *PostGIS*



Fonte: *Quantumgis*.

Figura 19 - Tela de exportação de *shapefile* do *Quantumgis* para o *PostgreSQL/PostGIS*.



Fonte: *Quantumgis*.

4.2 JUNÇÃO ESPACIAL.

Para a junção entre as tabelas foi realizada uma consulta em linguagem SQL utilizando o comando **JOIN**. Esse comando faz a junção de diferentes tabelas a partir de atributos em comum existentes nessas tabelas.

Por exemplo, na tabela de municípios do IBGE (possui uma coluna com o código dos municípios) e o arquivo *shapefile* dos municípios disponibilizado pela AESA (também possui uma coluna com atributos referentes aos códigos dos municípios) cujo título das colunas não fazem diferença, mas sim os atributos nelas existentes. Após a verificação de que estes códigos estavam compatíveis em ambas as tabelas foi executada a consulta com o comando **JOIN**.

Para que esta união entre os dados das tabelas sejam visualizadas em uma nova tabela é necessária a criação de uma *View*, que nada mais é que a visualização da união entre as tabela que foram unidas. Em outras palavras, a *View* não é uma tabela propriamente dita, mas apenas uma visualização da união entre as tabelas, onde a manipulação da estrutura ou de qualquer atributo da tabela será realizada nas tabelas originais, e apenas visualizada na *View*. No Quadro 1 está exposto a consulta realizada em linguagem SQL para a junção entre as tabelas de municípios do IBGE e da AESA.

Quadro 1 - Consulta realizada em linguagem SQL.

```
Create view municipiosgrameme as  
Select municipios. gid, nomemun, mesoreg, geoadm, emater, perimetro,  
area_km2, codigo_ibg, shape_leng, shape_area, the_geom,  
populacao. cod_ibg, pop_2007, pop_2010  
from municipios join populacao  
on populacao.cod_ibg = municipios.codigo_ibg
```

Entendeu-se esta metodologia de manipulação de tabelas como a melhor por dois motivos: a manipulação de tabelas com colunas de atributos espaciais é complicada para usuários não habituados, podendo gerar graves erros na manipulação das tabelas ou na visualização dos resultados e, por outro lado, o sistema de suporte a decisão não tem o suporte (pelo menos por enquanto) para

trabalhar com este tipo de dado. Desse modo, entende-se que a melhor maneira encontrada pra realizar estas tarefas é através da separação das tabelas espacial da alfanumérica, unindo-as apenas no sistema gerenciador de banco de dados.

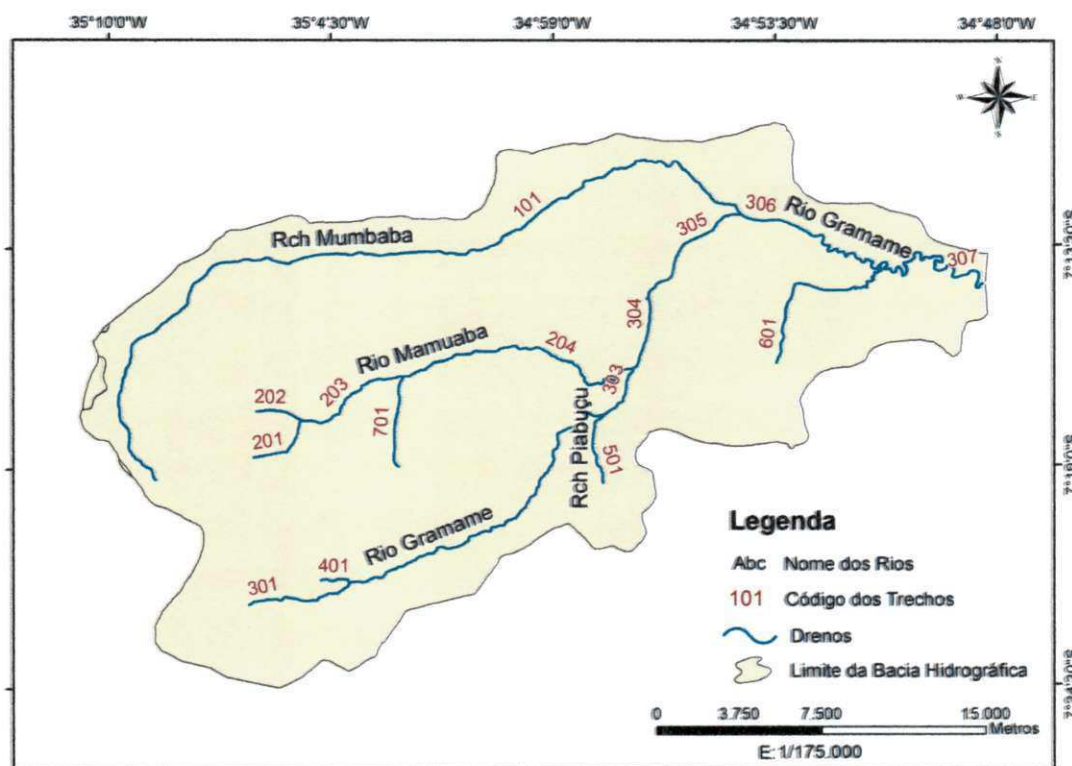
Para as demais tabelas referentes aos reservatórios e à drenagem foi utilizado o mesmo procedimento, com a diferença de que estas não continham colunas com atributos semelhantes. Para resolver tal problema, foram geocodificados todos os reservatórios e toda a drenagem da bacia. Estes mesmos códigos foram atribuídos a reservatórios e a drenagem no sistema de suporte a decisão.

Porém, a drenagem apresentou uma peculiaridade em sua codificação, pois como as características de um rio mudam ao decorrer de seu percurso é inaceitável que ele seja representado com as mesmas características no decorrer de seu curso. Para solucionar tal problema, foi realizada a segmentação dos rios por trecho. Assim, cada trecho do rio terá seu próprio código, podendo-se, desse modo, representar as particularidades de cada trecho sem perder o referencial.

Para resguardar a referência inicial de cada trecho, antes da segmentação, atribuiu-se a cada rio um código, e a cada trecho um código (a partir do código geral do rio). Por exemplo, o Rio Gramame tem o código 03, o primeiro trecho do Rio Gramame, que respeitará a sequência de montante para jusante, tem o código 0301, onde os dois primeiros dígitos fazem referência ao rio ao qual o trecho faz parte e os dois últimos números fazem referência ao trecho. O segundo trecho do mesmo rio ficaria com o código 0302 e assim por diante, de modo que todos os trechos do mesmo rio ficariam com o mesmo prefixo.

A Figura 20 mostra a drenagem da bacia do Rio Gramame e os códigos que foram atribuídos aos seus respectivos trechos.

Figura 20 - Drenagem da Bacia com a codificação dos respectivos trechos.



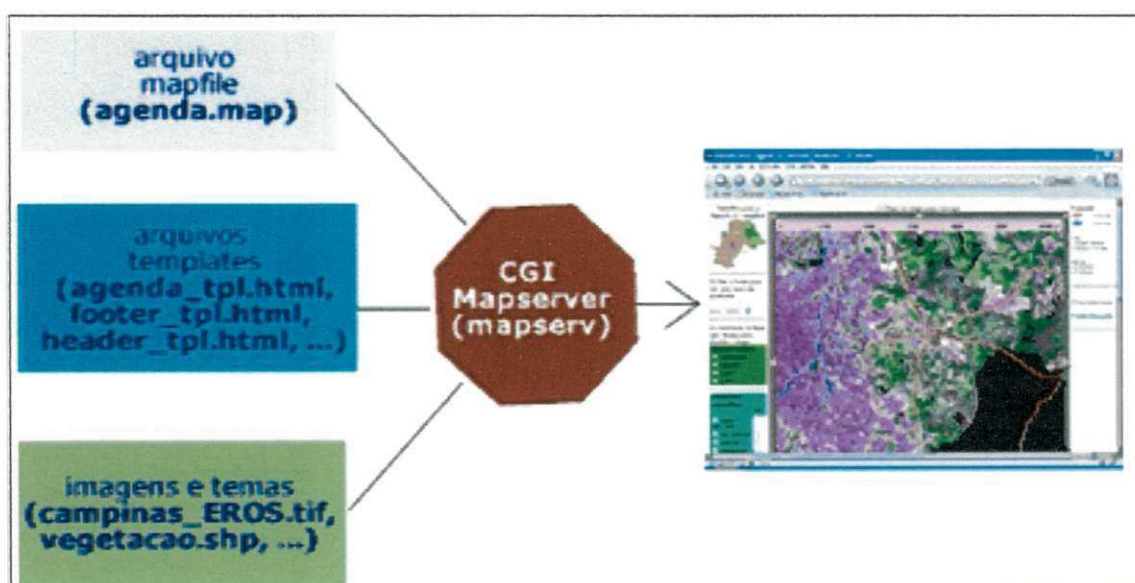
4.3 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO MAPSERVER.

A aplicação *MapServer* é composta de quatro elementos:

1. O próprio programa *MapServer* (um CGI que fica armazenado no servidor Web no endereço <http://servidor/sgi-bim/mapserv>);
2. Um arquivo de configuração da aplicação, o *mapfile* (arquivo de texto com as definições do *MapServer*);
3. Um arquivo *template* (Arquivos na linguagem *HTML* que determinam a aparência da aplicação *MapServer*, como logotipos, cores etc);
4. Os arquivos com os dados, que podem ser imagens em formato *raster*, arquivos de temas como, por exemplo, *shapefiles* gerados ou trabalhados por *software* de SIG como o *Quantumgis* e ainda tabelas armazenados em banco de dados suporte para conexão com SIG.

O *MapServer* interpreta as definições contidas no arquivo *mapfile*, processa os arquivos de imagem e/ou temas e/ou tabelas, agrega a forma definida nos *templates* e apresenta tudo em um site dinâmico chamado aplicação WebGis ou aplicação *Webmapping* ou ainda aplicação *MapServer*. A Figura 21 a seguir mostra o esquema geral de funcionamento do *MapServer*.

Figura 21 - Esquema geral de funcionamento de uma aplicação *MapServer*.



Fonte: Embrapa (2004)

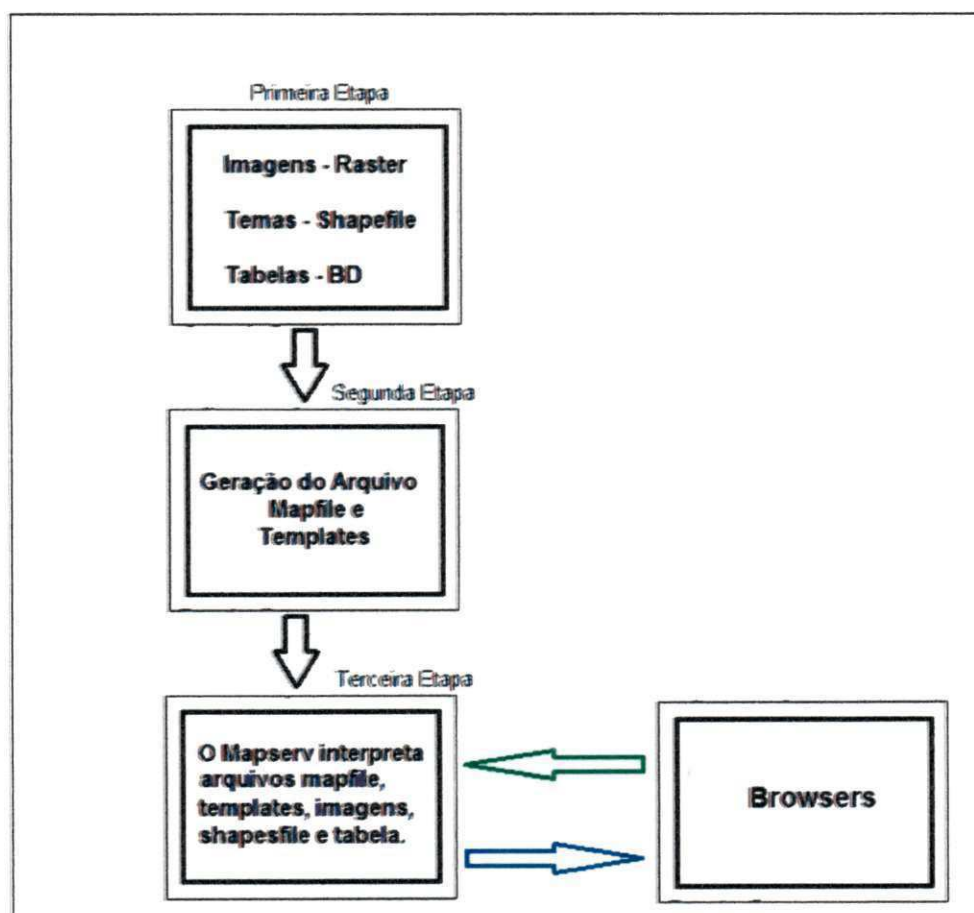
Um ponto chave do desenvolvimento de uma aplicação *MapServer* é a programação do arquivo *mapfile*, nele ficam todas as instruções de onde estão os dados a serem utilizados, posição geográfica em latitude e longitude ou X e Y, definições de consultas ao banco de dados, nomes que irão aparecer nas legendas e rótulos, que símbolos serão usados para representar os objetos, a criação de mapas temáticos, etc.

Os arquivos *templates* são responsáveis pelo desenvolvimento da interface da aplicação, neste arquivo é definindo quais ferramentas farão parte da aplicação, qual a posição e as cores da mesma. Um exemplo de ferramenta que é criado no *template* é o *Zoom*.

O *MapServer* apenas exibe informações, não tendo a capacidade de editar estas informações, esta limitação ocorre sempre, não importando se se trata de uma imagem, de um *shapefile* ou de uma tabela de banco de dados, para edição dos

dados deve-se usar um *software* de SIG ou um sistema gerenciador de banco de dados, como o utilizado neste trabalho, A Figura 22, descreve as etapas envolvidas no desenvolvimento da aplicação *MapServer*.

Figura 22 - Etapas de desenvolvimento da aplicação *Mapserver*.



Na primeira etapa são processados todos os arquivos que serão utilizados na aplicação. Estes arquivos são armazenados em um banco de dados com suporte espacial que será interpretado na etapa seguinte pelo arquivo *mapfile*.

Na segunda etapa os arquivos *mapfile* são escritos utilizando uma linguagem de definição do próprio *MapServer*. Posteriormente são criados os arquivos *templates* na linguagem *HTML* que permitirão a apresentação da aplicação *webmapping*.

Na terceira etapa o servidor de mapas *MapServer* interpreta e executa o arquivo *mapfile*, gerando a aplicação *webmapping* com base nos *templates* e nas tabelas do banco de dados, e depois apresenta em um *browser*.

4.2.1 O Arquivo de Definição Mapfile

Para o desenvolvimento dos códigos da aplicação e edição dos arquivos .map, foi utilizado o programa *SciTE* que é um editor de texto com suporte a realce de sintaxe para várias linguagens e recursos interessantes como auto-completar e abertura de vários arquivos.

Um arquivo de extensão .map, em formato texto puro, que faz todas as definições e configurações iniciais necessárias para execução de uma aplicação *mapserver*. Este arquivo é lido pelo *mapserver* em cada interação do usuário com a aplicação e define diversas características da aplicação como: que maps serão disponibilizados? como estes maps serão apresentados? com que cor? com que símbolo? até que escala o usuário poderá aproximar-se? ou seja, o *mapfile* define como os maps (dados) serão apresentados ao usuário. (KANEGAE, 2006)

Em um arquivo *Mapfile* podem ser adicionados quantos *layers* sejam necessários para o desenvolvimento da aplicação requerida, não existe a necessidade da criação de um *Mapfile* para cada *Layer*.

4.2.2 O Arquivo Template

O objetivo de um *template* pode ser entendido da seguinte forma:

Os arquivos *template* definem a interface ou design da aplicação, ou seja, definem como os componentes gerados pelo *MapServer* (mapa, legenda, barra de escala, etc...) serão apresentados para o usuário e de que forma o usuário poderá interagir com a aplicação. (KANEGAE, 2006).

O *Adobe Dreamweavercs5* foi o *software* utilizado para configuração do arquivo *template* da aplicação.

O uso de *frameworks* no desenvolvimento de aplicações *Webmapping* facilitaram muito a tarefa de escrever o arquivo *template*, que é uma etapa bastante complicada para quem não tem muita familiaridade com alguma linguagem de programação.

Vários *frameworks* disponíveis gratuitamente já possuem o arquivo *template* pré-configurado, com várias funções implementadas mas que ainda permite a customização da interface de acordo com as necessidades do usuário.

Para o desenvolvimento do *Webmapping* do sistema ORNAP foi utilizado o *framework Fusion2* que será melhor descrito a seguir.

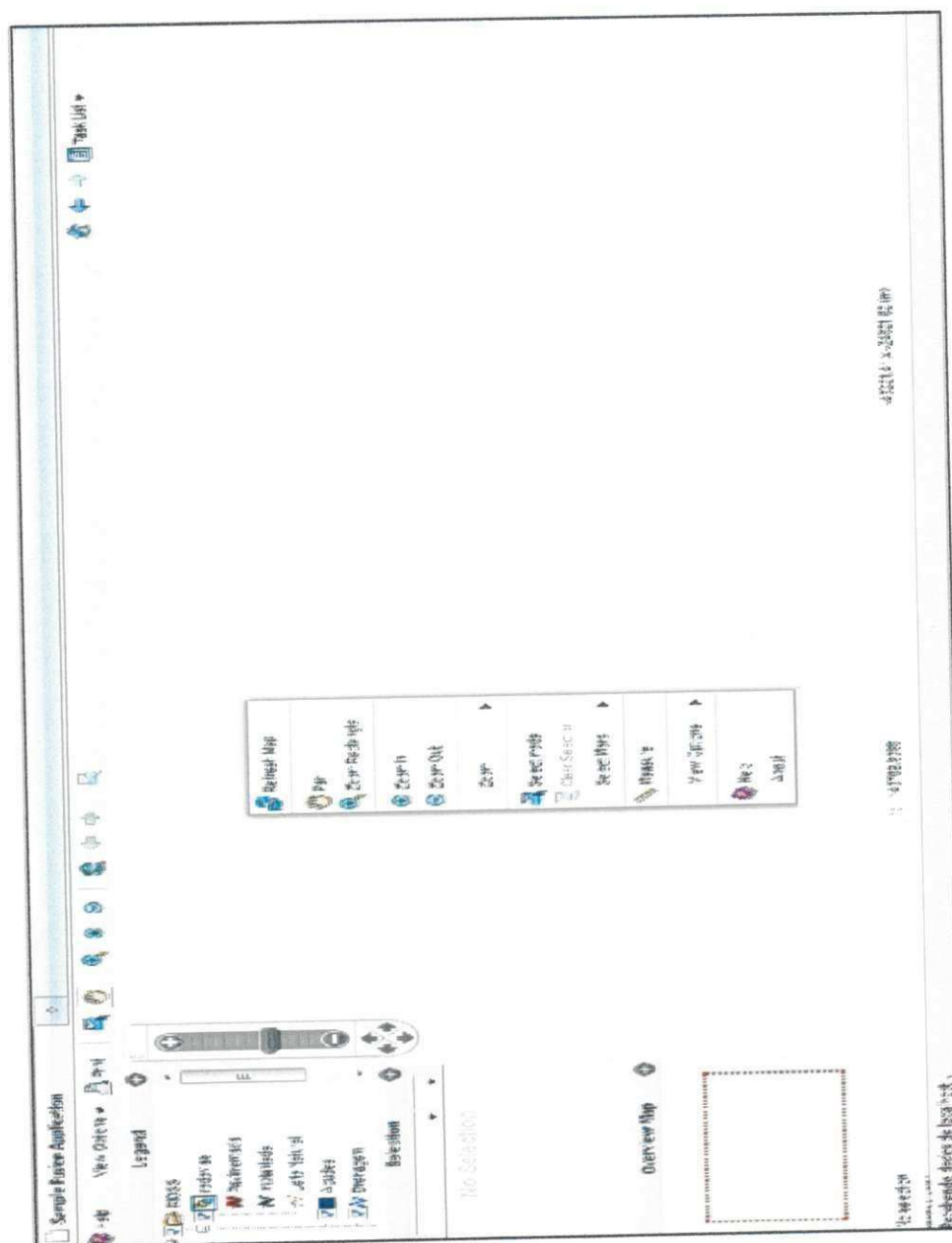
4.2.3 O *Fusion2*

O *fusion2* foi o *framework* escolhido para auxiliar no desenvolvimento da *Webmapping* do sistema ORNAP, esta escolha se deu por diversos fatos, entre estes fatos podemos citar que este *framework* é livre mantendo assim a mesma filosofia de desenvolvimento dos demais módulos do sistema ORNAP, o *fusion2* tem uma série de funcionalidades de SIG já implementadas e a possibilidade de adequação desta ferramenta para a necessidade dos usuários e também o suporte gratuito disponibilizado pelos desenvolvedores iniciais da ferramenta.

Desenvolvido pelo DM *SolutionsInc*, e mantido continuamente pelo mesmo, o *fusion2* é um *Framework* desenvolvido para facilitar o desenvolvimento de aplicações *MapServer*, ele é gratuito e de código aberto, tem como principal linguagem de desenvolvimento o *JavaScript*, mas caso necessário acrescentar funções isto poderá ser feito utilizando PHP além do próprio *JavaScript*,

O *Fusion2* trabalha com os principais navegadores, como por exemplo, o *Internet Explorer*, *Google Chrome* e o *Mozilla Firefox*, entre outros, ele pode funcionar com os servidores IIS ou Apache, possui muitas das funções típicas de um *framework* de mapeamento na web, tem itens de navegação, como por exemplo, *zoom in*, *zoom out*, *pan*, etc., controles de legenda, como por exemplo, o gerenciamento da visualização de camada, etc., e elementos de guia, como por exemplo, botões, menus, vista de árvores, painéis, diálogos, etc., A Figura 23 abaixo mostra a tela inicial do *Fusion2*.

Figura 23 – Tela inicial do *Fusion2*.



Fonte: *Fusion2*.

CAPITULO 5

5. RESULTADOS

A informação e o conhecimento são hoje os principais insumos para o desenvolvimento das sociedades e devem ser disponibilizados visando atender às necessidades da sociedade em tempo hábil, com conteúdo e forma impecáveis.

Torna-se uma questão estratégica e de interesse de qualquer gestor ter o conhecimento do território, adotando políticas para o uso das informações georreferenciadas no intuito de se obter uma melhor gestão. Por outro lado, existe a necessidade da criação de uma infraestrutura para disponibilização de dados espaciais, refletindo o reconhecimento de que a informação é um bem da sociedade e deve estar disponível com qualidade, de forma livre, promovendo iniciativas públicas, privadas e individuais.

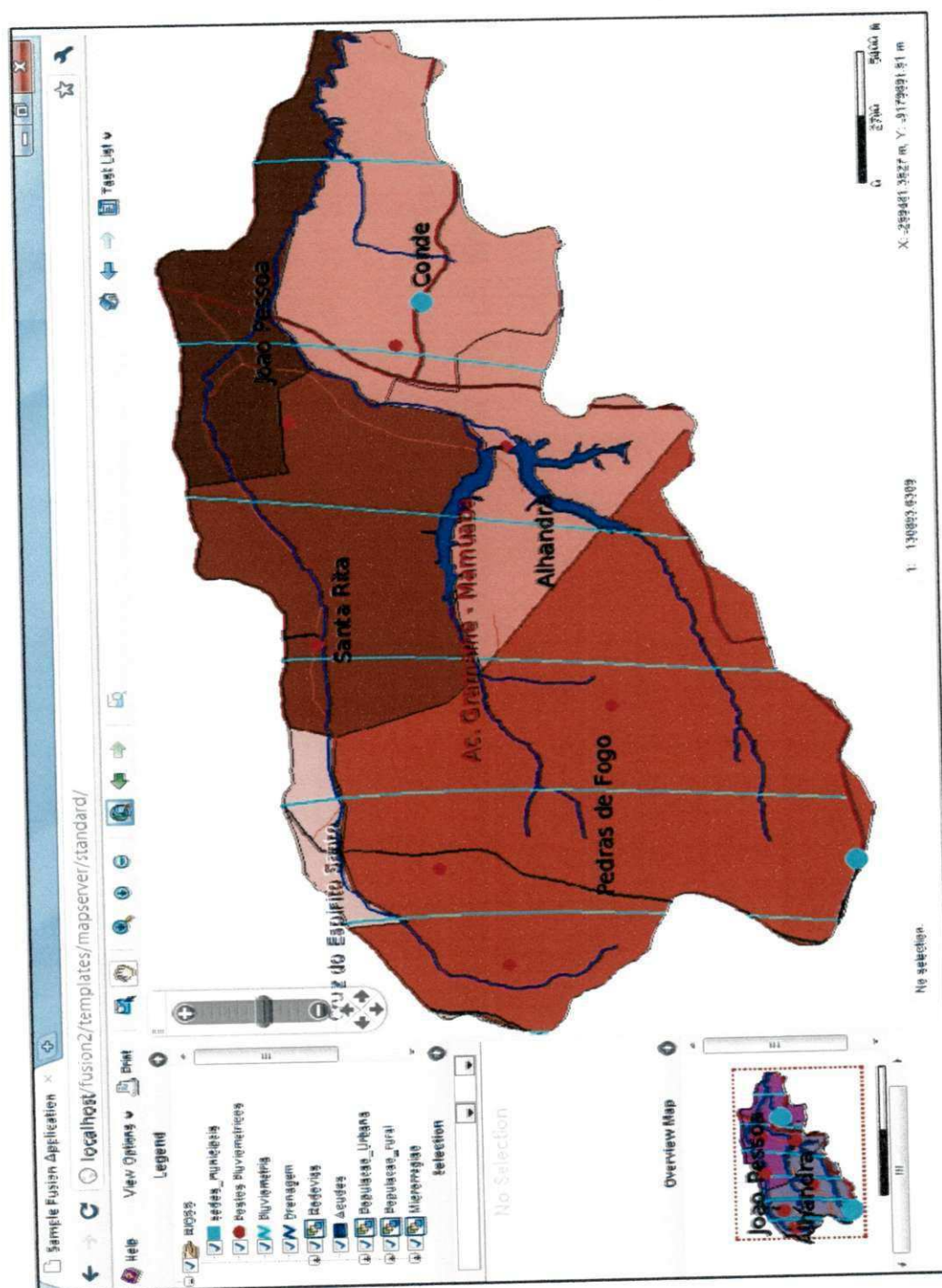
Neste sentido é que o *Webmapping* do sistema ORNAP visa atender a sociedade e os gestores públicos disponibilizando informações georreferenciadas sobre as áreas hidrológica, social, econômica, ambiental e territorial provenientes do SSD, pretendendo-se manter constantemente atualizado e acessível o referido sistema.

O *Webmapping* do sistema ORNAP permite a visualização, consulta e análise dos temas mapeados, otimizando o acesso a informação no intuito da tomada correta de decisão para uma gestão mais eficaz.

De acordo com a programação realizada sobre o *MapServer*, por meio de seu próprio CGI e com o auxílio das linguagens de programação HTML e *JavaScript*, podem se visualizar os resultados obtidos.

Na Figura 24, demonstra-se a vista inicial do *Webmapping* com todas as camadas ativas, no qual se observa a possibilidade de gerenciar um grupo predefinido de camadas, assim como mudar a escala de visualização ou ponto de vista, medir distâncias e áreas, consultar dados das camadas, selecionar atributos por polígonos ou raio. Além disto, pode-se observar um campo para visualizar a legenda cartográfica, um para visualização dos atributos do objeto selecionado e outro para o mapa de referencia.

Figura 24 – Tela inicial da aplicação *Webmapping* com todas as camadas ativas.



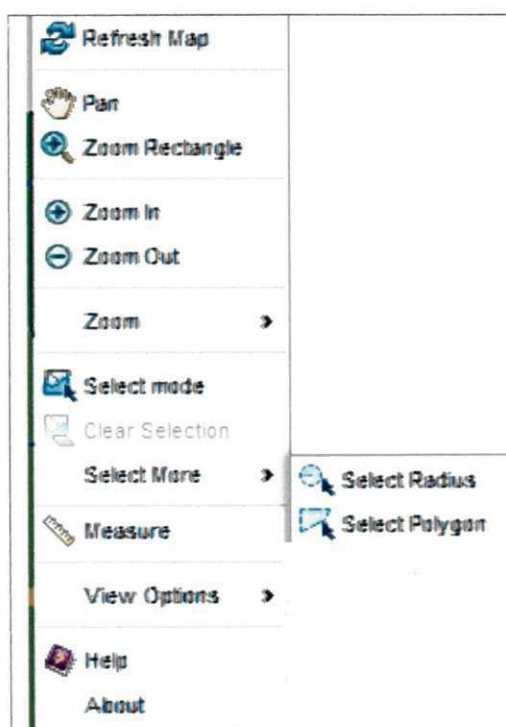
Os tópicos a seguir pretendem expor as funcionalidades da aplicação *Webmapping*, apresentando as ferramentas disponíveis e os mapas temáticos gerados.

5.1 FERRAMENTAS DE INTERAÇÃO DA APLICAÇÃO

Conforme explicado na etapa metodológica, a interface da aplicação inclui um painel de controle, com ferramentas que possibilitam a interação do usuário com o mapa através do navegador *Web*.

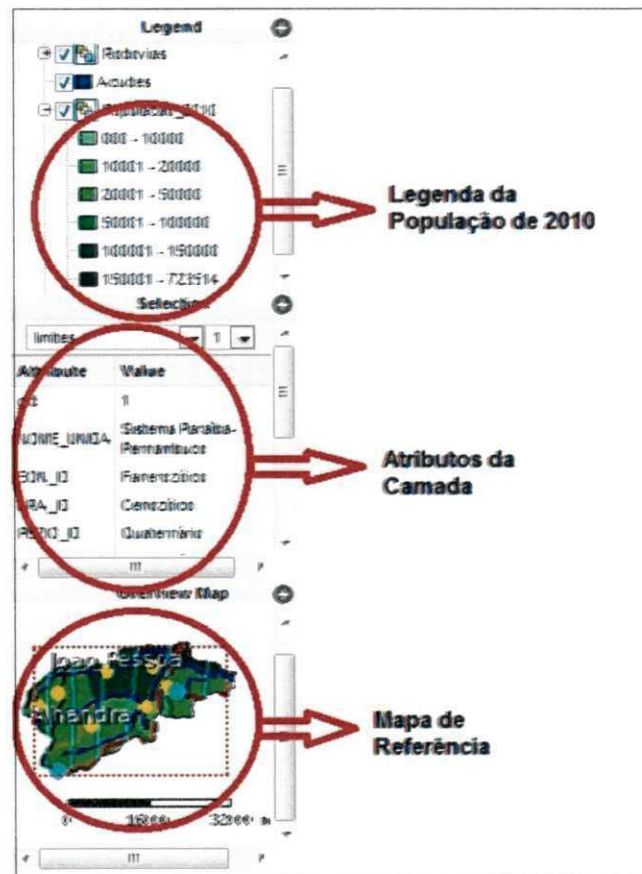
Ao se clicar com o botão direito do mouse, se ativa uma barra de funções como exposto na Figura 26, onde também estão presentes alguns dos botões citados acima, além de novas funções de seleção, como a seleção por raio e por polígono, a mão livre e também a função de retirar a seleção (*ClearSelection*).

Figura 25 – Barra de funções do Botão direito do *mouse*.



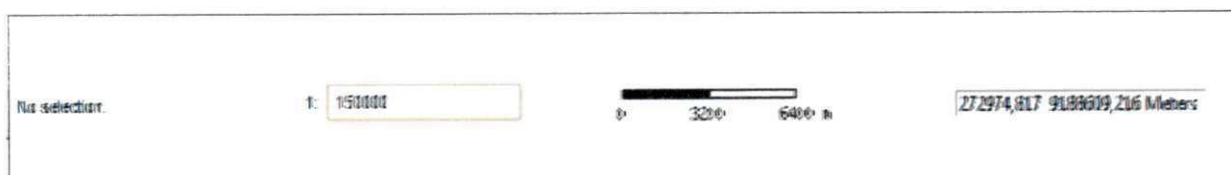
Na aplicação também encontramos uma barra lateral ilustrada na figura 27, onde podemos visualizar as legendas das camadas além de poder ligar e desligar as mesmas, pode-se também visualizar os atributos das camadas selecionadas. Nesta barra lateral se encontra o mapa de referência, que permite ao usuário fazer um paralelo entre o zoom que está sendo utilizado e a visualização total do mapa. No mapa de referência podemos também delimitar o enquadramento desejado do mapa da aplicação.

Figura 26 – Barra lateral da aplicação.



No Rodapé da aplicação encontram-se funções cartográficas como a escala numérica, onde além de se observar a escala em que se encontra o mapa, permite ao usuário a alteração para a escala que ele desejar, dentre as quais a escala gráfica, que é a localização de coordenadas e a indicação de quantas camadas estão selecionadas naquele momento. A Figura 28 a seguir mostra o rodapé da aplicação.

Figura 27 – Rodapé da aplicação.



Na aplicação, a escala gráfica aparece acima do campo que contém as coordenadas, porém para fins de demonstração do rodapé achou-se mais adequado realizar uma montagem para que a escala gráfica apareça na mesma linha das demais funções, alteração esta que futuramente também será realizada na aplicação.

5.2 EXEMPLOS PRÁTICOS DE USO DA APLICAÇÃO

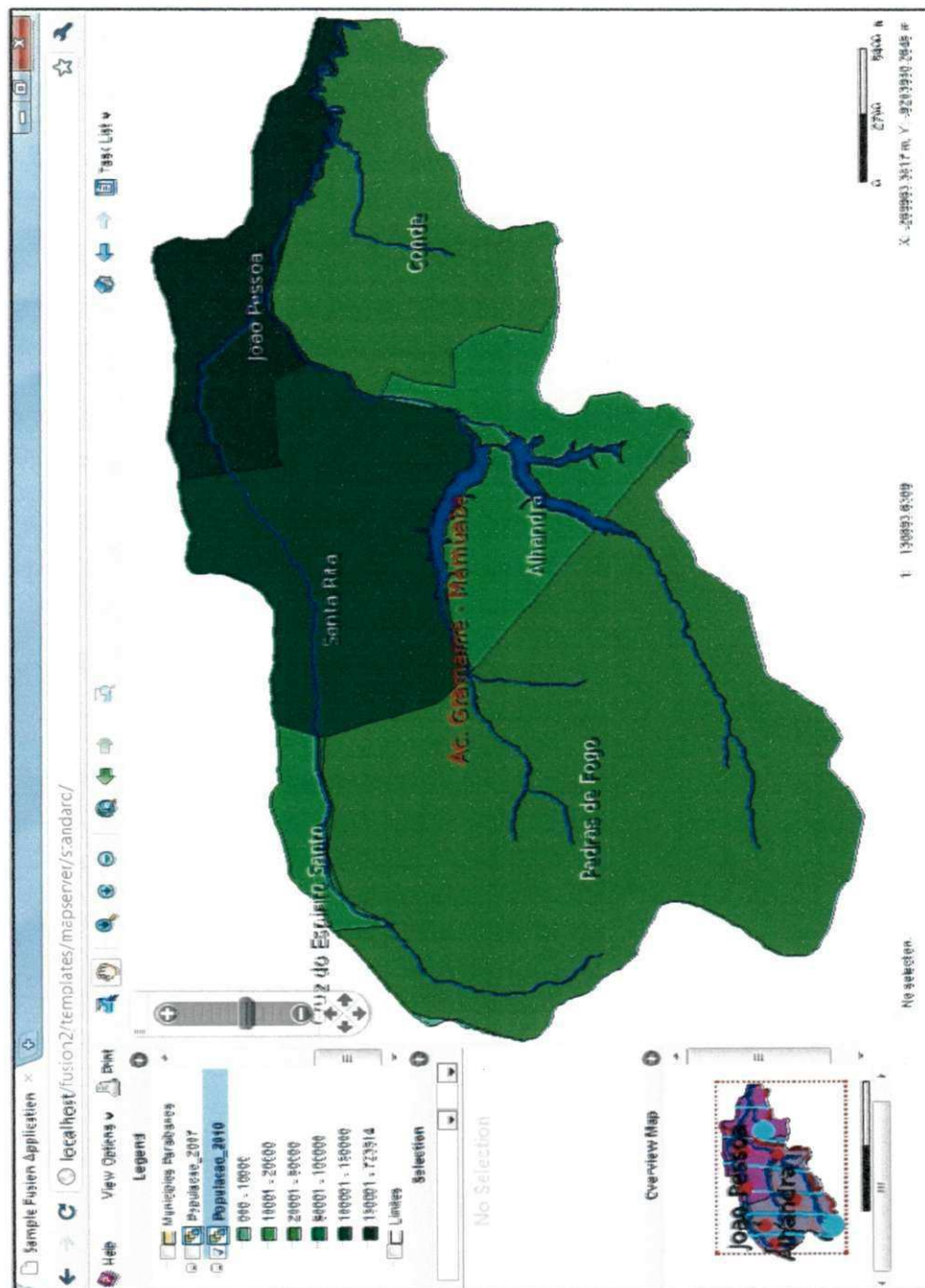
Procurar-se-á exemplificar a seguir o uso das principais ferramentas do *Webmapping* pelo usuário final, como por exemplo; o medidor de distância, a realização de consultas, a publicação de mapas temáticos e descrição de cada camada disponibilizada na aplicação com os seus respectivos dados.

5.2.1 Medidor de Distâncias

A ferramenta de distância possibilita aos usuários da aplicação fazer medições dinamicamente sobre o mapa.

Suponha-se que determinado visitante do site tenha interesse em saber a distância aproximada entre os quatro postos pluviométricos localizados na cidade de Pedras de Fogo. Para obter esta informação basta ao internauta habilitar a ferramenta "*Measure*" e clicar sobre os quatro pontos do mapa. Abaixo, a Figura 29 ilustra o resultado obtido por essa operação.

Figura 28 – Uso da ferramenta de *Measure*.



A distância será medida ponto a ponto, e ainda será indicada a sequência dos vértices medidos, além de no centro do polígono desenhado estará disponibilizado a área total do polígono desenhado em m^2 .

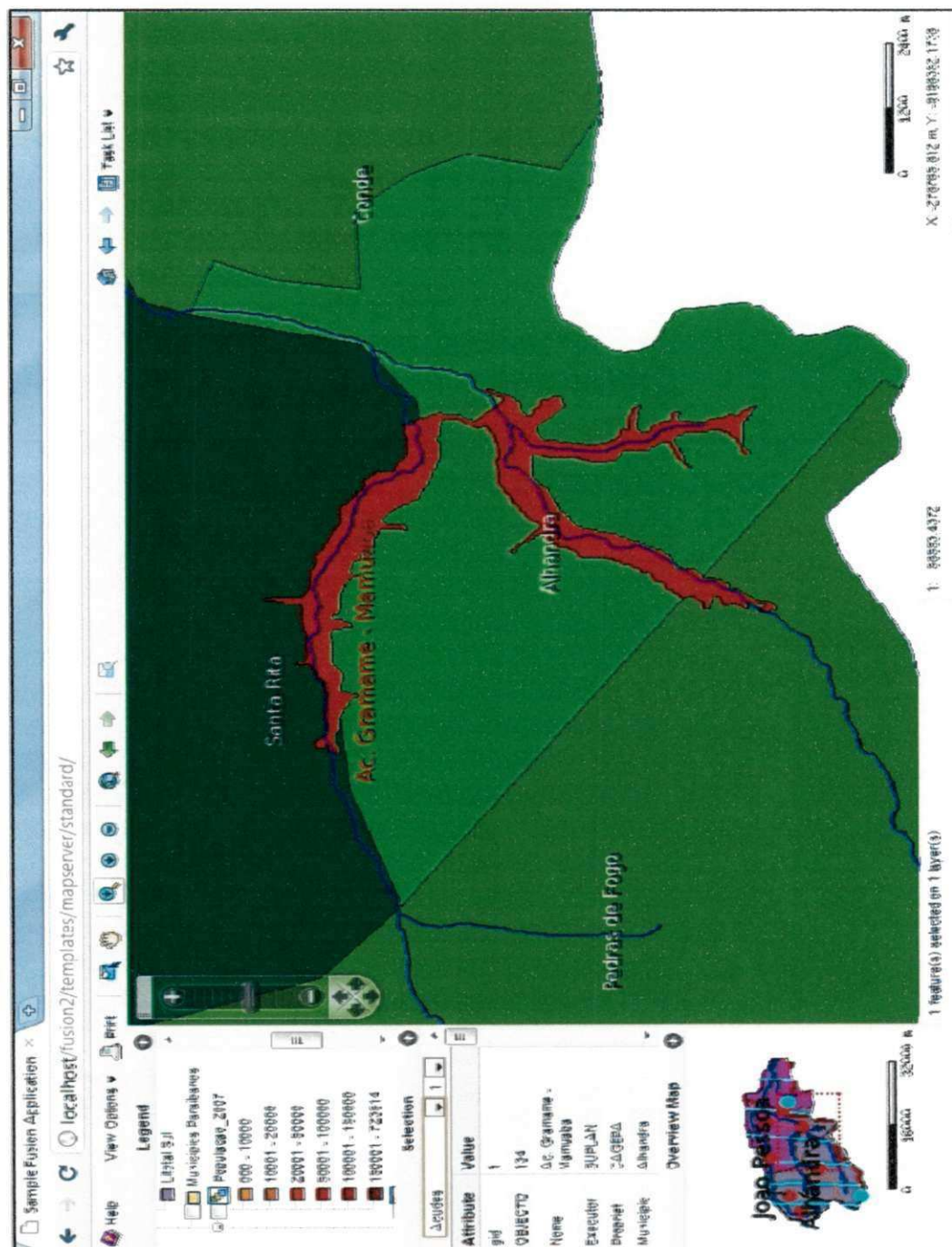
5.2.3 *Querys* e Consultas

O projeto de pesquisa é uma experiência, ou seja, trata-se de um projeto piloto e se manterá em constante desenvolvimento e atualização conforme a necessidade apresentada pelos usuários. Assim, a ferramenta de *querys* ainda não foi adicionada. Sabemos que este tipo de ferramenta tem o objetivo de facilitar a consulta, contudo muitas vezes gera o efeito de dificultar a interatividade com o usuário, pois são utilizados campos com variáveis de equações booleanas para gerar o cruzamento das informações e retornar num produto cartográfico, as equações booleanas fazem uso dos conectivos lógicos. Portanto, o principal motivo da não inserção desta ferramenta ao projeto foi funcional e só será adicionada conforme a constatação da necessidade do usuário.

Ao invés da disponibilização inicial de *querys* no *webmapping*, foi disponibilizada a ferramenta consulta, que proporciona ao público informações do banco de dados. Ou seja, ao clicar em determinada feição geográfica da aplicação *webmapping*, tem-se, como resposta, informações alfanuméricas relacionadas ao objeto selecionado. Por exemplo, ao selecionarmos a feição referente ao Açude Gramame-Mamuaba, veremos as mais diversas informações que estão atreladas ao banco de dados. Este tipo de ferramenta contribui de forma eficaz aos planejadores e órgãos interessados, pois, uma vez que os dados cartográficos não são muito difundidos, sua relação com os dados alfanuméricos traz a esse público alvo a localização geográfica de cada evento ou dos problemas constatados em um determinado local da área de estudo desejada.

Através do botão "*Zoom to Select*", é possível ampliar e centralizar na tela apenas a área selecionada, como exposto na Figura 30.

Figura 29 - Seleção do açude Gramame-Mamuaba e visualização dos seus atributos



A quantidade de dados relativos ao respectivo açude é muito extensa. Devido a isto a aplicação disponibiliza uma barra de rolagem para que se possa visualizar todos os dados.

5.3 PUBLICAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

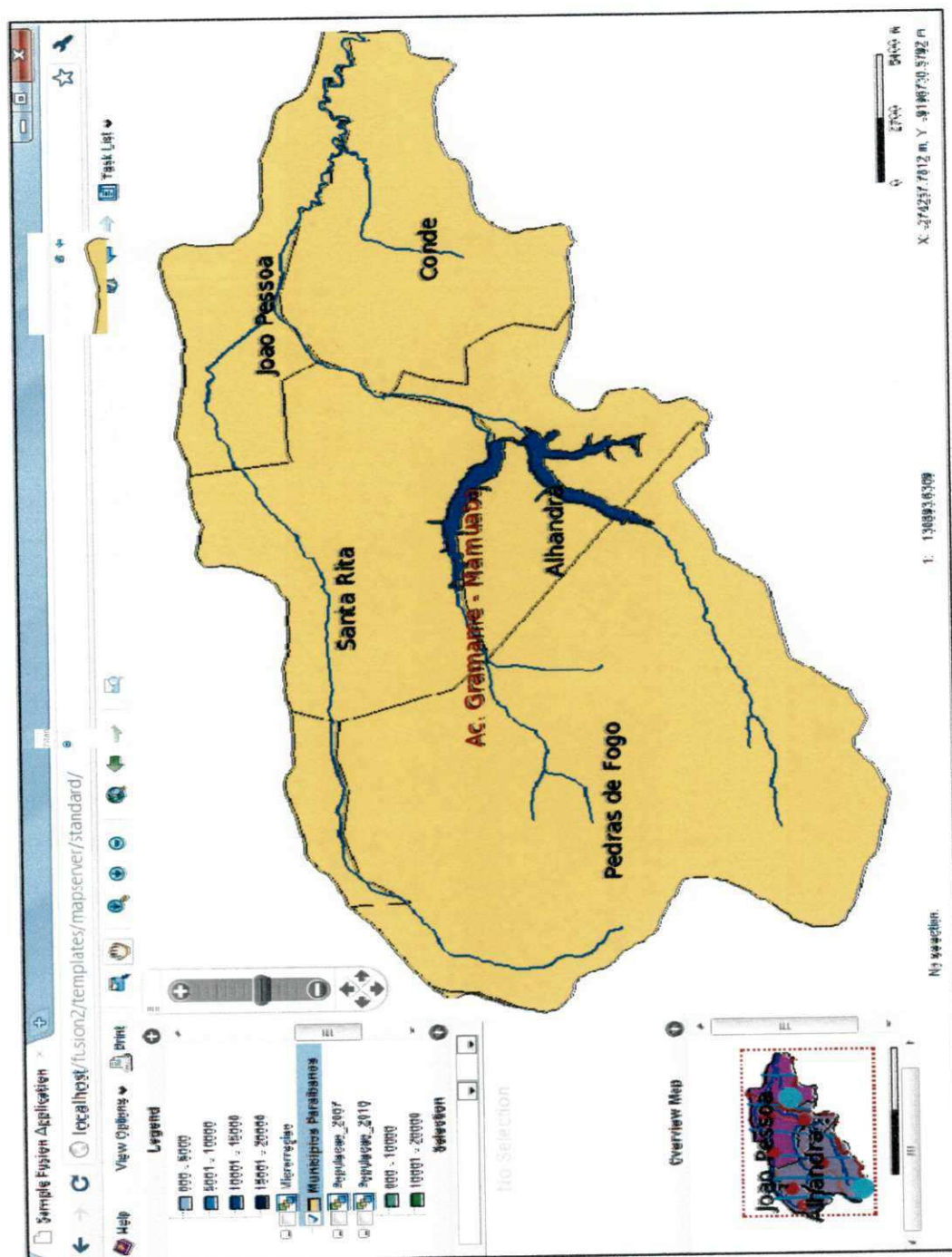
O mapeamento temático visa caracterizar e entender a organização do espaço e seus fenômenos. Os mapas temáticos desenvolvidos oferecem aos usuários a espacialização de dados que anteriormente só estavam disponibilizados em forma de tabelas e/ou gráficos.

Foram gerados, até aqui, alguns mapas temáticos, a saber, Divisão Municipal, Postos Pluviométricos, Microrregiões do Estado, População Total de 2007, População Total de 2010, População Urbana e População Rural.

Na aplicação *webmapping* desenvolvida foram contempladas a utilização de mapas temáticos sobre variáveis qualitativas e quantitativas.

Ao iniciar a aplicação, o usuário tem acesso imediato ao mapa temático da bacia com os limites dos municípios paraibanos que se localizam dentro do limite da bacia, podendo todas as demais camadas serem ativadas de acordo com o interesse do usuário (Figura 31).

Figura 30 - Municípios Localizados dentro do limite da bacia hidrográfica



Os dados referentes a os municípios estão expostos na Tabela 6 abaixo:

Tabela 5 – Dados referentes aos Municípios.

COLUNAS	ATRIBUTOS
gid	Código
nomemun	Nome do Município
microreg	Microrregião Paraibana
mesoreg	Mesorregião Paraibana
geoadm	RegiãoGeo_Administrativa
emater	Responsável pela Cidade
perimetro	Perímetro da Cidade
Área_Km ²	Área da Cidade
Código_ibge	Código do IBGE
the_geom	Dados Georeferenciados

Como exposto na etapa metodológica para a junção entre as tabelas de municípios da AESA e do IBGE, foi realizada uma consulta em linguagem SQL no *PostgreSQL*, onde foi criada uma nova tabela para visualização desta junção. A partir desta nova tabela e, conseqüentemente, destes novos dados foram gerados três mapas populacionais referentes à população urbana por município, população rural por município e população total por município dos anos de 2007 e 2010. A Tabela 7 abaixo mostra os dados provenientes da tabela do IBGE que foram unidos a os dados provenientes do *Shapefile* da AESA.

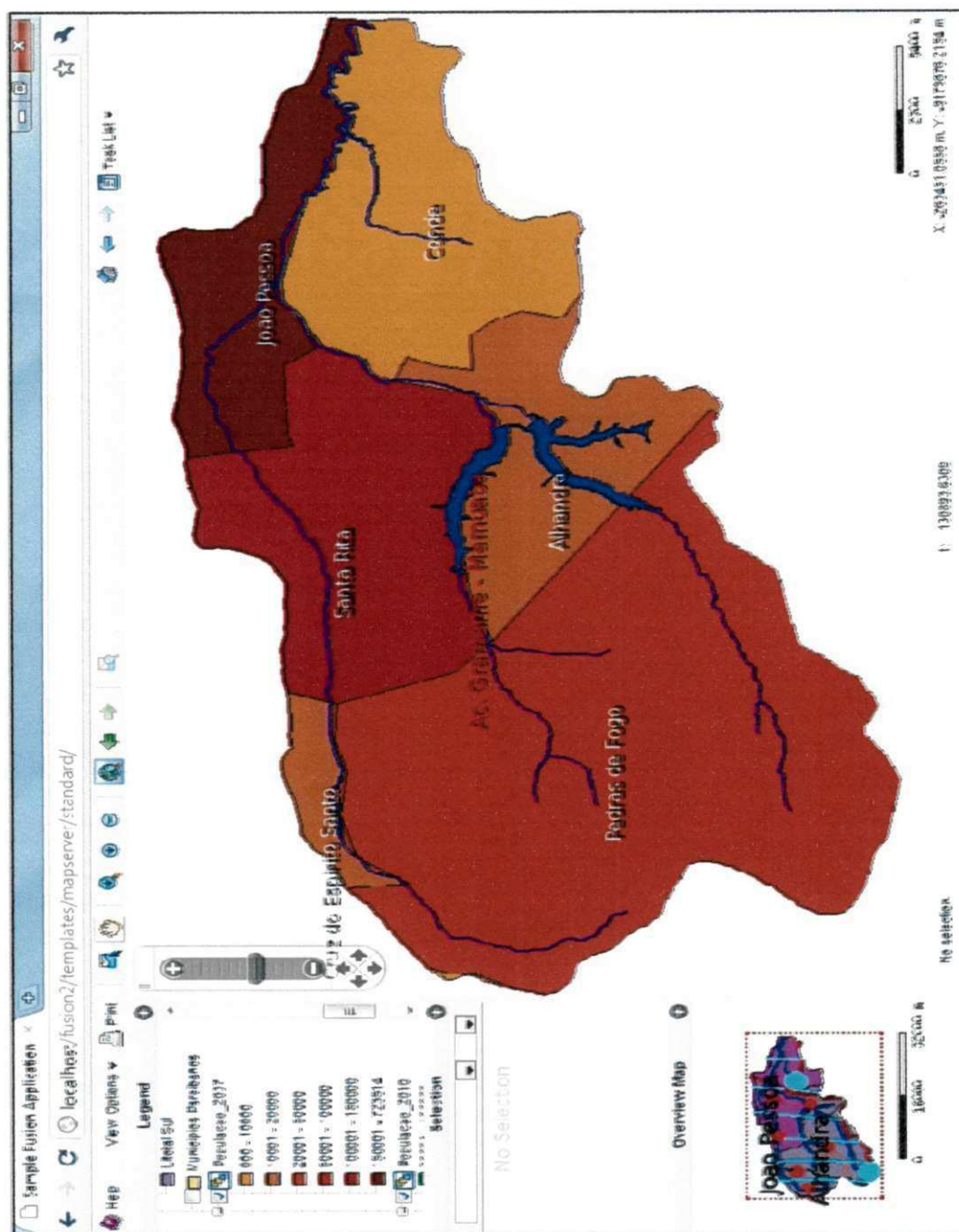
Tabela 6 – Dados populacionais oriundos do IBGE.

COLUNAS	ATRIBUTOS
Código_IBGE	Código do IBGE
Pop_2007	População total de 2007
Pop_2010	População
População Rural	População rural por município
População Urbana	População Urbana por Município

Nota-se que o código do IBGE, por ser o atributo comum às duas tabelas, possibilita a junção entre as mesmas e por isto irá aparecer em duas colunas da

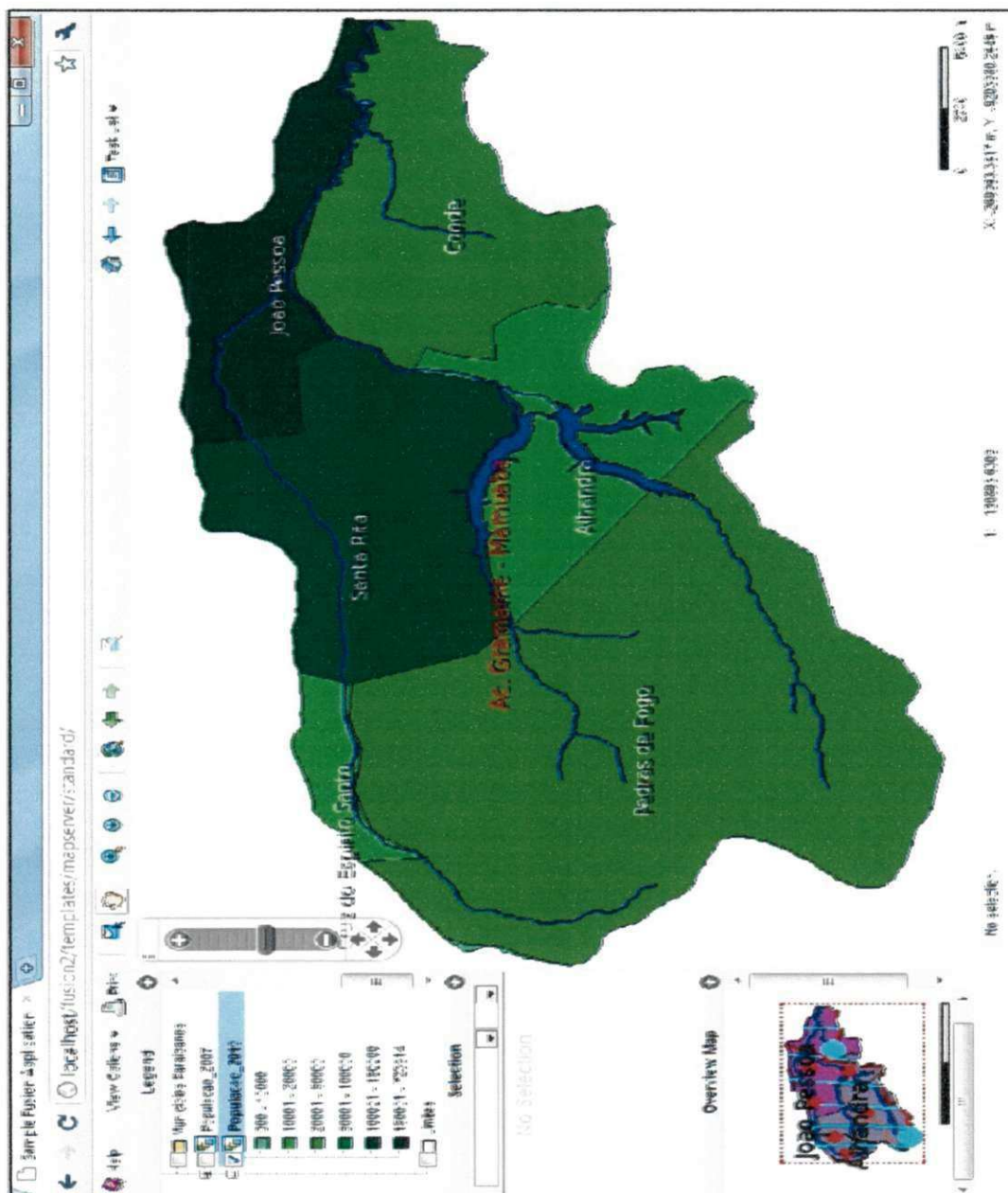
view (nova tabela). A Figura 32 a seguir mostra o mapa temático da população do ano de 2007 por município com sua respectiva legenda.

Figura 31 - Mapa de população do ano de 2007 por município.



Outro mapa temático gerado a partir de dados provenientes do IBGE foi o da população total por município no ano de 2010, exposto na Figura 33 a seguir.

Figura 32 – Mapa de população do ano de 2010 por município.



Comparando os dois mapas e as classes atribuídas que tornam as mesmas para ambos, pode-se notar que apenas o município do Conde mudou de faixa populacional entre estas datas, saído da faixa que fica entre 0 e 10.000 e indo para a faixa que fica entre 20.000 e 50.000.

Os demais mapas também expressam dados demográficos e indicadores sociais, os quais são variáveis numéricas. Estes últimos mapas se enquadram na classe dos mapas quantitativos.

Estes mapas explanam a distribuição espacial da população, quanto à sua totalidade por município na zona urbana e rural. As Figuras 34 e 35 ilustram os mapas gerados sobre esta temática, seguidas de esclarecimentos e demonstração de interpretação dos mesmos.

Figura 33 - Mapa de população urbana por município no ano de 2010.

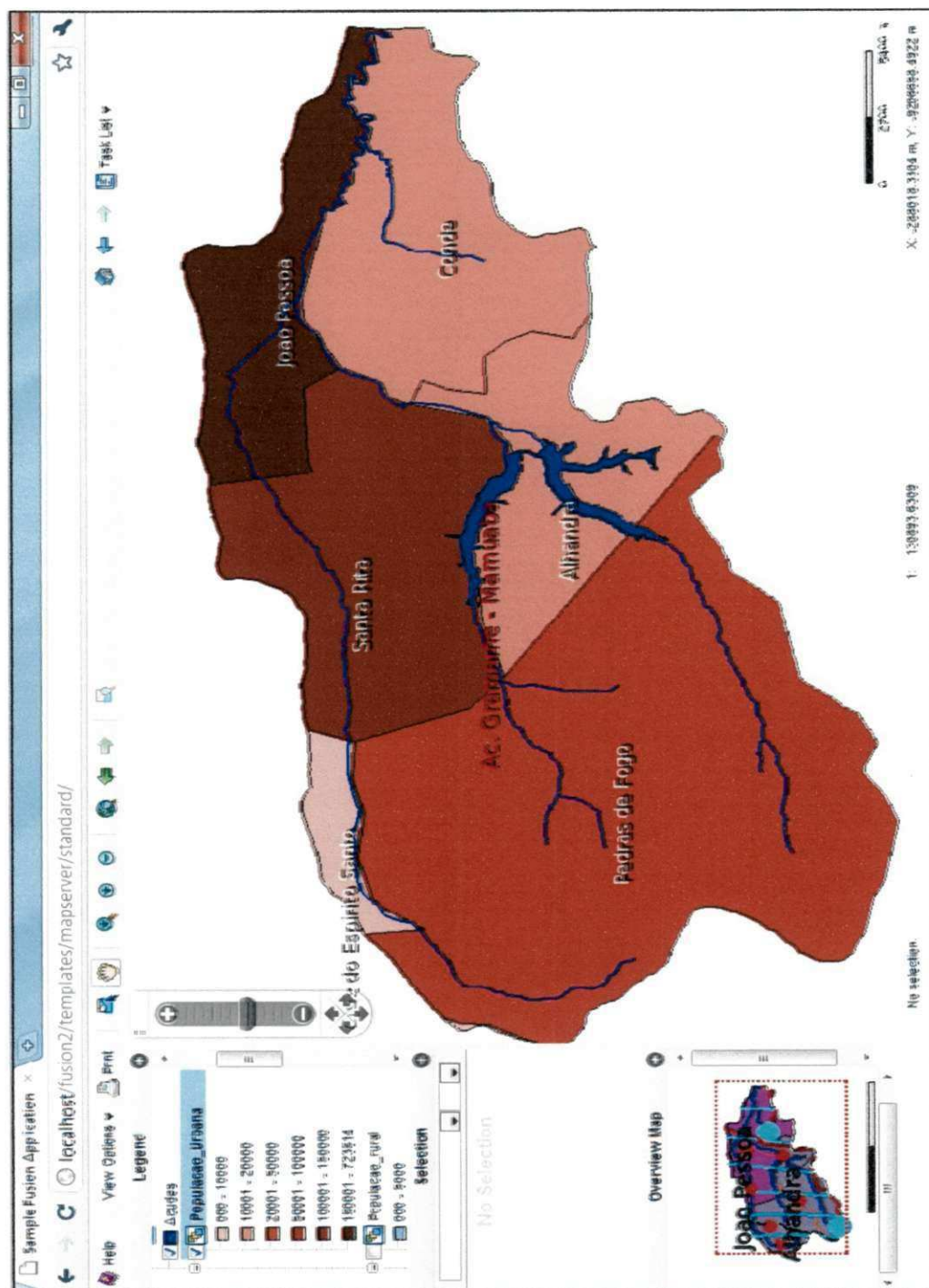
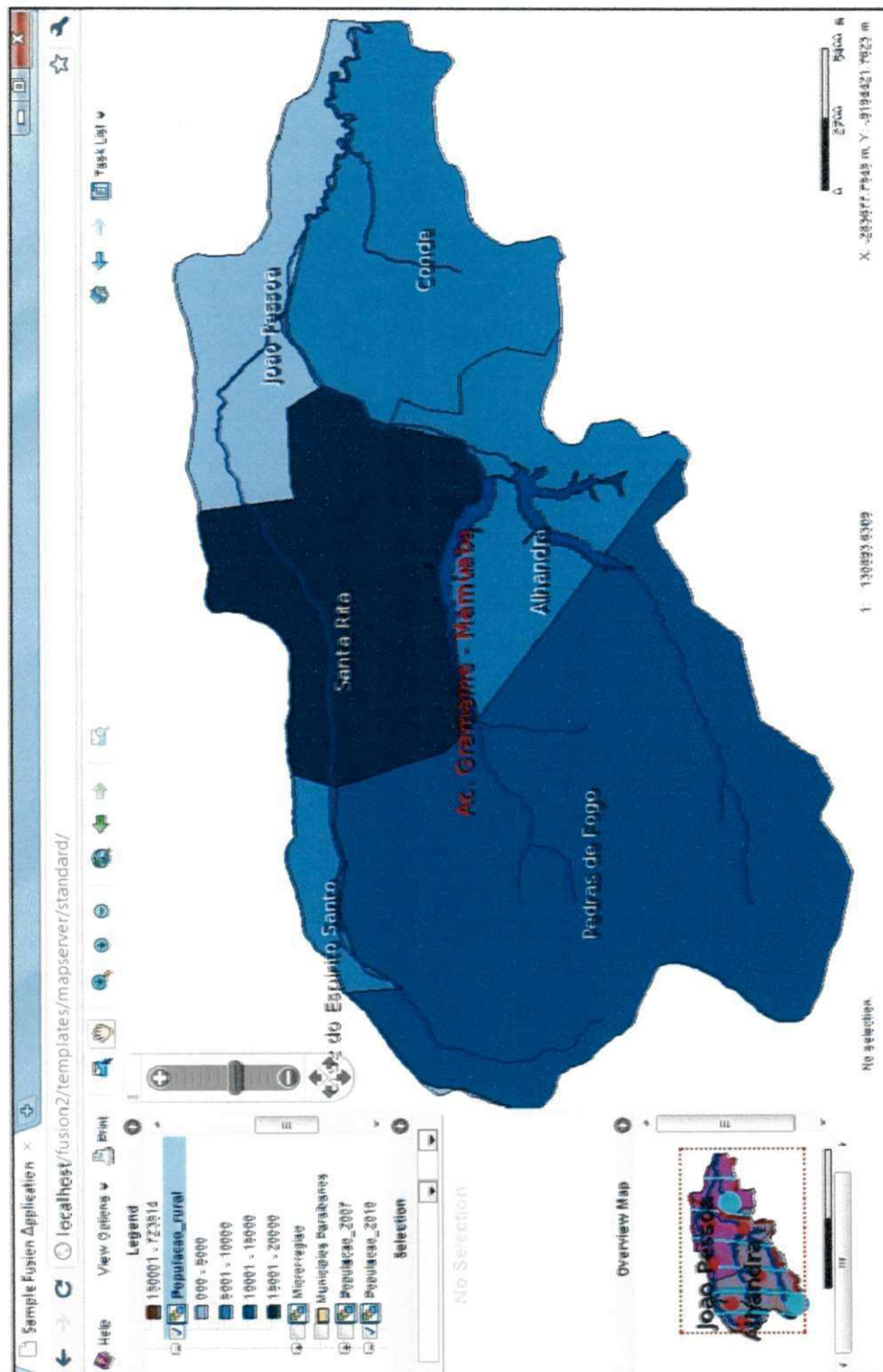


Figura 34 - Mapa de população rural por município no ano de 2010.

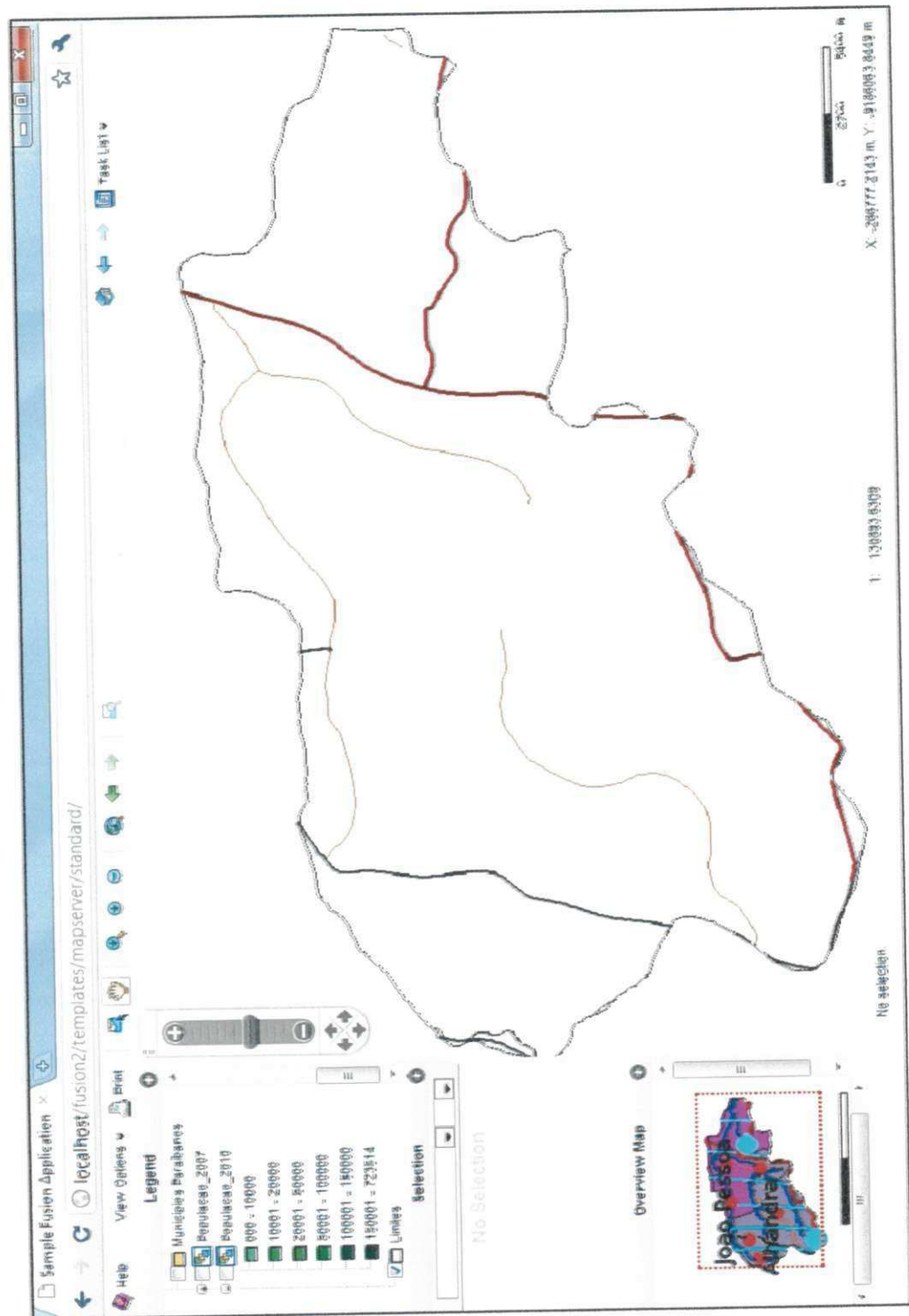


Estas são apenas algumas das inferências obtidas ao se analisar estes mapas. O mesmo dado espacializado pode retornar diferentes informações para também diferentes níveis de usuários (estudantes, pesquisadores, gestores, etc).

A razão de não disponibilizar estas informações apenas no formato tabular ou na forma de infográficos está intimamente relacionada com as vantagens da tematização espacial. Uma vez que, embora as tabelas e gráficos atendam bem à necessidade de informar, por exemplo, qual a cidade com maior população total urbana e/ou rural, estes apresentam limitações quanto à visualização do fenômeno analisado, principalmente para um interessado que talvez não conheça certos detalhes da área estudada. Outra vantagem oferecida pela espacialização é que ela torna possível a análise topológica. Esta visão apenas os mapas podem oferecer.

Segundo o IBGE, a divisão municipal da Paraíba também pode ser classificada em 4 (quatro) mesorregiões e 23 (vinte e três) microrregiões geográficas. Neste sentido, percebe-se que há interesse dos usuários da aplicação na geração de mapas temáticos correspondentes a esta subdivisão. Porém, como toda a área da bacia hidrográfica do Rio Gramame-Mamuaba está localizada na mesorregião da zona da mata, foi feito apenas o mapa temático para a microrregiões geográficas, na bacia hidrográfica em estudo encontra-se três microrregiões, são elas João Pessoa, Sapé e Litoral Sul, a Figura 36 a seguir mostra a quais destas microrregiões as cidades pertencem.

Figura 36 - Rodovias de acordo com o tipo de pavimentação.



A Tabela 8 abaixo expõe os dados da camada de rodovias, que serão disponibilizados na aplicação.

Tabela 7 – Dados da tabela de rodovias.

COLUNAS	ATRIBUTOS
Gid	Código
Nomerodov	Nome da Rodovia
Codrodov	Código da Rodovia (PB 108, BR 230)
Trecho	Referencia da Localização do Trecho. Ex. Divisa PB/RN – Divisa PB/PE
ExtKm	Extensão do Trecho em Quilômetros
SitFisica	Situação Física da Rodovia
The_geom	Dados Georeferenciados.

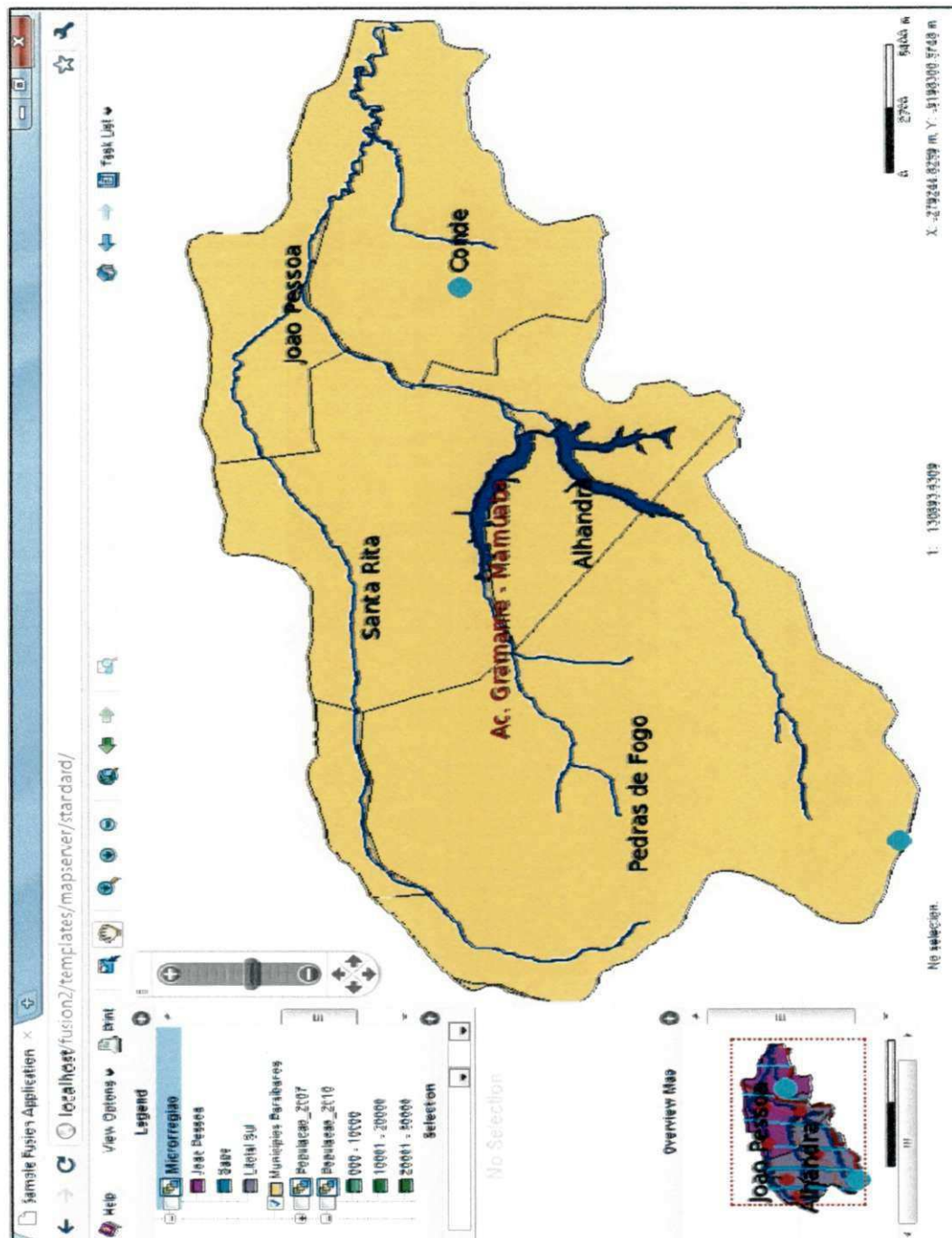
5.4 DEMAIS CAMADAS

Além das camadas citadas acima, também foram criadas várias outras camadas como, por exemplo; Sedes municipais, Postos Pluviométricos, Pluviometria, Drenagem e limites.

5.4.1 Sedes Municipais

A camada referente às sedes municipais está representada topologicamente por pontos ilustrados na cor ciano, como exposto na Figura 38 abaixo.

Figura 37 - Localização das sedes municipais.



...o se observar o mapa pode se notar que, mesmo a área da bacia compreendendo seis municípios, apenas os pontos representativos das sedes de dois deles aparecem no mapa (Conde e de Pedras de Fogo). Isto ocorre pelo fato de alguns municípios não estarem com sua área totalmente compreendida pela área da

bacia. Assim sendo, suas respectivas sedes municipais também podem estar fora da área da bacia.

Os dados que estão armazenados no banco de dados e serão disponibilizados nesta camada da aplicação estão expostos na Tabela 9 abaixo.

Tabela 8 - Dados da tabela de sedes municipais.

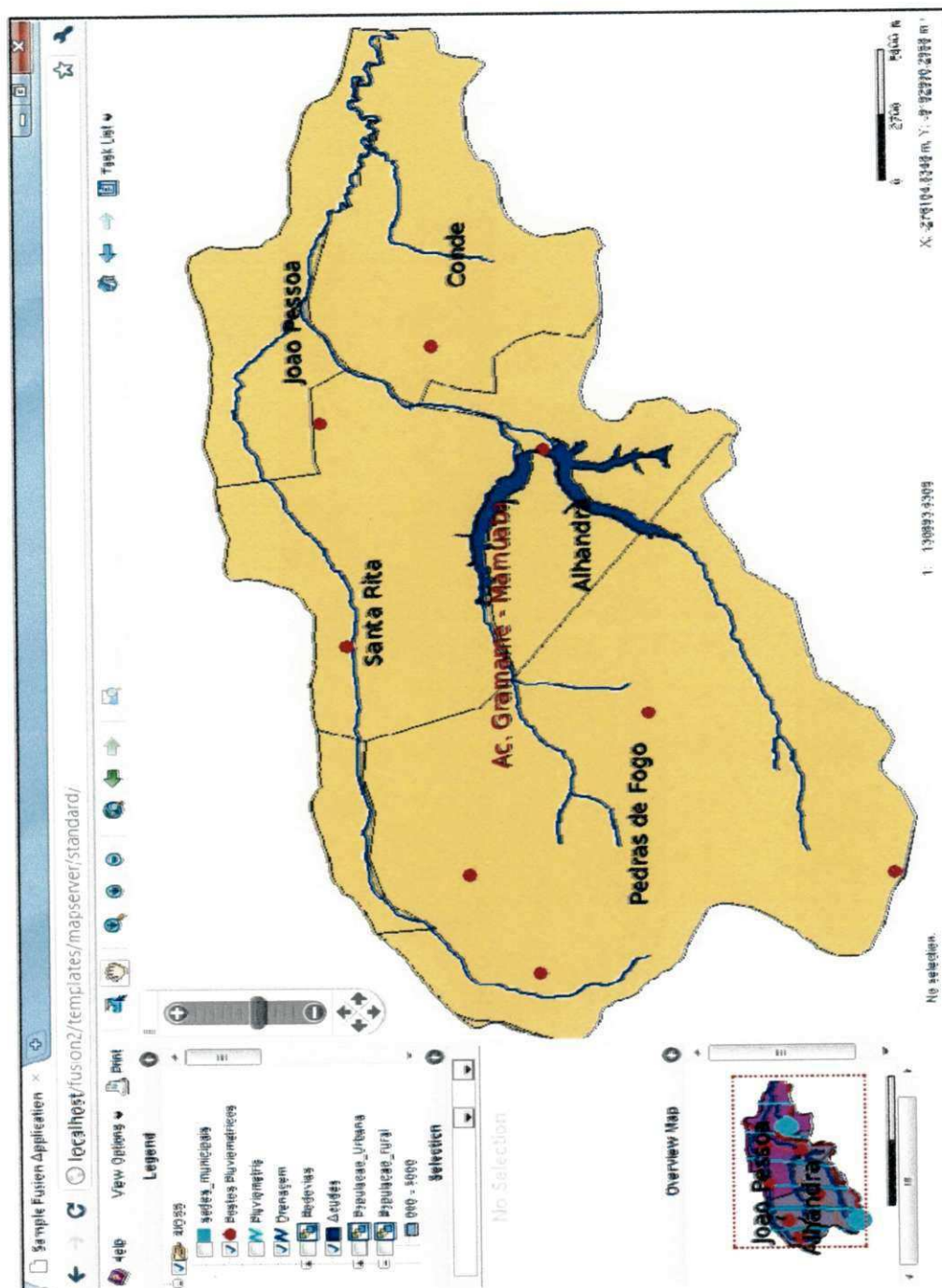
COLUMNAS	ATRIBUTOS
Gid	Código
Latitude	Latitude do ponto
Longitude	Longitude do ponto
Codigo_IBGE	Código do IBGE
Nome	Nome do município
The_geom	Dados georeferenciados

A coluna com o código do IBGE possibilita a junção desta tabela com as outras tabelas com informações referentes aos municípios, já o campo Gid é utilizado para fazer a junção desta tabela com as tabelas provenientes do SSD.

5.4.2 Postos Pluviométricos

A exemplo da camada referente às sedes municipais, a camada alusiva aos postos pluviométricos também esta representada topologicamente em pontos de cor vermelha como exposto na Figura 39 a seguir.

Figura 38 - Localização dos postos pluviométricos.



Os dados que estão armazenados no banco de dados e serão disponibilizados nesta camada da aplicação estão expostos na Tabela 10 abaixo.

Tabela 9 - Dados da tabela de postos pluviométricos

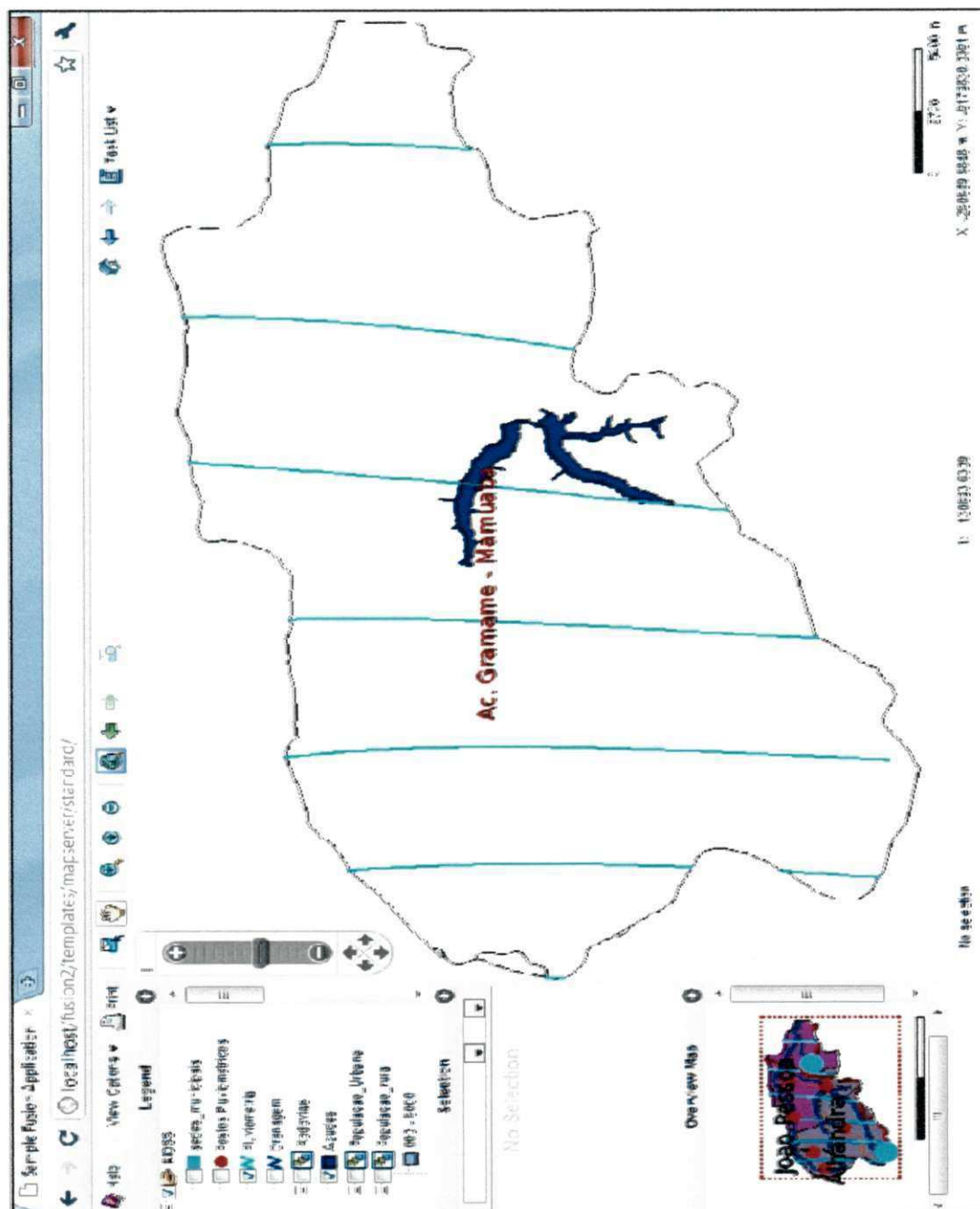
COLUNAS	ATRIBUTOS
Gid	Código
Estação	Latitude do ponto
X	Longitude do ponto
Y	Código do IBGE
The_geom	Dados georeferenciados

A coluna *Gid*, que se trata do identificador único desta camada, servirá para unir esta camada com as séries históricas de dados pluviométricos. E o mapeamento da rede de postos pluviométricos nos oferece uma ideia da distribuição espacial destes na bacia hidrográfica, e demonstra claramente a inexistência de postos em algumas áreas, que acaba por prejudicar algumas análises mais detalhadas. Ainda assim estes dados poderão ser utilizados para varias finalidades como; calibragem e validação de modelos hidrológicos, geração do polígono de *Thiessen* para a obtenção da média da precipitação na região, etc.

5.4.3 Pluviometria Média

A camada referente à pluviometria média na bacia está representada topologicamente em forma de linhas exibidas na cor ciano, como exposto na Figura 40 abaixo.

Figura 39 - Linhas com pluviometria média.



Os dados que estão armazenados no banco de dados e serão disponibilizados nesta camada da aplicação estão expostos na Tabela 11 abaixo.

Tabela 10 - Dados da tabela de pluviometria média.

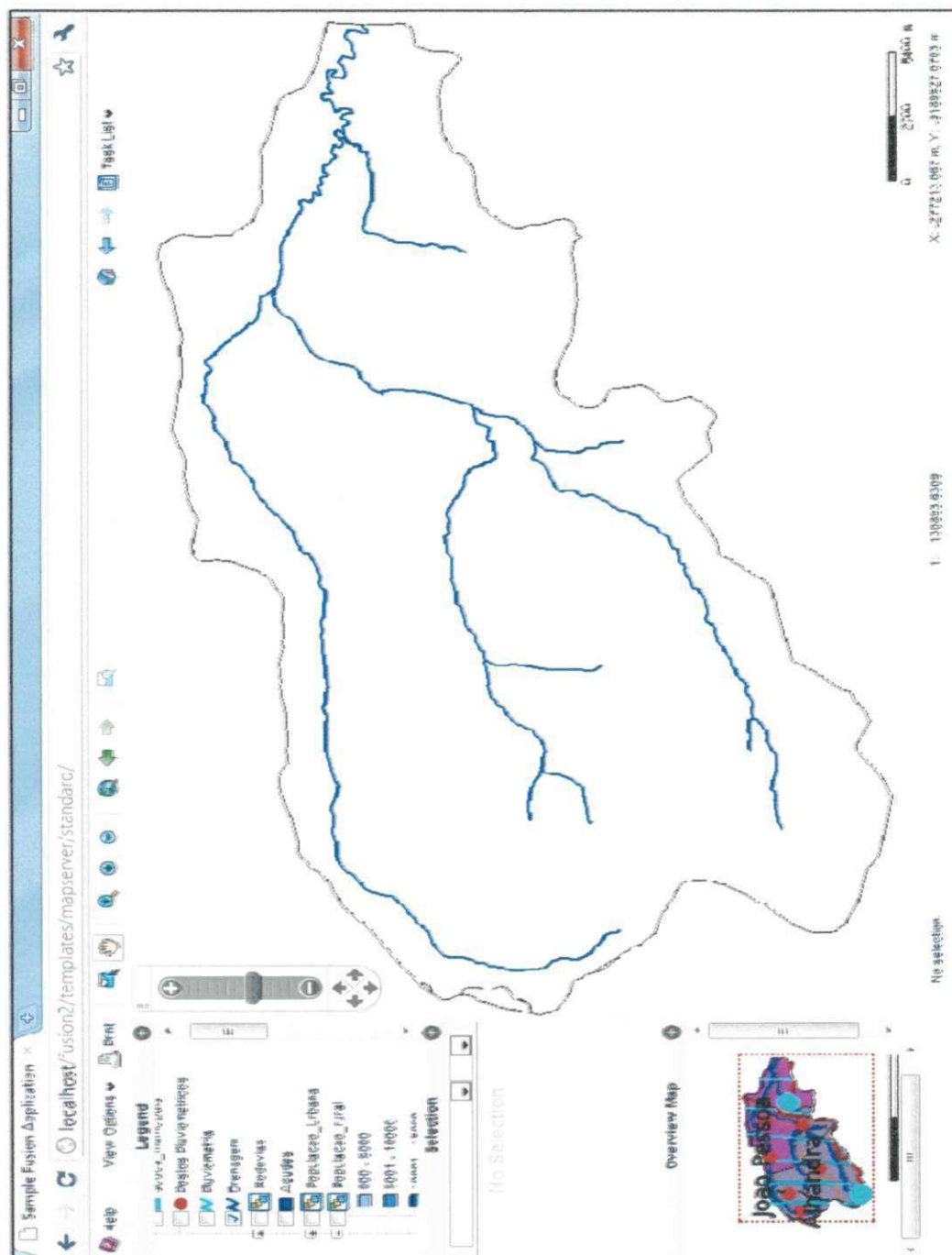
COLUMNAS	ATRIBUTOS
Gid	Código
Estação	Nome da estação de onde foram extraídos os dados
Pluviom_mm	Pluviometria media em milímetros
The_geom	Dados Georeferenciados

A ilustração gráfica de maneira especializada da média pluviométrica é muito útil para a população da área, os estudantes e os gestores, pois possibilitam diversas interpretações destes dados, como a média das chuvas em um determinado intervalo de tempo, explicação para um possível baixa no nível do reservatório e posterior desabastecimento, etc.

5.4.3 Drenagem

A camada referente à drenagem da bacia, esta representada topologicamente em forma de linhas na cor azul, como exposto na Figura 41 a seguir ilustrada.

Figura 40 - Drenagem da Bacia hidrográfica.



Os dados que estão armazenados no banco de dados e serão disponibilizados nesta camada da aplicação estão expostos na Tabela 12 abaixo.

Tabela 11 - Dados da tabela Drenagem.

COLUNAS	ATRIBUTOS
Gid	Código
Nome	Nome do Rio
Ordem	Ordem do Rio
Domínio	Domínio do Rio
Cod_Rio	Código do rio
Cod_Trec	Código do trecho do rio
The_geom	Dados georeferenciados

Os resultados das operações realizadas no ORNAP que tiverem por objeto de estudo os rios, riachos e córregos, poderão ser associados a os dados espaciais para posterior disponibilização no SIGWEB, através do código do rio quando o objeto de estudo for o rio em sua totalidade ou poderá ser utilizado o código do trecho quando o objeto de estudo for apenas um ou mais trechos.

Conforme mostrado anteriormente, foram elaborados diversos mapas temáticos interativos de cada tema abordado no sistema, permitindo-se conhecer melhor os aspectos referentes às áreas hidrológicas, ambiental e territorial da Bacia hidrográfica estudada.

O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são as funções que realizam análises espaciais. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros (Câmara et al, 1996).

Como os mapas temáticos foram inseridos dentro do ambiente de um SIG na internet, o sistema desenvolvido permite a realização de análises e consultas para obtenção de novos mapas temáticos a partir, por exemplo, do cruzamento de mais de um mapa, reclassificação das classes presentes em um mapa, seleção de atributos alfanuméricos, etc.

Este é o grande diferencial deste aplicativo, pois utiliza e ilustra informações espaciais e não espaciais integrando-as dentro de um mesmo sistema desenvolvido para um ambiente web e em sua totalidade utilizando software livres, o que agrega

mais conhecimento em um único aplicativo de maneira didática e de fácil interpretação.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões e as recomendações acerca do desenvolvimento dos módulos de banco de dados espacial e da aplicação *Webmapping* do ORNAP.

6.1 CONCLUSÃO

A tecnologia de *Webmapping*, por meio de servidores de mapas, é uma tecnologia já ao alcance de todo projeto de geoprocessamento, sem custo de programas e com baixos custos operativos, só derivados da implementação e manutenção do servidor *HTTP*.

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma aplicação *Webmapping* para possibilitar a visualização espacializada de informações pertinentes a um sistema de suporte a decisão voltada aos recursos hídricos através da utilização de um sistema de banco de dados com suporte espacial, que possibilitou a integração das informações espaciais (SIG) e alfanuméricas (SSD). A metodologia aplicada correspondeu às expectativas, atendendo de forma satisfatória aos objetivos propostos.

É importante ressaltar que a ferramenta de disponibilização de dados de forma gratuita na internet é um instrumento importante da democratização da informação. Neste contexto, este trabalho surge com uma inovação no sentido de disponibilizar a informação via *web*, possibilitando também a manipulação de dados via *web*.

A concepção do sistema permite o manuseio de qualquer tipo de informação georreferenciada, tais como: pontos, linhas, polígonos e imagens. Não se faz necessário um treinamento específico para a sua utilização por ter sido desenvolvido em interface de navegador de Internet, o que reduz o tempo de treinamento aos usuários, haja vista que é uma tecnologia que a maioria já possui conhecimento.

A tecnologia empregada no desenvolvimento do sistema permite que seja utilizado em qualquer tipo de navegador de páginas *HTML* previamente instalado no computador do usuário, como por exemplo, o *Mozilla Firefox* e o *Google Chrome*,



não necessitando da aquisição de licenças de nenhum *software* específico. Portanto, possui portabilidade e interoperabilidade devido ao uso de aplicações de Internet.

No âmbito dos *softwares* utilizados, tanto o *Mapserver* quanto o *postgreSQL/PostGis* são livres, o que não representou custo com aquisição dos mesmos. Esses *softwares* não mostraram limitação em relação aos objetivos propostos neste trabalho, abrindo um conjunto de possibilidades de inovações e de criação de novas ferramentas.

A disponibilização dos resultados do SSD em um SIG possibilita ao usuário visualizar estes resultados distribuídos espacialmente e em forma de mapas temáticos, o que torna mais fácil a compreensão dos resultados em comparação aos resultados disponibilizados apenas em forma de tabelas.

Um problema encontrado refere-se à tomada de tempo e aos altos custos, que tornaram a aquisição de dados georeferenciados uma das principais dificuldades na implementação da aplicação *Webmapping*.

Foi identificada a possibilidade de lentidão no acesso aos dados, o qual depende fundamentalmente da capacidade computacional do servidor de mapas, além da velocidade da conexão com a Internet/Intranet e o próprio volume de dados a se disponibilizar/visualizar. No desenvolvimento deste módulo do ORNAP esse problema foi solucionado utilizando um computador adequado. Neste caso, o acesso passa a depender apenas da velocidade da conexão e da quantidade de conexões ao sistema.

A utilização de SIG se mostra uma poderosa ferramenta a ser utilizada na área de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, seja integrada a modelos hidrológicos, seja a sistemas de suporte a decisão ou apenas na propagação da informação.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Do mesmo modo que as tecnologias evoluem, especialmente as relacionadas com o geoprocessamento (mais especificamente os SIG's), há a necessidade de se fazer evoluir também os métodos e procedimentos que viabilizam a utilização desse tipo de informação por um público cada vez maior, exigente e não necessariamente especializado para tal. Nesta conjuntura, enxerga-se várias evoluções possíveis e passíveis de serem desenvolvidas por trabalhos futuros

dentro do projeto ORNAP. Evoluções essas que foram evidenciadas pela metodologia aplicada e pela capacidade dos softwares utilizados nesta pesquisa, tais como:

- elaborar mecanismos de auxílio ao usuário mais detalhado, como por exemplo, Tutoriais e um *Help*;
- organizar e armazenar um banco de imagens de satélites, que possam ser visualizadas através do *Webmapping*;
- implementar outras funções do *MapServer* para a aplicação desenvolvida para o ORNAP, como por exemplo a criação de *buffer*, geração do polígono de *Thiessen* e alteração do sistema de coordenada;
- desenvolver ferramentas de consultas em relação às camadas, como por exemplo consultar açudes por nome ou por volume, cidades por nome ou população, perímetros irrigados por tipo de cultura ou demanda hídrica etc.

É importante ressaltar que para o desenvolvimento destas novas funções se faz necessário a utilização de outras tecnologias integradas as quais foram utilizadas neste trabalho, como por exemplo, *Java*, *JavaScript*, *PHP*, *Ajax*, *JSP*, *JSF*, *XML* etc.

O fato de se trabalhar com os dados armazenados em um banco de dados possibilita uma maior facilidade na manutenção dos dados além de uma maior organização e segurança.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência nacional de águas. **Hidro WEB – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 12 nov 2010.

AESA - Agencia executiva da gestão das águas do estado da Paraíba. **Geoportal AESA**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal>>. Acesso em: 12 mai 2010.

ALBUQUERQUE, A. S. O.; FARIAS, S. R. A.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Avaliação do Potencial de Atendimento de uma Área Passível de Irrigação de 10 000 há pelo Reservatório de Jataúba - PE. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 15, Curitiba, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003. CD-ROM.

ALMEIDA, M. A.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Estimativa de Variações no Desempenho Otimizado de um Sistema Hídrico para o Semi-Árido Paraibano para Diferentes Cenários Climáticos, Fontes Hídricas e de Funções Objetivo. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 14., 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. CD-ROM.

ALMEIDA, C. N.; ROEHRIG, J.; WENDLAND, E. C. Integração de Modelos de Simulação a Sistemas de Informações Geográficas Livres: o Caso do modelo AÇUMOD e do OPENGIS JUMP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 2255-2262.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão**. 2 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ANDRADE, P. R. G. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Otimização da Operação do Sistema Hídrico Jucazinho – Carpina para Múltiplos Usos Via Modelo de Programação Não-Linear. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. CDROM.

ANDRADE, P. R. G. S., CURI, W. F., CURI, R. C. ORNAP na Otimização d Receita de Três Perímetros Irrigados Abastecidos por Dois Reservatórios Conectados em Série. In: **Revista Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, Joticabal: SBEA, 2002, p. 22-32.

ANDRADE, P. R. G. S. **Estudo para Alocação Ótima das Águas de um Sistema de Reservatórios em Série e em Paralelo, para Usos e Objetivos Múltiplos, na Bacia do Rio Capibaribe, Pe**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande: 2006.

APPLETON, B. **Patterns and software: Essential concepts and terminology**. URL: <http://www.cmcrossroads.com/bradapp/docs/patterns-intro.html>, 1997.

ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: a Management Perspective**. Ottawa:WDL, 1989.

ASSAF, H.; SAADEH, M. Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system. In: **Environmental Modelling & Software**. n. 23, 2008, p. 1327 – 1337. Disponível em: <<http://www.weap21.org/downloads/WQLitani.pdf>>. Acesso em: 10 nov 2010.

AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L.; FILHO, K. Z. Modelos de simulação e de redes de fluxo, In: **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS: ABRH, 1997. p.164-237.

AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; PORTO, M. Sistema de Apoio à Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da água: Metodologia e Estudo de Caso. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Salvador: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v.3, n. 1, 1998, p. 21-51.

AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. **Programa MODSIM** - Modelo de rede de fluxo de bacias hidrográficas para microcomputador. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP): São Paulo, 1999.

BARBOSA, D. L.; RODRIGUES, A. C. L.; BARBOSA, E. M.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Vazão Ecológica – Metodologias Aplicadas e Estudo de Caso. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa:ABRH, 2005. CD-ROM.

BARTH, F. T. Fundamentos para a Gestão dos Recursos Hídricos. In: **Modelos para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo: NOBEL/ABRH., 1987. p. 1-91. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1)

BRAGA, B. P. F. Técnicas de Otimização e Simulação Aplicadas em Sistemas De Recursos Hídricos. In: **Modelos para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo: NOBEL/ABRH, 1987, p. 427-518.

BRASIL. Lei N°9.433 de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 14 jul 2010.

BURROUGH, PA. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G.R.; CASANOVA, M. **Banco de Dados Geográficos**. São Paulo: MundoGEO, 2005.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Curitiba, SAGRES, 1997.

_____. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.

CARLSSON, C.; TURBAN, E. DSS: **Directions for the next decade**: Decision Support Systems 33. Elsevier, 105–110. 2002. Disponível em: <

<http://www.inta.gov.ar/bariloche/desarrollo/gesrural/trabajos/ssd/Bibliografia/SSD/SSD%20Proyecci%C3%B3n%20y%20Futuro/DSS%20directions%20for%20the%20next%20decade.pdf>. Acesso em: 21 ago 2010.

CARRON, J.; ZAGONA, E.; FULP, T. Modeling Uncertainty in an Object-Oriented Reservoir Operations Model. **Journal of Irrigation & Drainage Engineering**. Reston: ASCE, 2003.

CELESTE, A. B. **Determinação e Análise de Indicadores de Desempenho e de Sustentabilidade de Seis Açudes na Bacia do Rio Piancó-PB e de Suas Potenciais Demandas**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

CELESTE, A. B., CURI, W. F., CURI, R. C. Otimização de Modelagens de Alternativas de Esvaziamento de um Sistema de Reservatórios na Bacia do Rio Piancó. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7, 2004. São Luís. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004. CD-ROM.

CHRISMAN, N. **Exploring Geographic Information Systems**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

COLAS, N.; HOUSTON, B.; WARNECKE, L., BROWER, R. **Internet-Based GIS for Local Government A Non-technical Guide to Planning and Implementing an Online Geographic Information System**. Cayuga: County Planning Department, 2000.

COOMES, R.T. Regulation of Arkansas Basin Reservoir. **The National Workshop on Reservoirs Systems Operations**, University Of Colorado, Boulder, Colorado, 1979, p. 254-265.

COUTO, M. **P.Mapper Framework**. 2009. Disponível em: <<http://geognu.blogspot.com/2009/08/pmapper-framework-phpmapsript.html>>. Acesso em: 15 jun 2011.

CUNHA, R. G. L. **Operação Integrada do Reservatório Engenheiro Arco Verde, Poços Amazonas e Perímetro Irrigado de Condado – PB: Utilizando-se de Programação Linear**. 1999, 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande: 1999.

CURI, W.F. ; CURI, R.C., **Notas de aula da disciplina de Otimização em Sistemas de Recursos Hídricos**. UFCG: Curso de Doutorado Temático em Recursos Naturais, 2008.

CURI, W. F; CURI, R.C. CISDERGO – Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. CD-ROM.

CURI, W. F.; CURI, R.C. ORNAP - Optimal Reservoir Network Analysis Program. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. CD-ROM.

DAHLQUIST, G.; BJORCK, A. Numerical Methods. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1974, 197a. 592p.

DAI, T.; LABADIE, J. River basin network model for integrated water quantity/quality management. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Reston: ASCE 127(5), p. 295-305, 2001.

DATE, C. J. **Introdução a Sistemas de Banco de Dados**. 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

_____. **An introduction to database Systems**. 3 ed. Reading: Addison-Wesley. 1981.

DOCUMENTAÇÃO DO POSTGRESQL 8.0.0. **The PostgreSQL Global Development Group** Tradução de Halley Pacheco de Oliveira. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://ftp.unicamp.br/pub/apoio/postgresql/pgdocptbr800-1.2.pdf>. Acesso em: 16 set 2010.

DUBREUIL, P. **Iniciation a L'analyse Hydrologique: Dix Exercises Suivies des Corrigees**. Paris: Masson & Cia./ORSTOM, 1974.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Web Gis na Embrapa Monitoramento por Satélite: Interação de Arquitetura e Tecnologia da Informação para Disseminação de Geoinformação na Internet**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/doc36_webgis04.pdf>. Acesso em 07 jul 2010.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Fundamentals of Data Base System**. 2.ed. Menlo Park: Addison-Wesley, 1994.

ESCHENBACH, E. A.; MAGEE, T.; ZAGONA, E.; GORANFLO, M.; SHANE, R. Goal Programming Decision Support Systems for Multiobjective Operation of Reservoir Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Reston: ASCE. v. 127, n. 2, p. 108-120. Mar/Abr, 2001.

EVANSON, D. E.; MOSELEY, J. C. Simulation/Optimization Techniques for Multi-Basin Water Resource Planning. **Water Resource Bulletin**. Honolulu: Commission on Water Resource Management, Department of Land and Natural Resources, v. 6, n.5, p. 125-736, 1970.

FAYAD, M. E., SCHMIDT, D. C. **Object-oriented Application frameworks**. Communications of the ACM, Vol. 40, 10 p., 1997.

FILHO, J.; IOCHPE, C. Modelagem de Bancos de Dados. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 20, 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001.

FINLAY, P. N. **Introducing decision support systems**. Oxford: Blackwell Publishers, 1994.

FLAUZINO, F.; SILVA, M.; NISHIYAMA L.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Cerrado Mineiro. **Revista Sociedade e Natureza**. Minas Gerais: EDUFU, n. 22, p. 75-91, 2010.

HOUCK, M. H. Real-Time Daily Reservoir Operation by Mathematical Programming. **Water Resources Research**. Washington: AGU, v. 18 n. 5, p. 1345-1351. 1982.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Paraiba.pdf>. Acesso em: 30 jan 2011.

KARAMOUZ, M.; HOUCK, M. H.; DELLEUR, J. W. Optimization and Simulation of Multiple Reservoir Systems. **Journal Water Resource Planning & Management**. Reston: ASCE , v. 118, n. 1, p. 78-81, 1992.

KANEGAE, Eduardo Patto. **Democratizando a geoinformação através do Webmapping**. Jun 2006. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=48&lang=pt_BR>. Acesso em: 01 jun 2010.

LABADIE, J. W. Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-Of-The-Art Review. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Reston: ASCE, v. 130. n. 2, p. 93-11, 2004.

LABADIE, J.W., PINELA, A. M., BODE, D. A. **A network analysis of raw water supplies under complex water rights and exchanges**: Documentation for Program MODSIM3, Colo. Water Resource. Res. Inst., Colo. State Univ., Fort Collins. March, 1984.

LANNA, A. E.. Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos. In: PORTO, R. L (Org). **Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS/ABRH, 1997.

LIMA, C. A. G. **Análise e Sugestões para Diretrizes de Uso das Disponibilidades Hídricas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, Localizada no Estado da Paraíba**. 2004, 274 f. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 2004

LIMA, G. **Aplicação de Simulação Computacional na Análise dos Conflitos Entre os Usos Múltiplos da Água na Bacia do Rio Atibaia no Estado de São**

Paulo. 2002, 141 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo -Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

LIMA, G.; PEIXOTO, L. S.; MAUAD, F.F., Modelos de simulação no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 14, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001.

LIMA, H. V. C., LANNA, A. E. L. Modelos para Operação de Sistemas de Reservatórios: Atualização do Estado da Arte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, v.10, n. 3, p.5-22, 2005.

LIMA, H. V. C.; LANNA, A. E. L. Operação Otima de Sistemas de Reservatórios: Aplicação ao Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.14, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. CD-ROM.

MARAKAS, G. M. **Decision Support Systems in 21st Century**. 2 ed.: Prentice Hall, 2003.

MATEUS, G. R.; LUNA, H. P. C. **Programação Não Linear**. Belo Horizonte: UFMG, 1986.

MEDEIROS, A. **Geoprocessamento e suas Tecnologias – parte 2**. 2010. Disponível em: <http://blog.geoprocessamento.net/2010/01/geo-esuas-tecnologias2/>. Acesso em: 27 mai 2010.

MELO JR, J. B. **SIG. Internet e Aplicações em Cadastro Urbano**. Monografia (Especialização em Sistemas de Informação). 2002, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife, 2002.

MELO, D. M., CURI, R. C., CURI, W. F., LIMA, C. A. G. Avaliação dos Efeitos de Variação das Condições Iniciais no Processo Otimizante do Reservatório de Saco de Nova Olinda - PB. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7, 2004, São Luís: **Anais...** São Luís: ABRH , 2004. CDROM.

MIRANDA, J. I.; SOUZA, K. X. S. Como Publicar Mapas na Web. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p. 349-355.

Miranda, R. A. V.; Baptista, C. S.; Almeida, R. R.; Catão, B.; Pazinatto, E. iGIS: um Framework para Sistemas de Informações Geográficas em N-Camadas usando um SGBD Objeto-Relacional. In **Brazilian Symposium Geoinformatics, 2002**, Caxambú: **Anais...** Caxambú: GeoInfo: Caxambú, 2002. CDROM.

MOTA, J.C.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C.; LOPES, I. V.; CURI, W. F. Desenvolvimento de uma aplicação com a finalidade de manter uma base de dados aplicada a um sistema de suporte a decisão em recursos hídricos. In: **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**. Espírito Santo de Pinhal: UniPinhal, v. 8, n.1, p.246-263, jan/mar, 2011a.

MOTA, J.C.; CURI, W.F.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C. Desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos em Nível de bacia hidrográfica. In **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró: VGAA, v. 6, n. 1, p. 201-215, jan/mar, 2011b.

MUJUMDAR, P. P.; RAMESH, T. S. V. Real-Time Reservoir Operation for Irrigation. **Water Resource Resarch**. Washington: AGU, v. 33 n. 5, p. 1157-1164, 1997.

NETO, F. D. F.; et al. Uso dos Sistemas de Informações Geográficas na Determinação das Características Físicas de uma Bacia Hidrográfica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 2581-2588.

NOUVELOT, J. F. & FERREIRA, P. A. S. **Bacia Representativa do Riacho do Navio** - Série Hidrologia. n. 4. Recife: SUDENE, 1977.

PERERA, B. J. C., CODNER, G. P. Reservoir Targets for Urban Water Suplpy Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Reston: ASCE, v. 122, n. 4, p. 270-279, 1996.

PEUQUET, D. J. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. **International Journal of Geographic Information Systems**, London, v.9, n.1, p.7-24, 1995.

PARMA, C. G. Mapas Cadastrais na Internet: Servidores de mapas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis: **Anais....** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1311-1319.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de Suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. In: PORTO, R. L. L. et al (Org) **Técnicas Quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002. p. 43-95.

PORTO, R. L. L.; MÉLLO Jr, A. V.; ROBERTO, A. N. **AcquaNet: Arquitetura, Estratégias e Ferramentas**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa - PB: **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. CD ROM

PORTO, R. L. L. et al. Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos, In: SILVA, R. C. V.; et al. **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 6**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2003, p. 93 – 240.

POWER, R. Testing Geospatial Data base Implementations for Water Data. In: 18th World IMACS/MODSIM Congress, 18, 2009, Cairns. **Anais...** Cairns, Australia: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, 2009, p. 4374-4380.

RIGHETTO, A. M., FILHO, J. A. G. Utilização Ótima dos Recursos Hídricos Superficiais do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, vol. 8, n. 2, p. 19-29, 2003.



ROS, D. A.; BARROS, M. Estratégias Operacionais de Sistemas Hidroenergeticos: Impactos de Diferentes Objetivos. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2003. CD-ROM.

SANTOS, V. **Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistemas de Recursos Hídricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina grande - UFPB, Campina Grande: 2007.

SCIENTEC/UFPB. Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. **Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame**. Volumes 1, 2, 3 e 4. Paraíba. Brasil, 2000.

SHELTON, R. A. Management of TVA Reservoir Systems. **The National Workshop on Reservoir Systems Operations**, University Of Colorado, Boulder, Colorado, p. 13-17, 1979.

SIGVALDASON, O. T. A Simulation Model for Operation a Multipurpose Multireservoir System. **Water Resources Research**. Washington: AGU, v. 12, n. 2, p. 263-278, 1976.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados**. São Paulo: MAKRON Books, 1999.

SILVA, L. F. G. **Uso integrado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos na Bacia do Arroio Capané – RS: uma proposta de análise por geoprocessamento**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade do Vale do Rio Sinos – UNISINOS, Rio Grande do Sul, 2005.

SILVA, W. A. da; CARVALHO, D. F.; VARELLA, C. A. A. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007.

SILVA, C. A. B. **Estudo da Otimização do Uso dos Recursos Hídricos dos Açudes Santa Inês, Condado, Serra Vermelha I, Piranhas, Vídeo, Vazante e Poço Redondo na Bacia do Rio Piancó**. 2004. 160P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e ambiental) Universidade Federal de Campina Grande – UFPB, Campina Grande, 2004.

SIMONOVIC, S. P. Reservoir System Analysis: Closing Gap between Theory and Practice. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Reston: ASCE, v. 118, n. 3, p. 262-280, 1992.

SOARES Jr., A. ; RUFINO, I. A. A.; ALMEIDA, C. N. Geocisa cabo verde: desenvolvimento de um sistema de informações geográficas em ambiente web. In: x Simpósio Regional De Recursos Hídricos Do Nordeste, 10, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRH, 2010. CD ROM

SRH. Secretaria de Recursos Hidricos. **Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado do Ceara**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>>. Acesso: 8 Jul 2010.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Dados Climatológicos Básicos do Nordeste**. Recife: SUDENE, 1984.

TURBAN, E. **Decision support and expert systems: management support systems**. Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA. 1995.

TURBAN, E.; LIEBOWITZ, J. **Managing Expert Systems**. Iai Global. 1990.

UCHOA, H. N.; COUTINHO, R. J. C.; FERREIRA, P. R.; COELHO, L. C. T.; BRITO, J. L. N. S. Análise do módulo PostGIS (OpenGIS®) para armazenamento e tratamento de dados geográficos com alta performance e baixo custo. **OpenGeo – Centro de Excelência em Tecnologias Livres**. Disponível em: <<http://www.opengeo.com.br/download/postgis-sbc-v13-06102005.pdf>>. Acesso em: 21 jan 2011.

UMBELINO, G.; SATHLER, D.; MACEDO, D.; Felipe, M. et al. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a preservação dos recursos hídricos e estudos de vulnerabilidade socioambiental. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 5541-5549.

VAREJÃO e SILVA, M. A. **Atlas Climatológico do Estado da Paraíba**. 2 ed. João Pessoa: Editora UFPB, 1987.

VIEIRA, A. **Um Modelo de Simulação Via Programação Linear Sequencial, para Sistema de Recursos Hídricos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande 2007.

WEAP - **Water Evaluation and Planning System - USER GUIDE for WEAP21** Stockholm Environment Institute - Boston Tellus Institute, Boston, MA – USA, 2001. Disponível em: <<http://www.seib.org/weap>>. Acesso em: .05 dez 2010.

WURBS, R. A. Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models. **Technical Report n. 282**. Texas: Texas Water Resources Institute, n. 282, 2005.

_____. Reservoir-System Simulation and Optimization Models. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Reston: ASCE, v. 119, n. 4, p.455-472, 1993.

WORBOYS, M.F. **GIS: A Computing Perspective**. London: Taylor and Francis, 1995.

YEH, W. W-G. Reservoir Management and Operation Models: a State-of-the-Art Review. **Water Resources Research**. Washington: AGU, v. 21, n. 12, p.1797-1818, 1985.

YOUNG, G. K., Jr. Finding Reservoir Operating Rules. **Journal Water Resource Planning & Management**. Reston: ASCE, v. 93, n. 4, p. 297-321, p. 1967.

ZEMEL, T. **O que é um framework: definição e benefícios de se usar frameworks.** 2009. Disponível em: <<http://codeigniterbrasil.com/passos-iniciais/o-que-e-um-framework-definicao-e-benefi...>> Acesso em: 15 jun 2011.

ÂPENDICE A: Vista parcial do arquivo *Mapfile*.

```

MAP # Inicio do arquivo
NAME'RIOSS' # Nome do Mapa
SIZE600 400 #Tamanho da Imagem no Browser
EXTENT259389 9180562 300763 9206573# Coordenadas do Retângulo Envolvente
da Área da Aplicação.
UNITSMeters # Unidades de Coordenadas UTM
FONTSET "etc/fontset.txt" #Localização dos Arquivos de Fonte.

PROJECTION # Projeção
'init=epsg:29185' # Codigo do Sistema de projeção Utilizado
END

WEB # Localização dos Arquivos Templates e das Imagens Temporárias
TEMPLATE"template.html" # Localização do Template
IMAGEPATH"./tmp/" # Caminho Relativo das Imagens Temporárias
IMAGEURL"/tmp/" # Caminho Relativo do Endereço da Imagem
END

REFERENCE # Miniatura do Mapa para Navegação
IMAGE"img/ref.gif" Localizaçao da Imagem de Referência
SIZE300 200Tamanho da Imagem de Referência
EXTENT259389 9180562 300763 9206573 # Coordenadas do Retângulo
Envolvente da Imagem de Referência.
STATUSon
COLOR-1 -1 -1# Cor da Imagem de Referência
OUTLINECOLOR 255 0 0# Cor do Contorno da Imagem de referência
END

QUERYMAP
SIZE300 250
STATUSon
STYLEhilite
COLOR255 0 0
END

LEGEND# Legenda
IMAGECOLOR221 238 255
KEYSIZE12 10
STATUSON
LABEL
TYPEtruetype
FONT"vera"
COLOR 0 0 0
SIZE8
ANTIALIAS true
END
END

```

```

SCALEBAR # Barra de Escala
POSITION lr
INTERVALS5
STATUSembed
SIZE153 5
STYLE0
UNITSmeters
BACKGROUNDCOLOR255 255 255
IMAGECOLOR247 247 247
COLOR0 0 0
OUTLINECOLOR0 0 0
TRANSPARENToff
LABEL
COLOR0 0 0
ANTIALIAStrue
SIZEsmall
END
END

# Simbolo criado para mudar a espessura dos arcos
SYMBOL
NAME'linha'
TYPE ELLIPSE
POINTS
1 1
END
END

LAYER # Layer Utilizando uma Tabela do Banco de Dados
NAME'açudes'
TYPEPolygon
STATUSon
CONNECTIONTYPEpostgis # Estabelecimento do Tipo de Conexão
CONNECTION'dbname=postgis1 user=postgres host=localhost password=*****'
DATA "the_geom FROM açudes_tese USING UNIQUE gid USING SRID=29185"
CLASS # Classe de um Layer
NAME'Acudes' # Nome da Classe
COLOR0 0 255 # Cor de Preenchimento do Objeto do Layer
OUTLINECOLOR0 0 0 # Cor de Contorno do Objeto do Layer
END # Fim da Classe
END # Fim do Layer
END # Fim do Mapfile

```

ÂPENDICE B: Vista parcial do arquivo *Template*.

```
<html>
<head>
<title>MAPSERVER</title>
</head>
<body>
<h4>RIOSS</h4>
<form name="frm" method="get" action="[program]">
<input type="hidden" name="program" value="[program]">
<input type="hidden" name="map" value="[map]">
<input type="hidden" name="imgext" value="[mapext]">
<input type="hidden" name="imgxy" value="[center]">
<input type="hidden" name="zoomsize" value="2">
<input type="image" name="img" src="[img]" border="1">
<br>
</form>
</body>
</html>
```


ÂPENDICE D: Dados da camada Açudes.

COLUMNAS	ATRIBUTOS
gid	1
Nome	Ac. Gramame-Mamuaba
Executor	SUPLAN
Propriet	CAGEPA
Município	Alhandra
Microrreg	Litoral Sul
Mossorreg	Litoral Paraibano
Finalidade	Abastecimento
Area_Espelho	9360000
Alt_Barrag	-
Mat_Macico	-
Curso_Bar	Rio Gramame e Rio Mamuaba
Ordem	4
Vol_Morto	722000
Longitude	-34.9672
Latitude	-7.29623
Comprimento	1605
Curva_Cota	SIM
Org_Resp	CAGEPA
Fonte	SPRING
Capacidade	56937000
B_hidrografica	257.5
B_hidraulica	936
Tipo_vertedouro	-
Orig_Ficha	CAGEPA
Larg_Verte	50
Mat_Verte	-
Cot_Soleira	35
Cota_Minima	17
Cota_Porao	17
Inic_Construcao	1981
Conclusao	1990
Observação	Abastece Joao Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Varzea Nova. Existe uma barragem auxiliar do Rio Mamuaba
the_geom	Dados Georeferenciados