

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

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

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS NA
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE - PB

SARAH GOLZIO DOS SANTOS

Campina Grande
Data: FEVEREIRO - 2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

SARAH GOLZIO DOS SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS NA REDE
DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE-PB**

Campina Grande - PB
Fevereiro 2011

SARAH GOLZIO DOS SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE BACTÉRIAS
HETEROTRÓFICAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE
CAMPINA GRANDE-PB**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso
de Pós-Graduação em Engenharia Civil e
Ambiental da Universidade Federal de Campina
Grande – UFCG, em cumprimento às
exigências para obtenção do Título de Mestre.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof. Dr. Rui de Oliveira

Prof^ª. Dr^ª. Iana Alexandra Alves Rufino

Campina Grande - PB
Fevereiro 2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

S237d

Santos, Sarah Golzio dos.

Distribuição espacial de bactérias heterotróficas na rede de distribuição de água de Campina Grande-PB / Sarah Golzio dos Santos. — Campina Grande, 2011.

91 f. : il. col.

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

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Rui Oliveira, Profª. Drª. Iana Alexandra Alves Rufino.

1. Vigilância da Qualidade de Água. 2. Sistema de Informações Geográficas - SIG. 3. Bactérias Heterotróficas. I. Título.

CDU – 628.16(043)

SARAH GOLZIO DOS SANTOS

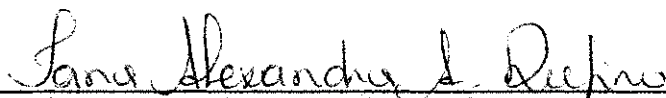
**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS NA
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE-PB**

Dissertação aprovada em 28 de fevereiro de 2011

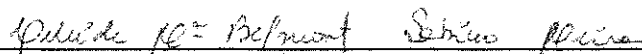
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Orientador



Prof.ª Dr.ª Iana Alexandra Alves Rufino
Orientadora



Prof.ª Dr.ª Celeide Maria Belmont Sabino Meira
Examinadora Interna



Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Junior
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que durante a elaboração deste trabalho contribuíram para a obtenção de informações e elaboração do mesmo, de maneira especial expresso meus agradecimentos:

- A Deus que tudo pode transformar com o seu grande amor, essência de todas as coisas e pelo dom da vida;
- Aos meus orientadores Dr. Rui de Oliveira e Dr^a. Iana Alexandra pelos ensinamentos, dedicação e motivação para que este trabalho obtivesse pleno êxito;
- As professoras Dr^a. Mônica de Amorim Coura, Dr^a. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Ruth Silveira do Nascimento e Andréa Carla Lima Rodrigues pela dedicação e conselhos proporcionados;
- A todos que compõem o grupo de pesquisa, pelo compromisso e apoio na realização das análises, sendo fundamentais para o êxito deste trabalho;
- Ao Conselho de Aperfeiçoamento e Pesquisa de Ensino Superior – CAPES, pelo apoio financeiro;
- Aos diretores e funcionários das escolas que serviram como pontos de coleta e monitoração dos indicadores, por disponibilizarem o local para a realização das análises;
- Aos colegas de Curso de Mestrado de Engenharia Civil pela convivência e estudos realizados ao longo do curso, em especial a Kaline, Suelen, Isaias, Allan e Roni.
- A todos meus familiares que acreditam na minha capacidade profissional e apóiam meus passos, em especial minha mãe Clênia, ao meu namorado Rogério, minha irmã Soraya, aos meus irmãos Sócrates e Júnior, as minhas cunhadas Adriana e Fernanda, cunhado Erickson, a minha Vozinha (Ednalva), e amigas Sabrina e Polyana.
- A todos os amigos e amigas, que contribuíram na minha caminhada profissional, e se tornam partes da minha vida.

RESUMO

A busca por metodologias que permitam a identificação precoce de possíveis riscos à saúde associados à degradação da qualidade da água para consumo humano se torna um dos desafios no planejamento das ações de vigilância da qualidade da água. O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a degradação da qualidade da água do sistema de distribuição de Campina Grande através da distribuição espacial de bactérias heterotróficas com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A utilização do SIG permite a criação de uma base de dados, otimização das informações e a disposição espacial de áreas mais vulneráveis à degradação da qualidade da água. Desse modo, a integração de informações sobre as características sócio-demográficas (grupos de risco) e de infra-estrutura analisando o perfil da comunidade abastecida, através de mapas temáticos, possibilita avaliar visualmente, áreas que apresentem um maior risco à população que consome água do sistema de distribuição, no caso de alguma irregularidade que possa ocorrer no sistema, estando a população susceptível a consumir água de baixa qualidade. Na análise dos resultados do indicador bactérias heterotróficas foram gerados mapas temáticos relativos às amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04, verificando violações ao padrão de potabilidade estabelecido pela referida Portaria. Na distribuição espacial de bactérias heterotróficas foram estimadas as médias mensais e assim gerado os mapas temáticos de ocorrência de bactérias heterotróficas indicando os pontos de monitoramento que se encontram menos favoráveis a qualidade da água. No relacionamento da distribuição espacial de bactérias heterotróficas com outros indicadores de qualidade da água (cloro residual livre e turbidez) foram gerados mapas temáticos para análise, sendo constatado que o comportamento da contagem de bactérias heterotróficas foi inversamente relacionado ao do cloro residual livre, cujo consumo determina a degradação da qualidade da água. Através da geração dos mapas temáticos utilizando informações dos indicadores de degradação da qualidade da água foi constatado que, apesar de violações aos padrões da Portaria MS 518/04, a água do sistema de distribuição de Campina Grande é de boa qualidade.

Palavras-chave: SIG. Vigilância da qualidade da água. Bactérias heterotróficas.

ABSTRACT

The search for methodologies that allow the early identification of possible health risks associated with the degradation of water quality for human consumption becomes one of the challenges in action planning for surveillance of water quality. The present study aims at evaluating the degradation of water quality in the distribution system of Campina Grande through the spatial distribution of heterotrophic bacteria with the use of Geographic Information Systems (GIS). The use of GIS allows the creation of a database, optimizing information and layout of the areas most vulnerable to degradation of water quality. Thus, the integration of information on socio-demographic characteristics (risk groups) and infrastructure by analyzing the profile of the community served, through thematic maps enables visually assess areas that pose a greater risk to the population that consumes water of the distribution system in case of any irregularity that might occur in the system, and the population is likely to consume low-quality water. In analyzing the results of heterotrophic bacteria indicator thematic maps were generated on the samples in accordance with Ordinance 518/2004MS, checking violations of potability standards established by this Ordinance. Spatial distribution of heterotrophic bacteria were estimated monthly average and thus generated thematic maps of the occurrence of heterotrophic bacteria indicating the monitoring points which are more degradation of water quality. By correlating the spatial distribution of heterotrophic bacteria with other indicators of water quality (free residual chlorine and turbidity) were generated thematic maps for analysis, and revealed that the behavior of heterotrophic bacterial count was inversely related to the free residual chlorine, whose consumption determines the degradation of water quality. Through the generation of thematic maps using information from the indicators of water quality degradation was noted that although violations of the Ordinance 518/04MS patterns, the water of the distribution system of Campina Grande is of good quality.

Key words: GIS. Monitoring of water quality. Heterotrophic bacteria.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arquitetura de Sistema de Informações Geográficas.	26
Figura 2 - Processo de modelagem.....	27
Figura 3 - Localização do município de Campina Grande no estado da Paraíba e bairros da cidade de Campina Grande.	30
Figura 4 – Sistema de distribuição de água de Campina Grande.	31
Figura 5 - Receptor GPS de navegação utilizado na coleta das coordenadas dos pontos de amostragem.....	33
Figura 6 - Ferramenta de apoio para definição das rotas.....	35
Figura 7 - Coleta e laboratório montado <i>in loco</i> para as análises físico-químicas.	36
Figura 8 – Coletas: a) Frascos para a coleta microbiológica e b) Autoclave.	37
Figura 9 – Turbidímetro portátil usado na determinação <i>in loco</i> de turbidez.	38
Figura 10 - Instrumento medidor de cor.....	39
Figura 11 - pH-metro portátil.	39
Figura 12 – Termômetro de filamento de mercúrio.	40
Figura 13 - Tubo de ensaio com 10 mL de meio de cultura após sua preparação.....	41
Figura 14 - Meio de cultura em banho-maria.	41
Figura 15 - Placas identificadas (a) e transferência da amostra próximo ao bico de <i>Bunsen</i> (b).	42
Figura 16 – Placas na estufa (a) e a leitura das placas no contador de colônias (b).	43
Figura 17 - Importação de tabelas para o SIG.	45
Figura 18 - Inserção dos dados no Saga Gis.....	48
Figura 19 - Ilustração da inserção das tabelas das variáveis analisadas.....	49
Figura 20 - Junção das tabelas de atributo (coletas) e pontos de monitoramentos (escolas).	49
Figura 21 - Ferramenta utilizada para o cálculo da soma entre colunas do atributo.	50
Figura 22 - Ilustração da definição da classe de população (hab) por setor censitário.	51
Figura 23 - Ilustração do Saga Gis realizando o cálculo da porcentagem de domicílios com rede de esgotamento por setor.	55
Figura 24 - Mapa temático da população infantil que reside nos domicílios por setor censitário.....	59

Figura 25 – Mapa temático da população de idosos que residem nos domicílios por setor censitário.....	59
Figura 26 – Mapa temático do número de domicílios servidos por água canalizada proveniente de rede geral de abastecimento.....	60
Figura 27– Mapa temático do número de domicílios servidos por esgotamento sanitário.	61
Figura 28 – Mapa temático do número de domicílios servidos com coleta de lixo por serviço oficial de limpeza.....	62
Figura 29 - Mapa de frequência de amostras do indicador cloro residual livre conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.....	64
Figura 30 - Gráficos do indicador cloro residual livre por ponto e coletas.....	65
Figura 31 - Mapa de frequência de amostras do indicador monocloramina conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.....	67
Figura 32 - Mapa de frequência de amostras do indicador bactérias heterotróficas conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.....	68
Figura 33 - Gráficos indicador bactérias heterotróficas por ponto e por coletas.....	69
Figura 34- Mapa de frequência de amostras do indicador turbidez conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.....	70
Figura 35 - Gráfico do indicador turbidez por coletas.....	71
Figura 36- Mapa de frequência de amostras do indicador cor conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.....	72
Figura 37 - Gráficos do indicador cor por ponto e por coletas.....	73
Figura 38 - Mapa de frequência de amostras do indicador pH conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.....	75
Figura 39 - Gráfico indicador pH do ponto P5 por coletas.	75
Figura 40 - Mapas temáticos de ocorrência de bactérias heterotróficas no sistema de distribuição de água de Campina Grande entre os meses de abril a agosto.	77
Figura 41- Mapas temáticos de ocorrência de bactérias heterotróficas no sistema de distribuição de água de Campina Grande entre os meses de setembro a novembro.	78
Figura 42 - Mapa temático de relacionamento dos indicadores sentinelas e mapa ilustrativo dos reservatórios que abastecem cada ponto de monitoração.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água.....	34
Tabela 2 - Exemplo da rotina de coleta das amostras.....	35
Tabela 3 - Quantidade de amostra definidas nas placas por ponto de amostragem.	42
Tabela 4 - Exemplo da planilha com resultados das frações de cloro.....	43
Tabela 5 - Ilustração da planilha com os resultados das médias das variáveis analisadas por ponto de monitoramento.....	44
Tabela 6 - Apresentação dos dados utilizados para geração do mapa de infra-estrutura básico de domicílios com água canalizada.....	54
Tabela 7 – Ilustração da necessidade de normalização das classificações adaptado de Marino (2008).....	54
Tabela 8 - Apresentação dos dados utilizados para geração do mapa de grupo de risco (população infantil).	56
Tabela 9 – Exemplo do cálculo da taxa de domicílios com população infantil.	56
Tabela 10 - Apresentação dos dados utilizados para a geração do mapa de grupo de risco (população de idosos).	57
Tabela 11 – Análise descritiva do cloro residual livre nos pontos de monitoramento.....	63
Tabela 12 – Análise descritiva de monocloramina nos pontos de monitoramento.	66
Tabela 13 - Análise descritiva de bactérias heterotróficas nos pontos de monitoramento..	68
Tabela 14 - Análise descritiva de turbidez nos pontos de monitoramento.....	69
Tabela 15 - análise descritiva de cor nos pontos de monitoramento.....	71
Tabela 16 - análise descritiva de pH nos pontos de monitoramento.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
- APHA – American Public Health Association
- AWWA – American Water Works Association
- CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
- CRC – Cloro Residual Combinado
- CRL – Cloro Residual Livre
- ETA – Estação de Tratamento de Água
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
- GPL – General Public Licence
- GPS – Sistema de Posicionamento Global
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MS – Ministério da Saúde
- OMS – Organização Mundial de Saúde
- OPAS – Organización Panamericana de la Salud
- PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
- SAGA GIS – System for Automated Geoscientific Analyses
- SVS – Secretaria de Vigilância de Saúde
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- UFCG – Universidade Federal de Campina Grande
- UNICEF – United Nations Children’s Fund
- VMP – Valores Máximos Permissíveis
- WEF – Water Environmet Federation
- WHO – World Health Organization
- WEDC – Water, Engineering and Development Centre

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos Específicos	15
2.1	Controle e vigilância da água para consumo humano	18
2.2	Indicadores da qualidade da água	20
2.2.1	<i>Cloro residual (CRL e CRC)</i>	20
2.2.2	<i>Turbidez</i>	21
2.2.3	<i>Cor aparente</i>	22
2.2.4	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	23
2.2.5	<i>Temperatura</i>	23
2.2.6	<i>Bactérias heterotróficas</i>	23
2.3	Análise ambiental por geoprocessamento	24
2.4	Geoprocessamento e sistema de informações geográficas	25
2.5	Modelagem em SIG	27
2.6	Geoprocessamento no controle e vigilância da qualidade da água	28
3.0	METODOLOGIA	30
3.1	Levantamento dos dados	32
3.1.1	<i>Aquisição de dados</i>	32
3.1.2	<i>Metodologia de amostragem</i>	33
3.1.3	<i>Coleta e preservação das amostras</i>	36
3.2	Métodos analíticos	37
3.2.1	<i>Cloro residual (CRL e CRC)</i>	37
3.2.2	<i>Turbidez</i>	38
3.2.3	<i>Cor aparente</i>	39
3.2.4	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	39
3.2.5	<i>Temperatura</i>	40
3.2.6	<i>Bactérias heterotróficas</i>	40
3.3	Desenvolvimento do banco de dados	43
3.4	Análise estatística dos dados	45
3.5	Análise espacial dos dados	45
3.5.1	<i>Escolha do software utilizado</i>	46

3.5.2 <i>Implementação dos dados no SIG</i>	47
3.5.3 <i>Desenvolvimento do modelo</i>	47
3.6 Geração dos mapas temáticos	47
3.6.1 <i>Implementação dos dados no Saga Gis</i>	48
3.7 Modelo de análise espacial para integração das informações sobre as características sócio-demográficas e de infra-estrutura	51
3.7.1 <i>Terminologia censitária</i>	52
3.7.2 <i>Metodologia para a base de dados infra- estrutura básica</i>	53
3.7.3 <i>Metodologia para a base de dados sócio-demográfica (grupo de risco)</i>	55
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 Mapas sócio-demográficos (grupos de risco)	58
4.2 Mapas de infra-estrutura básica	60
4.3 Análise estatística dos dados	62
4.4 Mapas de ocorrência de bactérias heterotróficas no sistema de distribuição de água de Campina Grande	76
4.5 Mapas de indicadores da qualidade da água de consumo	79
5.0 CONCLUSÕES	82
6.0 RECOMENDAÇÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICE 01	90
APÊNDICE 02	91

1.0 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à manutenção da vida. Ela é utilizada em todos os segmentos da sociedade estando presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola. Entretanto, a intervenção antrópica no ciclo natural da água tem provocado mudanças na sua disponibilidade e qualidade.

Desse modo, a água se torna um recurso cada vez mais escasso e com qualidade comprometida em função do crescente desmatamento, processos de erosão e assoreamento dos mananciais superficiais, lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos. Conseqüentemente é cada vez maior a preocupação relacionada ao abastecimento público em termos de qualidade e quantidade (BRASIL, 2006b).

De acordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde o sistema de abastecimento de água para consumo humano é definido como “a instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão”. Portanto, garantir uma maior segurança às populações e fornecer infra-estrutura, priorizando a superação de riscos à saúde impostos pela água é de fundamental importância.

A água potável é definida como “aquela que é apropriada para o consumo humano e cujos indicadores biológicos, microbiológicos, físicos, químicos e radioativos, atendem ao padrão de potabilidade e não oferecem riscos à saúde” (BRASIL, 2004). A determinação individual de organismos patogênicos na água é complexa, lenta e onerosa, devido à diversidade desses microrganismos na água. Desse modo, é utilizada a técnica de se verificar a presença de organismos indicadores, ou seja, organismos facilmente identificáveis cuja ocorrência está correlacionada à presença de organismos patogênicos. Segundo Libânio (2008), a prática da avaliação da qualidade da água para consumo humano no Brasil centra-se na verificação da presença de bactérias do grupo coliforme, significando que sua ausência na água representa a garantia da ausência de certos microrganismos que, sendo de origem intestinal atestam a presença de fezes na água, prestando-se como bons indicadores da eficácia do tratamento e da integridade da distribuição de água.

Outro indicador importante que assume papel semelhante e auxiliar ao dos coliformes são as bactérias heterotróficas, definidas como microrganismos que requerem carbono orgânico como fonte de nutrientes. A contagem de bactérias heterotróficas pode

sinalizar a deterioração da qualidade da água no sistema de distribuição, pois esses microrganismos indicam a presença de matéria orgânica biodegradável que pode ser decorrente de manutenção deficiente do sistema de abastecimento, com relação à colonização e formação de biofilmes nas canalizações e reservatórios bem como de falhas no tratamento da água, particularmente na desinfecção (BRASIL, 2006d). Entre os determinantes para o seu crescimento no sistema de distribuição estão à estagnação da água em determinados trechos, perda de desinfetante, altos níveis de carbono orgânico assimilável na água, temperatura e maior disponibilidade de nutrientes específicos (UNICEF, 2008).

De acordo com a *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano* (BRASIL, 2006a), a avaliação da água tratada visa verificar o atendimento sistemático, ao longo do tempo, do padrão de potabilidade, apresentando-se, também, como mecanismo indispensável de controle dos processos de tratamento empregados. Segundo o *Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano* (BRASIL, 2006b), tanto o controle da qualidade da água, exercido pela entidade responsável pela operação do sistema de abastecimento de água, quanto a sua vigilância, através dos órgãos de saúde pública, são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde dos consumidores.

Uns dos grandes desafios para pesquisadores e profissionais que atuam na vigilância da qualidade da água para consumo humano é a busca por metodologias que permitam a identificação precoce de possíveis riscos à saúde associados à má qualidade da água para consumo.

No planejamento das ações de vigilância o passo inicial é realizar o diagnóstico das condições do consumo de água através dos indicadores de degradação da qualidade da água, e a partir das informações geradas, realizar uma sistematização das ações da vigilância. Essas informações visam satisfazer dois princípios fundamentais, a representatividade e a abrangência espacial dos indicadores que possibilitam a caracterização da qualidade da água, permitindo a identificação de fatores de risco e populações vulneráveis, ou seja, expostas ao risco (consumo de água).

O uso de geotecnologias, no planejamento das ações de vigilância, apresenta um grande potencial como instrumento de planejamento e de geração de análises e informações necessárias para uma rápida e eficaz tomada de decisão. O Geoprocessamento, segundo Silva (2007), tem como finalidade principal transformar o registro de ocorrências (dados) em ganhos de conhecimento (informação), com o apoio de estruturas de percepção de fenômenos

ambientais que proporcionem a transformação de dados geograficamente referenciados em informação.

Assim, a utilização de técnicas de levantamento posicional, mapeamento e integração das informações permitem, em uma só plataforma, a visualização global dos dados. Essas técnicas constituem ferramenta para analisar e identificar espacialmente pontos críticos/vulneráveis (fatores de risco) do sistema de abastecimento de água, através de mapas de intensidade. Neste trabalho essas técnicas serão utilizadas para avaliar a degradação da qualidade da água através da distribuição espacial das bactérias heterotróficas no sistema de abastecimento provendo uma visão geral da distribuição das ocorrências no espaço da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a degradação da qualidade da água do sistema de distribuição de Campina Grande através da distribuição espacial de bactérias heterotróficas com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas.

1.2 Objetivos Específicos

- Integrar informações sobre as características sócio-demográficas e de infra-estrutura analisando o perfil da comunidade abastecida;
- Analisar a ocorrência de bactérias heterotróficas na rede de distribuição de água utilizando Sistema de Informações Geográficas;
- Relacionar a distribuição espacial de bactérias heterotróficas com outros indicadores da qualidade da água (cloro residual livre e turbidez).

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na Antiguidade, o homem, ao abandonar a vida nômade e adotar a agricultura como meio de subsistência, passou a buscar fontes de abastecimento de água para o suprimento de suas necessidades localizando-se preferencialmente nas proximidades dessas fontes. Com o passar do tempo, o homem foi se aperfeiçoando com as suas formas de armazenamento, além de desenvolver tecnologias para captação, transporte, tratamento e distribuição da água (HELLER, 2006).

Logo, com o desenvolvimento dessas tecnologias e o crescimento acelerado das cidades e populações, tornava-se cada vez maior a necessidade de água com boa qualidade para o abastecimento da população.

Além disso, segundo Rebouças (2003), a diversificação das atividades humanas ao longo dos tempos, associada às grandes transformações demográficas, crescia a necessidade da busca de soluções para problemas locais.

Assim, as instalações de abastecimento de água se tornaram fundamentais tendo como propósito à exigência da sua qualidade e a proteção a saúde pública. Segundo Heller (2006) as instalações de abastecimento de água devem ser capazes de fornecer água com qualidade, regularidade e de forma acessível para a população.

De acordo com OPAS (2010) apesar do esforço em melhorar os serviços de abastecimento de água e saneamento nas regiões pobres dos países em desenvolvimento, 2,4 bilhões de pessoas em todo o mundo não vivem com condições aceitáveis de saneamento, enquanto 1,1 bilhão de pessoas não têm acesso a um adequado sistema de abastecimento de água.

Segundo o Bernado (2003), em regiões onde os serviços de abastecimento de água, de coleta de esgoto e de lixo gerado e de drenagem urbana são mais abrangentes, a população apresenta maior expectativa de vida, sendo menor, por exemplo, a taxa de mortalidade infantil.

As populações urbanas, com seu crescimento rápido, e a industrialização, vêm submetendo os recursos hídricos a graves pressões. Assim sendo, é necessário uma atenção especial aos efeitos crescentes da urbanização sobre a demanda e o consumo de água, exigindo uma revisão do papel das autoridades públicas na gestão do abastecimento de água (FRANCATO; BARBOSA, 1999).

Nesse contexto, a rede de distribuição de água é de grande relevância, pois através das suas tubulações ela deve garantir que a água chegue aos consumidores sem a deterioração da sua qualidade estabelecida por boa técnica e pelas normas oficiais aplicáveis. Segundo Heller (2006) a rede de distribuição é a unidade do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos, e que tem por finalidade fornecer, água potável em quantidade e qualidade a múltiplos consumidores.

O sistema de distribuição é composto por dois conjuntos de unidades, os reservatórios e redes de distribuição. A reservação tem como objetivo armazenar a água para atender variações de consumo durante o dia, promover a continuidade do abastecimento, em caso de interrupção da produção de água, manter as pressões adequadas na rede de distribuição e garantir reserva estratégica para combate a incêndio. A partir desses reservatórios ocorre a distribuição de água tratada por meio de tubulações que formam a rede de distribuição e conduzem a água para as edificações e pontos de consumo (PHILIPPI JR., 2005).

A água que entra nos reservatórios e sistema de distribuição deve ser sanitariamente segura. No interior das tubulações devem ser realizadas boas práticas como manter suas pressões dentro dos limites recomendados pela legislação; dotar a rede de distribuição com registros de descargas adequadamente localizados para combater a formação de biofilmes favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos; evitar a ocorrência de água parada, por possibilitar acúmulo de resíduos e formação de biofilmes, desinfetar as tubulações após realizar serviços de construção ou reparos (BRASIL, 2006f).

A formação de biofilmes, por exemplo, devida à insuficiência do tratamento ou negligência na rede, pode provocar o consumo do residual de cloro livre e a colonização do sistema por bactérias. O mesmo acontece no interior dos reservatórios de distribuição ao ser negligenciado o controle de qualidade da água e sua manutenção (BRASIL, 2006c).

A localização topográfica dos reservatórios de distribuição estabelece as condições de pressão na rede. Pressões excessivas podem provocar vazamentos e mesmo a ruptura de canalizações e conexões, o que resulta em perdas e desperdícios de água, além de riscos de contaminação na rede. Por outro lado, pressões insuficientes podem levar à descontinuidade do abastecimento em pontos de consumo distantes e/ou elevados, o que, adicionalmente, pode gerar condições de subpressão na rede e provocar a recontaminação da água tratada (BRASIL, 2006f).

Segundo Heller (2006), um fator importante para o adequado funcionamento da rede de distribuição é o estabelecimento das zonas de pressão da rede, em função da escala do

sistema de distribuição ou das condições topográficas. Os reservatórios devem estar estrategicamente localizados de forma a manter o funcionamento da rede de distribuição entre as pressões mínima e máxima, sendo cada um deles responsável pela garantia da adequada pressurização das respectivas zonas de pressão.

As boas práticas no sistema de distribuição de água buscam prevenir ou combater os perigos (fatores de risco) e minimizar a probabilidade de ocorrência dos efeitos indesejáveis (riscos) a saúde humana. Essa interrelação entre o uso e a qualidade requerida da água é direta e podem ser representadas através das suas características físicas, químicas e biológicas, traduzidas na forma de indicadores de qualidade da água.

2.1 Controle e vigilância da água para consumo humano

A qualidade da água consumida está diretamente relacionada à saúde da população. A importância da qualidade da água torna-se cada vez mais reconhecida pelas autoridades de saúde e agências de apoio externo, tornando mais comuns programas especiais de avaliação da qualidade da água.

Segundo dados da UNICEF (2008) as doenças causadas por abastecimento insuficiente de água potável em associação com a falta de esgotamento sanitário e de higiene causam 3,4 milhões de mortes por ano, principalmente entre crianças. De acordo com WEDC (2002) a prioridade absoluta para água potável é o controle da qualidade microbiológica e a redução do número de organismos patogênicos, pois esses organismos, na água, provocam surtos de doenças infecciosas afetando especialmente grupos vulneráveis, como crianças, idosos, e pessoas imunologicamente comprometidas.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) “todas as pessoas, em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições sócio-econômicas, têm o direito de ter acesso a um suprimento adequado de água potável”. A água para consumo humano não deve representar risco à saúde, e ser suficiente em quantidade para atender as necessidades domésticas e com custo acessível.

Águas de consumo humano contaminadas por organismos infecciosos como bactérias, vírus e parasitas, podem ocasionar grandes impactos nas populações, além de causar epidemias e doenças de veiculação hídrica.

É importante destacar que a água fornecida pelo sistema público de abastecimento passa por diversas etapas até chegar ao consumidor em seus domicílios. Em consequência, a qualidade da água para consumo pode apresentar riscos à saúde da população, pois fatores diversos podem atingir o sistema por mais eficiente que seja.

De acordo com Brasil (2006c), entre esses diversos fatores estão as condições de segurança dos reservatórios de distribuição, a falta de manutenção na rede de distribuição, a intermitência do abastecimento causando subpressões e riscos de contaminação na rede e as condições de armazenamento domiciliar.

Nesse sentido o controle da qualidade da água, exercido pela entidade responsável pela operação do sistema de distribuição de água, quanto a sua vigilância, por meio de órgãos da saúde pública, são essenciais para garantir a proteção à saúde dos consumidores.

Para um melhor entendimento a Portaria 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (MS), procura definir a diferença entre controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano como:

- Controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelo (s) responsável (is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a garantir a água fornecida à população seja potável, assegurando a manutenção dessa condição;
- Vigilância da qualidade da água para consumo humano – conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública para verificar se a água consumida pela população atende ao estabelecido na Portaria e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana.

Nesse sentido aplicações de regras simples podem proporcionar água de boa qualidade no sistema de abastecimento para consumo humano. Entre essas regras encontram-se os padrões de potabilidade, constituídos por características (indicadores) que conferem qualidade à água para consumo humano.

2.2 Indicadores da qualidade da água

A água apresenta características de natureza física, química e biológica e através dessas a sua qualidade pode ser representada por indicadores que são capazes de descrever a deterioração da qualidade da água.

A Portaria MS 518/04 define que toda água voltada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água. O padrão de potabilidade brasileiro, definido pela Portaria MS 518/04, é composto por: (i) padrão microbiológico; (ii) padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção; (iii) padrão para substâncias químicas que representam riscos à saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção); (iv) padrão de radioatividade; (v) padrão de aceitação para consumo humano.

Ainda, segundo Portaria MS 518/04, as metodologias analíticas para determinação dos parâmetros devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da *publicação Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*, ou das normas publicadas pela ISO (*International Standardization Organization*) (BRASIL, 2004).

Os indicadores que serão abordados na avaliação da qualidade da água devem ser selecionados de acordo com o tipo de monitoração que se pretende realizar, sendo capazes de indicar o risco à saúde da população. Assim, os itens seguintes apresentam os indicadores que proporcionam uma avaliação da qualidade da água de consumo segundo a *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental* relacionada à qualidade da água pra consumo humano (BRASIL, 2006a), conforme a Portaria MS 518/04, com a inclusão de indicadores, como a contagem de bactérias heterotróficas, entre outros.

2.2.1 Cloro residual (CRL e CRC)

A operação unitária de tratamento que fornece proteção contra risco de infecção da água é a desinfecção. Segundo OPAS (2010) a desinfecção da água pode ser obtida através de

diferentes meios físicos como a ebulição e os raios ultravioletas e processos químicos sendo utilizados como reagentes o cloro e compostos de cloro e ozônio.

A introdução de cloro na água leva à formação do ácido hipocloroso (HClO) (Eq. 1) que, dependendo do pH e da temperatura, dissocia-se (Eq. 2) levando a concentrações relativas de ácido hipocloroso e íon hipoclorito (ClO⁻).



A soma das concentrações do ácido hipocloroso e íon hipoclorito forma o Cloro Residual Livre (CRL). O ácido hipocloroso ao reagir com nitrogênio amoniacal resulta na formação de compostos clorados denominados cloraminas (monocloramina, dicloramina, tricloramina), cuja soma de concentrações forma o Cloro Residual Combinado (CRC), cujo poder de desinfecção é bastante reduzido comparado ao CRL (SILVA; OLIVEIRA, 2001).

Uma vez que a capacidade de oxidação do cloro não é seletiva, diversas espécies químicas, tais como nitrogênio amoniacal, ferro, manganês, sulfatos e matéria orgânica, poderão inibir sua ação desinfetante contra microrganismos (BRASIL, 2006d).

A Portaria MS 518/04 recomenda que, após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

O CRL é considerado um indicador importante no controle da qualidade da água, pois concentrações reduzidas podem interferir na proteção da qualidade microbiológica da água e na vigilância dessa qualidade, ao lado da turbidez, reveste-se do caráter de indicador sentinela, pois pode indicar antecipadamente alterações capazes de levar à degradação da qualidade da água as quais representam perigo à saúde e à segurança dos consumidores.

2.2.2 Turbidez

A turbidez corresponde à principal característica física da água, sendo a expressão da propriedade ótica que causa dispersão e absorção da luz, ao invés de sua transmissão através da água (SILVA; OLIVEIRA, 2001).

A turbidez está relacionada à presença de materiais em suspensão na água que, do ponto de vista estético, podem causar objeção por parte dos consumidores os quais associam esses materiais à presença de sujeiras (contaminação) e conseqüentemente à possibilidade de ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

Nesse contexto, a turbidez assume uma função de indicador sanitário, indicando a presença de partículas em suspensão e oocistos de protozoários, além de informar sobre a estanqueidade do sistema de distribuição, em que sua elevação pode indicar infiltrações na rede e riscos de pós-contaminação. O padrão de turbidez da água pré-desinfecção ou pós-filtração é um componente do padrão microbiológico de potabilidade da água, pois valores baixos de turbidez indicam, ao mesmo tempo, eficiência da filtração na remoção de microrganismos e garantia de eficiência da desinfecção (BRASIL, 2006a).

A Portaria MS 518/04 estabelece que o valor máximo permitido seja de 1,0 UT (unidade de turbidez) para água subterrânea desinfetada e para água filtrada (filtração rápida) após tratamento convencional ou filtração direta. Para água tratada por filtração lenta o valor máximo permitido é de 2,0 UT. O padrão de aceitação para consumo humano estabelece 5,0 UT.

2.2.3 Cor aparente

A cor é uma característica essencialmente de natureza estética e componente do padrão de aceitação para consumo humano. Entretanto, a cor resultante da presença de substâncias orgânicas pode indicar a existência de precursores de formação de trihalometanos, subprodutos tóxicos (carcinogênicos) da cloração. Cor elevada no sistema de distribuição pode ainda contribuir para o consumo do cloro residual livre (BRASIL, 2006c).

Quando a determinação da cor é realizada após centrifugação ou filtração da amostra para se eliminar a interferência de partículas coloidais e suspensas, obtém-se a cor verdadeira, caso contrário, tem-se a cor aparente (BRASIL, 2006c).

A Portaria MS 518/04 estabelece que o valor máximo permitido da cor aparente seja de 15 uH (Unidade Hazen), correspondente a 15 mg Pt-Co/L, na escala de padrões platina-cobalto.

2.2.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é um indicador fundamental de controle da desinfecção, pois em pH elevado a cloração perde eficiência. O pH influi na solubilidade de diversas substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade. Além disso, o pH é um indicador chave de controle do processo de coagulação, fundamental para o bom desempenho de todo o processo de tratamento da água e a cada água corresponderá um pH ótimo de coagulação (SILVA; OLIVEIRA, 2001).

O pH é um termo que expressa a intensidade da condição ácida ($\text{pH} < 7,0$) ou básica ($\text{pH} > 7,0$) de um determinado meio, sendo uma medida da atividade dos íons hidrogênio. A Portaria MS 518/04 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

2.2.5 Temperatura

A temperatura é uma característica física da água que indica a energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de transferência de calor à massa líquida, além de estar diretamente relacionada à velocidade das reações químicas, à solubilidade das substâncias e ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático (LIBÂNIO, 2008).

Em relação à água para consumo humano, o padrão de potabilidade brasileiro, Portaria MS 518/04, não estabelece temperatura máxima, porém ela deve ser analisada em conjunto com outros parâmetros observando-se o comportamento desses associados à temperatura.

2.2.6 Bactérias heterotróficas

Do ponto de vista microbiológico, a vigilância da qualidade da água é de grande importância por fornecer informações sobre a eficácia de métodos de tratamento para a

eliminação de determinados grupos de microrganismos. As análises devem ser realizadas com regularidade e frequência, uma vez que a contaminação é intermitente e poucas amostragens podem não ser suficientes para detectá-la, dando-se preferência a um método simples, principalmente se houver limitação de pessoal e instalações (CETESB, 2004).

A utilização de bactérias heterotróficas na gestão da água é feita desde o século XIX como indicadores do bom funcionamento dos processos (da filtração, em particular) e, desse modo, como indicador indireto de segurança da água. Sua utilização diminuiu com a adoção de indicadores fecais específicos durante o século XX (BARTRAM *et al.*, 2003).

As contagens em placas de colônias de bactérias heterotróficas são utilizadas para monitorar o desempenho de filtração ou qualquer outro processo de desinfecção e também para indicar as condições gerais das canalizações do sistema de distribuição de água. Essas bactérias se desenvolvem devido à estagnação, perda de desinfetantes, altos níveis de carbono orgânico assimilável na água, temperatura e maior disponibilidade de nutrientes. Não existem evidências que as contagens de bactérias heterotróficas se relacionam diretamente com doenças de veiculação hídrica, porém um aumento abrupto delas pode estar associado à contaminação fecal (BARTRAM *et al.*, 2003).

Os microrganismos incluídos na contagem de bactérias heterotróficas podem variar amplamente, desde os não perigosos (são parte do ambiente natural) até organismos provenientes de diversas fontes poluidoras. Esses microrganismos requerem carbono orgânico como base para o seu crescimento, prestando-se ao papel de indicador auxiliar da qualidade da água por fornecer informações sobre falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição de água (BRASIL, 2006b).

A Portaria MS 518/04 estabelece que deve ser feita a contagem de bactérias heterotróficas em 20% das amostras mensais de água tratada, no sistema de distribuição, não devendo essa contagem exceder 500 UFC/ml.

2.3 Análise ambiental por geoprocessamento

Os desafios oriundos de um cenário de demandas crescentes e de preocupante degradação ambiental são cada vez maiores e devem ser enfrentados com sucessivas etapas de aperfeiçoamento. O planejamento estratégico deve fazer parte do esforço que busca alcançar a situação de sustentabilidade que esses cenários contemplam.

Na integração harmônica entre o desenvolvimento socioeconômico e fatores físicos e bióticos responsáveis pela realidade ambiental a adoção de novas tecnologias aliada à adoção da gestão estratégica é um dos caminhos possíveis para alcançar esses objetivos.

Na análise ambiental são necessárias tecnologias que permitam a integração de dados de diversas fontes, caracterizando a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais. Nesse contexto, segundo Câmara *et al.* (2001), o termo geoprocessamento denota a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, permitindo realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados.

Segundo Silva (2009), o geoprocessamento tornou possível analisar a geotopologia de um ambiente, ou seja, investigar sistematicamente as propriedades e relações posicionais dos eventos e entidades representados em uma base de dados georreferenciadas transformando dados em informação destinada ao apoio à tomada de decisão.

O geoprocessamento, através das suas técnicas de localização e representação das informações, constitui um importante instrumento de planejamento ambiental, pois permite o monitoramento e a coleta de dados espaciais relevantes ao cenário ambiental.

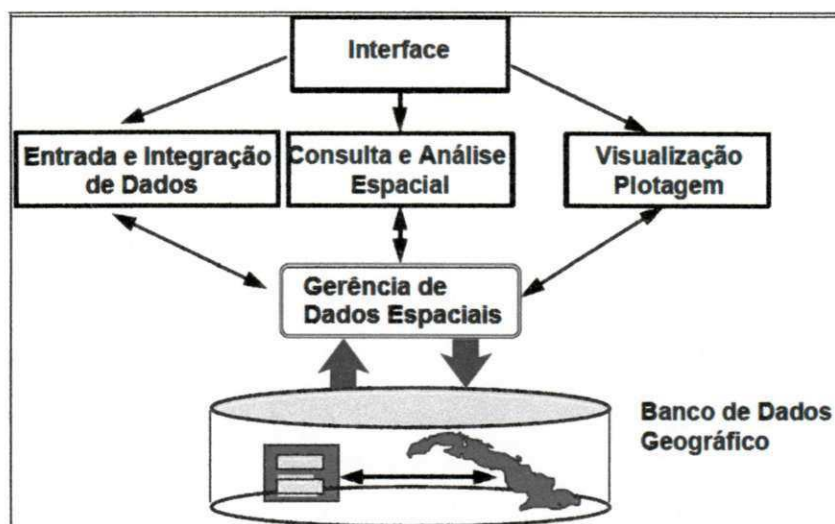
2.4 Geoprocessamento e sistema de informações geográficas

Um dos grandes desafios em estudos ambientais, de saneamento e em diversas áreas é compreender a distribuição de dados espaciais provenientes de fenômenos ocorridos no espaço geográfico. No entanto, esses estudos vêm se tornando cada vez mais comuns, com a disponibilidade das geotecnologias que abrangem ferramentas como SIG, permitindo a avaliação integrada de um grande número de variáveis e a rápida geração de informações, oferecendo suporte ao planejamento e à tomada de decisão.

Segundo Souza (2008), com o desenvolvimento dos SIG e das técnicas de análise espacial, a tarefa de manipulação de um número grande de informações (variáveis) e de suas interações através do processamento computacional tornou possível agregar conhecimento, isto é, a combinação de variáveis.

De acordo com Rocha (2000) SIG é definido como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações

digitais georreferenciadas, isto é, localizadas numa superfície terrestre e representadas numa projeção cartográfica, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos. Portanto, pode-se indicar que o SIG tem os componentes apresentados esquematicamente na Figura 1.



Fonte: Fucks *et al.* (2004)

Figura 1 - Arquitetura de Sistema de Informações Geográficas.

Nos estudos ambientais, Câmara (1998) aponta que o uso de tecnologias de SIG tem grande impacto nos campos de mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental e ordenamento territorial, os quais cumprem as seguintes finalidades:

- Mapeamento temático – tem como objetivo caracterizar e entender a organização do espaço, como apoio para estabelecimento, ações e estudos futuros;
- Diagnóstico ambiental – visa definir estudos específicos sobre regiões de interesse, com fins a projeto de ocupação ou preservação;
- Avaliação de impacto ambiental – compreende o monitoramento decorrente da intervenção humana sobre o ambiente;
- Ordenamento territorial – visa normatizar a ocupação do espaço, a procura de logística dentro do espaço geográfico, objetivando um processo de desenvolvimento sustentado.

O uso de SIG pode ser considerado uma ferramenta indispensável diante dos desafios de trabalhar com sistemas complexos e variáveis que interagem e que estão em contínua mudança. Assim, com o desenvolvimento de sistemas computacionais e o barateamento do SIG é importante ressaltar a capacidade desses sistemas para compatibilizar, armazenar, tratar

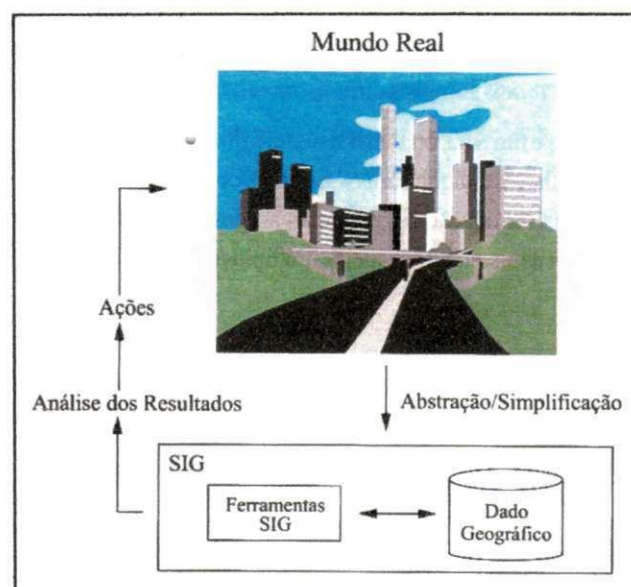
e atualizar informações úteis no planejamento, modelar, simular e monitorar estudos ambientais e em diversas áreas.

De acordo com Câmara *et al.* (2001) para utilizar um SIG é necessário escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de domínio de aplicação, ou seja, transformar conceitos de disciplinas distintas em representações computacionais.

2.5 Modelagem em SIG

Os procedimentos de análises espaciais desenvolvidas nos SIG são utilizados cada vez mais com o objetivo de simular a realidade através de representações computacionais. Assim, a modelagem consiste na criação de modelos, simples ou mais complexos, com a finalidade de representar os processos do mundo real.

Segundo Miranda (2005) a modelagem no SIG se fundamenta no princípio de que o banco dados não apenas representa o ambiente, mas é seu modelo em escala, tornando mais simples a maneira de entender o mundo, ou partes dele, isolando os fatos de interesse, através de experimentos possíveis com as informações do banco de dados, e retornando ao entendimento da realidade mais complexa do mundo, como ilustra a Figura 2.



Fonte: Miranda (2005)

Figura 2 - Processo de modelagem.

De acordo com Meirelles *et al.* (2007) a modelagem espacial no SIG pode ser considerada o processo de produção de novas informações a partir da combinação das informações previamente existentes, ou seja, baseada na observação dos dados.

Os procedimentos de análise espacial utilizando os modelos são importantes por permitirem uma ligação entre dados físicos, naturais e socioeconômicos aumentando o conhecimento sobre um processo, no prognóstico de valores ou comportamentos em áreas não observadas e testar hipóteses feitas sobre um processo e, portanto, auxiliar no planejamento de estudos ambientais e urbanos.

2.6 Geoprocessamento no controle e vigilância da qualidade da água

Na perspectiva moderna da gestão da qualidade da água, toda ação de planejamento, monitoramento e vigilância da qualidade deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente. O geoprocessamento, através das suas ferramentas, possibilita a criação de modelos digitais permitindo a análise de diferentes componentes, ou seja, variáveis que, direta ou indiretamente, podem afetar a qualidade da água.

A qualidade da água pode mudar no tempo e espaço, sendo importante que se tenha seus registros históricos permitindo avaliar sua distribuição e sua evolução espacial e temporal. Segundo Brasil (2006) a organização e análise das informações em banco de dados por séries temporais permitem a identificação de variações sazonais da qualidade da água, o que pode orientar a operação do tratamento e a especulação sobre possíveis fontes de contaminação do manancial, subsidiando eventuais inspeções sanitárias.

Uma base de informações atualizadas pode ser traduzida em plantas e mapas, guardadas e manipuladas em meios eletrônicos com a aplicação de SIG. Trabalhos desenvolvidos na área de modelagem da qualidade da água têm apresentado bons resultados, como o de Zeilhofer *et al.* (2007), que desenvolveu uma aplicação de SIG utilizando técnicas de análise espacial para avaliar problemas da qualidade de água de consumo e riscos de doenças entéricas em um bairro da classe média baixa em Mato Grosso.

Nesse sentido o conjunto de ações desenvolvidas na vigilância da qualidade da água para consumo humano como, por exemplo, planos de monitoramento, atividades de cadastro e inspeções sanitárias são importantes para o desenvolvimento de sistemas de vigilância e a

identificação de fatores de risco e populações vulneráveis, expostas ao risco no consumo de água. Porém, todas essas atividades podem gerar um extenso volume de informações a serem sistematizadas e analisadas e, conseqüentemente, o SIG se torna um instrumento relevante para a sistematização e análise dessas informações subsidiando o planejamento e a execução das ações desenvolvidas no controle e vigilância da qualidade da água.

3.0 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido na cidade de Campina Grande-PB, sede do município de mesmo nome cujas coordenadas geográficas são 7° 13' 50" Sul e 35° 52' 52" Oeste. Segundo dados do IBGE (2008), o município, com área de aproximadamente 621 km², tem uma população em torno de 400 000 habitantes, e encontra-se a 120 km da capital do estado da Paraíba, João Pessoa (Figura 3). O clima da região é do tipo semi-árido apresentando temperatura média anual em torno de 22,2 °C (AESA, 2009).

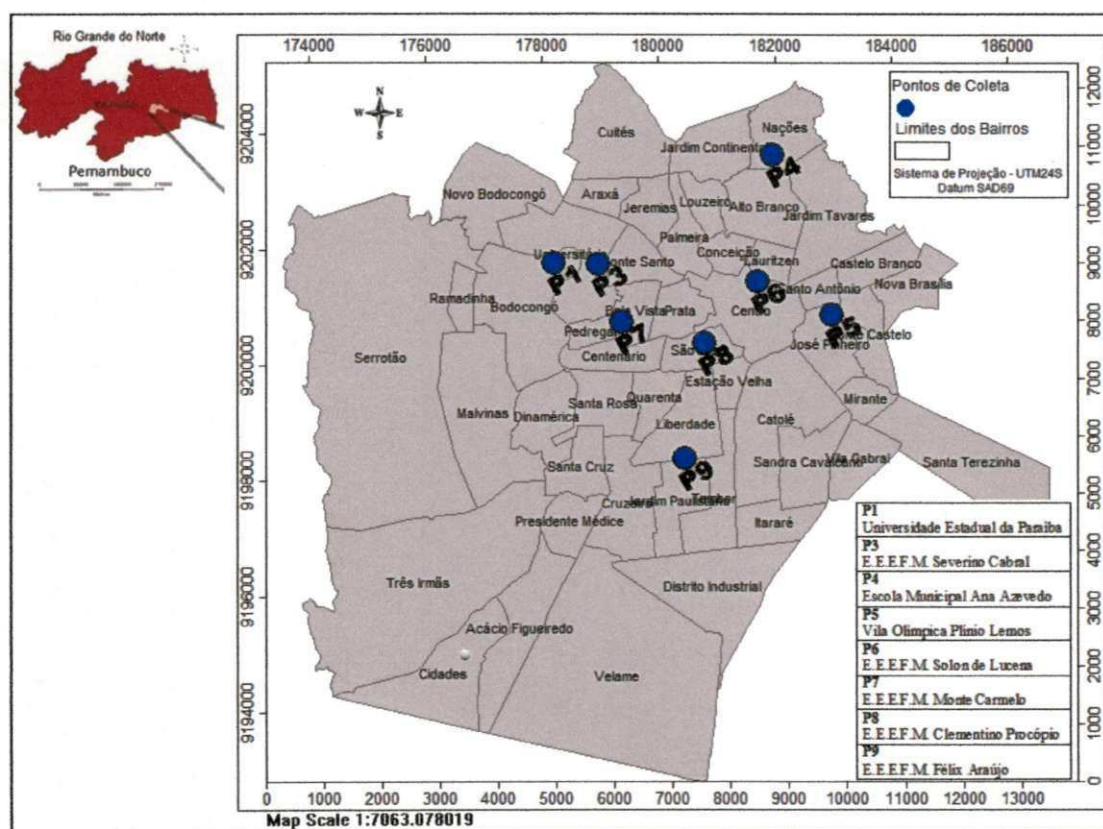


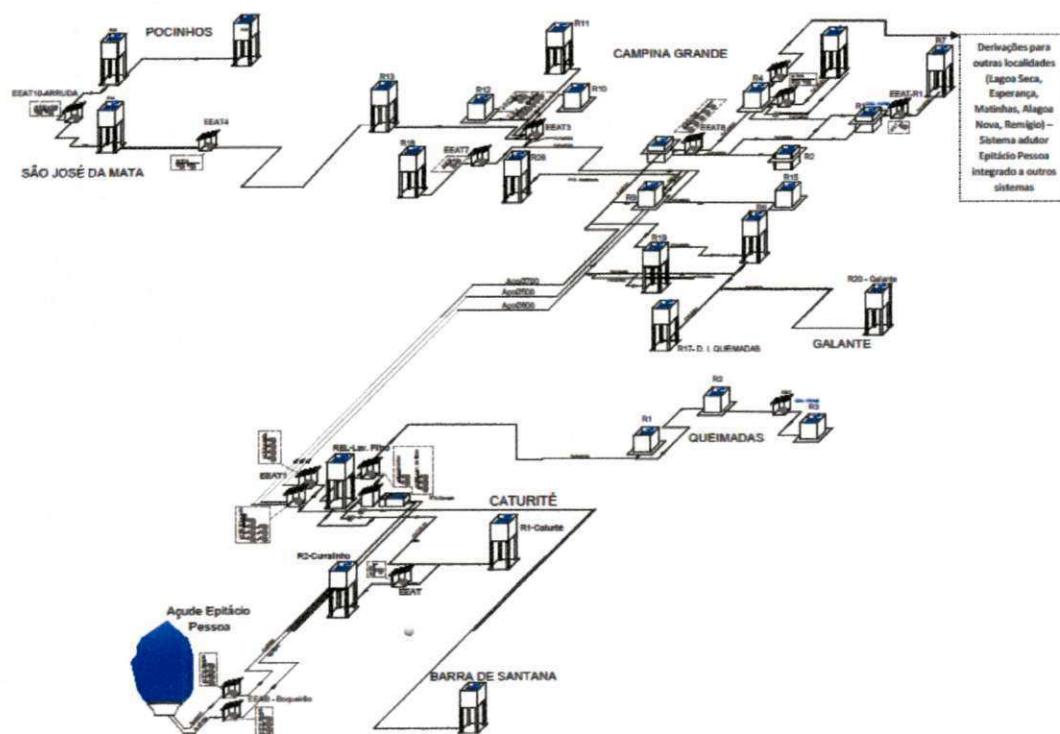
Figura 3 - Localização do município de Campina Grande no estado da Paraíba e bairros da cidade de Campina Grande.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) é a responsável pelo Serviço de Abastecimento de Água de Campina Grande. O sistema de abastecimento de água é integrado e abastece, além de Campina Grande, as sedes municipais de Barra de Santana,

Queimadas, Caturité, Pocinhos e Lagoa Seca, além dos distritos de Galante e São José da Mata.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) que abastece a cidade de Campina Grande recebe água da barragem de Boqueirão. Através de três linhas adutoras, a água tratada chega ao reservatório semi-enterrado R9, localizado no Bairro de Santa Rosa, com capacidade de acumulação de 26000m³. Desta, saem canalizações que abastecem outros 29 reservatórios espalhados por toda a área da cidade (MEIRA *et al.*, 2009).

De forma esquemática, a Figura 4 mostra o sistema de distribuição de água de água de Campina Grande.



Fonte: CAGEPA

Figura 4 – Sistema de distribuição de água de Campina Grande.

3.1 Levantamento dos dados

Os pontos de amostragem estudados encontram-se distribuídos na rede de distribuição de água de Campina Grande – PB, como preconiza a *Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental* relacionada à qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2006a).

Art.18 § 1º – A amostragem deve obedecer aos seguintes requisitos:

- I – distribuição uniforme das coletas ao longo do período; e
- II – representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição (reservatórios e rede), combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos, entendidos como aqueles próximos a grande circulação de pessoas (terminais rodoviários, terminais ferroviários, etc.) ou edifícios que alberguem grupos populacionais de risco (hospitais, creches, asilos, etc.), aqueles localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição (pontas de rede, pontos de queda de pressão, locais afetados por manobras, sujeitos à intermitência de abastecimento, reservatórios, etc.) e locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde tendo como possíveis causas agentes de veiculação hídrica.

3.1.1 Aquisição de dados

Nesta etapa foram agrupados os dados relevantes para a estruturação em uma base de dados favorecendo a organização. Inicialmente foram definidos os formatos de dados e as instituições que poderiam disponibilizá-los.

Para a construção da base digital no SIG, foram obtidos em meio digital os dados referentes altitudes e uso do solo, características da rede de distribuição, coordenadas dos atuais reservatórios operados, os principais anéis da rede geral e a setorização do sistema em zonas de pressão. Todos esses dados, durante a pesquisa de Cordão (2009), foram solicitados a CAGEPA.

Para a geração dos mapas temáticos foi realizado o levantamento de dados como a base cartográfica de Campina Grande (Cordão, 2009), dados de infra-estrutura e dados sócio-demográficos (IBGE, 2000).

3.1.2 Metodologia de amostragem

Os pontos de amostragem do sistema de distribuição de água para a realização do trabalho foram georreferenciados, através do levantamento posicional utilizando um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) de navegação da marca Garmin, modelo GPSMAP 76 CSx (Figura 5). Em seguida, esses pontos de amostragem foram inseridos no Sistema de Informações Geográficas (SIG) para observar se a espacialização desses pontos seguia uma distribuição geográfica de forma a ser uma boa representação do sistema de distribuição.



Figura 5 - Receptor GPS de navegação utilizado na coleta das coordenadas dos pontos de amostragem.

Na definição dos pontos de amostragens foi necessário discutir com especialistas, na área de vigilância da qualidade da água, a quantidades de pontos que melhor representassem a qualidade da água no sistema de distribuição. Assim, com base em trabalhos anteriores, como consta em Guimarães (2010) e Meira *et al.* (2009), e através de mapas impressos com informações sobre a rede principal e as zonas de pressão correspondente ao sistema de distribuição foram definidos os pontos de monitoramento para a pesquisa.

A escolha dos pontos de monitoramento seguiu critérios de distribuição geográfica e locais estratégicos para identificação de áreas vulneráveis e que abasteçam um maior número de pessoas. Desse modo, as amostras de água foram coletadas em pontos da rede de distribuição em conformidade com a “Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” para representar uma melhor amostragem adotando escolas públicas como pontos de coleta de amostras, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água.

Ponto de Coleta	Localização	Coordenadas UTM – SAD69/24S
P1 Universidade Estadual da Paraíba	Rua Juvêncio Arruda, s/n, Bodocongó	178.190 m E 9.201.768 m N
P3 E.E.E.F.M. Severino Cabral	Rua Joaquim Amorim Júnior, s/n, Bodogongó	178.973 m E 9.201.754 m N
P4 Escola Municipal Ana Azevedo	Av. das Nações s/n. Bairro das Nações.	181.964 m E 9.203.638 m N
P5 Vila Olímpica Plínio Lemos	R. Josino Agra s/n. Bairro José Pinheiro.	182.987 m E 9.200.893 m N
P6 E.E.E.F.M. Solon de Lucena	R. Hernani Lauritzen s/n. Centro.	181.709 m E 9.201.468 m N
P7 E.E.E.F.M. Monte Carmelo	Av. Prof. Carlos Fco de Almeida s/n Bairro Bela Vista	179.360 m E 9.200.757 m N
P8 E.E.E.F.M. Clementino Procópio	R. Felipe Camarão s/n. Bairro São José.	180.784 m E 9.200.398 m N
P9 E.E.E.F.M. Félix Araújo	R. Severino Pimentel s/n. Bairro Liberdade.	180.454 m E 9.198.406 m N

Nota: E.E.E.F.M. = Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio, m = metros, N = coordenadas lidas a partir do eixo N (norte-sul); coordenadas do eixo E (leste-oeste).

Na realização das coletas foi adotado um protocolo de segurança para impedir qualquer tipo de contaminação ou troca da amostra a ser analisada, para não interferir nos resultados. Esse protocolo (Apêndices 01 e 02) contou com dados importantes sobre a amostra a ser analisada, tais como número da amostra, ponto e hora da coleta, data, responsável pela coleta e observações necessárias, bem como resultados das análises realizadas *in loco*. Além do protocolo de segurança foram tomados todos os cuidados de assepsia na execução da coleta.

Na metodologia de amostragem foi definida também uma rotina para a coleta das amostras nos pontos selecionados. Cada ponto foi amostrado uma a duas vezes por semana em um único horário, no período de março a novembro de 2010, garantindo com isso a uniformidade das coletas no período de amostragem. Os horários foram estabelecidos entre 7h30min da manhã e 2h00min da tarde e, ao término das coletas em campo, as amostras eram levadas ao Laboratório de Análise de Água da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para a realização da análise microbiológica.

Na amostragem foram realizadas análises físico-químicas *in loco* e microbiológica em laboratório. Assim, a locomoção com os equipamentos para a realização das análises *in loco* gerou bastante despesa em relação ao custo total da pesquisa. Desse modo, a rotina estabelecida foi de grande importância para o desenvolvimento do trabalho, pois foi necessário amostrar por dia os pontos mais próximos, como exemplificados na Tabela 2,

utilizando como ferramenta de apoio para definição das rotas o Google Maps, como pode ser observado na Figura 6.

Tabela 2 - Exemplo da rotina de coleta das amostras.

SEGUNDA	PONTO	TERÇA	PONTO	QUARTA	PONTO
7h30min	ANA AZEVEDO	7h30min	MONTE CARMELO	7h30min	MONTE CARMELO
7h30min	PLINIO LEMOS	7h30min	SEVERINO CABRAL	7h30min	SEVERINO CABRAL
9h30min	FELIX ARAUJO	9h30min	SOLON DE LUCENA	9h30min	FELIX ARAUJO
9h30min	CLEMENTINO PROCÓPIO			9h30min	UEPB
13h00min	UEPB				

Para a realização das coletas de amostras, inicialmente partiam da UFCG duas equipes, seguindo para o primeiro ponto de coleta, como exemplificado na Tabela 2. Em seguida, a segunda equipe partia para o segundo ponto, desse modo eram realizadas as coletas e análises em dois pontos no mesmo horário. Ao término do seu trabalho a segunda equipe retornava para o primeiro ponto ao encontro da primeira equipe e, logo após, as duas equipes se dirigiam para o terceiro e quarto ponto e assim sucessivamente.



Fonte: <http://maps.google.com.br>

Figura 6 - Ferramenta de apoio para definição das rotas.

Os indicadores físicos e químicos analisados foram, cloro residual (livre e combinado), turbidez, pH, temperatura e cor aparente, medidos *in loco*. O indicador microbiológico foi a contagem de bactérias heterotróficas.

3.1.3 Coleta e preservação das amostras

As coletas foram realizadas em torneiras diretamente ligadas ao sistema público de distribuição de água. As amostras para análises físico-químicas (cloro residual livre e combinado, turbidez, pH e temperatura) foram coletadas com o auxílio de uma garrafa plástica (PET) de 2L, coberta com uma capa preta para evitar a incidência direta de luz solar sobre a água coletada. As torneiras eram abertas, deixando-se escoar a água inicialmente parada na tubulação, por aproximadamente 2 a 3 minutos, para, então, efetuar a coleta. Em seguida a amostra era analisada em triplicata *in loco*. A Figura 7 ilustra a coleta e o laboratório, montado *in loco* para a realização das análises físico-químicas.



Figura 7 - Coleta e laboratório montado *in loco* para as análises físico-químicas.

Na coleta das amostras para análise da variável bactérias heterotróficas foram utilizados frascos estéreis com tampa rosqueada com boca larga e capacidade de 250 ml (Figura 8a). Na esterilização desses frascos, inicialmente era feita a adição de 0,1 mL de solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) a 10% para cada 100 mL de água a ser coletada, cuja função era inibir a ação do cloro. Após a adição de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, os frascos eram esterilizados em autoclave a 121°C por 15 a 20 minutos (Figura 8b). Depois de todos os procedimentos de esterilização as garrafas eram levadas para o local da coleta onde ocorria a esterilização da torneira, com álcool a 70%, e, em seguida, era feita a coleta de amostras. Então as amostras coletadas eram conservadas num recipiente térmico, com gelo, e levadas para o Laboratório de Análise de Água da UFCG onde eram realizados os procedimentos restantes e a conclusão da análise.



Figura 8 – Coletas: a) Frascos para a coleta microbiológica e b) Autoclave.

3.2 Métodos analíticos

Os métodos analíticos utilizados na pesquisa seguiram os procedimentos padrões descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 1999).

3.2.1 Cloro residual (CRL e CRC)

Para a determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. Neste método as espécies de cloro residual são determinadas por titulação com sulfato ferroso amoniacal (SFA) usando oxalato ou sulfato de N, N - dietil - p - fenilenediamina (DPD) como indicador.

O cloro livre reage instantaneamente com DPD, na ausência de íons iodeto, com produção de coloração vermelha. À mistura remanescente do teste de CRL é adicionada, primeiramente, uma pequena porção de cristais de iodeto de potássio (KI), seguido de titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, para a determinação de monocloramina. Em seguida, é adicionada uma porção maior de cristais de KI e procedida à titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para a determinação de dicloramina. Tricloramina é determinada por titulação com solução padrão de SFA na

presença de DPD e KI, numa alíquota de amostra tomada à parte. A tricloramina ou tricloreto de nitrogênio (NCl_3) é incluída parte como cloro livre e parte como dicloramina, sendo que a fração incluída como cloro livre pode ser estimada através de um procedimento suplementar que consiste na adição do íon iodeto antes do DPD. O cloro livre pode ser imobilizado com glicina (ácido aminoacético) permitindo a determinação de frações interferentes de bromo e iodo, sendo este valor usado para subtrair do resultado de uma prova na qual o cloro livre não tenha sido imobilizado.

3.2.2 Turbidez

A turbidez foi determinada pelo método instrumental nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil Orbeco-Hellige, modelo 966 modelo 966, provido de lâmpada de tungstênio, calibrado por meio de um padrão primário (zero e 40,0 UT), como ilustra a Figura 9.

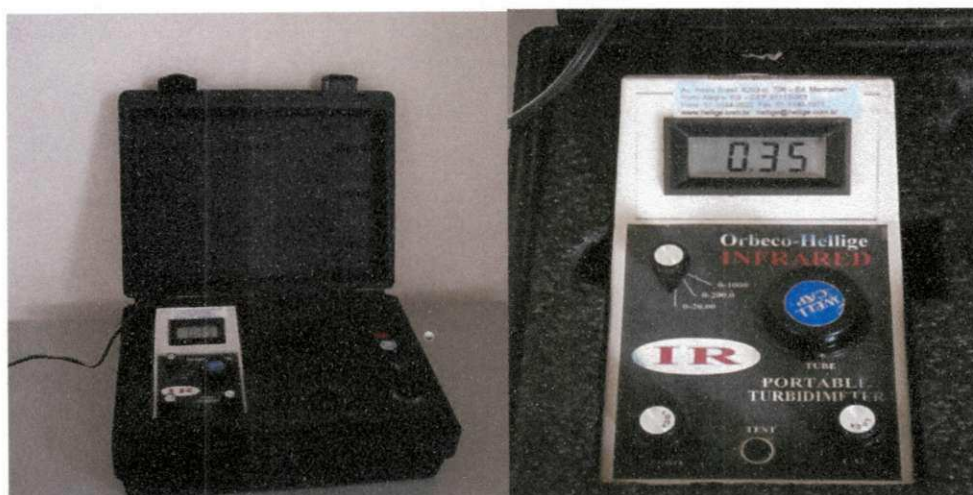


Figura 9 – Turbidímetro portátil usado na determinação *in loco* de turbidez.

3.2.3 Cor aparente

A cor aparente foi determinada pelo método instrumental utilizando aparelho comparador de cor. O colorímetro modelo Aqua-Color Cor (Figura 10), que apresenta configuração óptica multi detectora que inibe a interferência de cor e luz.



Figura 10 - Instrumento medidor de cor.

3.2.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o auxílio de um pHmetro portátil (Figura 11), calibrado com soluções tampões de pH.

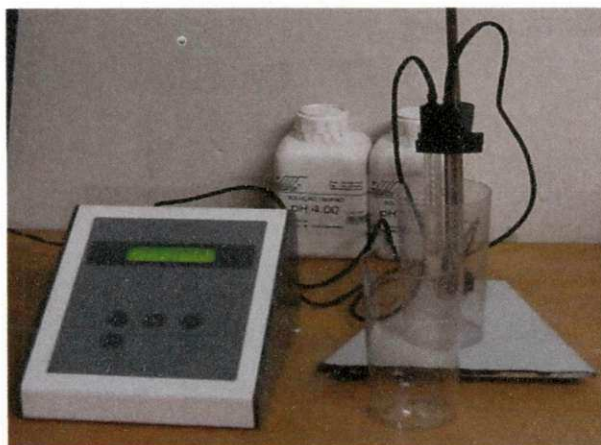


Figura 11 - pHmetro portátil.

3.2.5 Temperatura

A temperatura foi determinada com o auxílio de um termômetro (Figura 12) de filamento de mercúrio, escala de 0 a 60°C.



Figura 12 – Termômetro de filamento de mercúrio.

3.2.6 Bactérias heterotróficas

Para a determinação das bactérias heterotróficas foi utilizado o método de plaqueamento em profundidade (“Pour Plate”), utilizando meio PCA (Plate Count Agar), e os resultados expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL). As análises foram realizadas em triplicata, sendo realizada também a prova em branco para conferir se a placa e o meio de cultura utilizado encontravam-se sem contaminação para o uso. Essa prova em branco foi realizada inserindo o meio de cultura na placa sem nenhuma amostra de água.

Na preparação de meio de cultura inicialmente o meio de cultura foi pesado e dissolvido em água dessalinizada, em béquer de vidro, com o auxílio de bastão de vidro. Em seguida, o meio dissolvido era colocado em frasco *erlenmeyer* tampado e aquecido, sob agitação, distribuído em porções de 10 mL em tubos de ensaio (Figura 13), levados para a autoclave, por 15 minutos a 121°C. Após o resfriamento, os tubos de ensaio eram conservados em geladeira.



Figura 13 - Tubo de ensaio com 10 mL de meio de cultura após sua preparação.

No procedimento da análise os tubos de ensaio contendo meio de cultura devidamente esterilizado eram aquecidos no fogão, com o auxílio de tela de amianto, e, quando o meio apresentava-se totalmente derretido, os tubos eram colocados no aparelho de banho-maria (Figura 14) para estabilizar sua temperatura em 37° C.



Figura 14 - Meio de cultura em banho-maria.

Com os tubos de diluição e as placas devidamente nomeadas (Figura 15a) e com o auxílio do bico de *bunsen* para esterilização das pipetas, garantindo, dessa forma, o máximo possível de assepsia, 1 ml da amostra diluída era transferido para a respectiva placa de petri aberta o mínimo possível, próximo da chama oxidante (Figura 15b). Em seguida, eram vertidos 10 ml do meio em cada placa, com homogeneização com movimentos uniformes em forma de ∞ . Após a solidificação do meio a placa era então invertida para evitar a condensação da umidade na parte superior da placa.

A quantidade de amostra transferida para a placa foi definida seguindo o método do *Standard Methods* que recomenda 1mL de amostra em cada placa. Porém, por serem amostras de pontos onde se esperava contagens baixas de bactérias heterotróficas, foi considerada a anulação dessa regra e o aumento do volume conforme recomendação do *Standard Methods* (APHA, AWWA, WPCF, 1999). Assim, foram realizados testes para verificar o melhor

volume de amostra transferido para a placa. Os volumes das amostras foram definidos conforme a Tabela 3.

“Ordinarily, do not pipet more than 2.0 mL of sample; however, when the total number of colonies developing from 2.0 mL is less than 30, disregard the rule above and record result observed. With this exception, consider only plates having 30 to 300 colonies in determining the plate count. Compute bacterial count per milliliter” (APHA, AWWA, WPCF, 1999).

Tabela 3 - Quantidade de amostra definidas nas placas por ponto de amostragem.

Ponto de coleta	Quantidade de amostra da rede de distribuição (mL)
P1	2 e 5
P3	1 e 5
P4	2 e 5
P5	1 e 5
P6	1 e 5.
P7	1 e 5
P8	1 e 5
P9	1 e 5



(a)



(b)

Figura 15 - Placas identificadas (a) e transferência da amostra próximo ao bico de *Bunsen* (b).

Em seguida as placas eram levadas para a estufa incubadora a uma temperatura de $35 \pm 0,5$ °C, onde permaneciam por 48 horas. As leituras das placas eram, então, efetuadas com o auxílio do contador de colônias. A Figura 16a apresenta as placas na estufa e a leitura das placas no contador de colônias (Figura 16b).

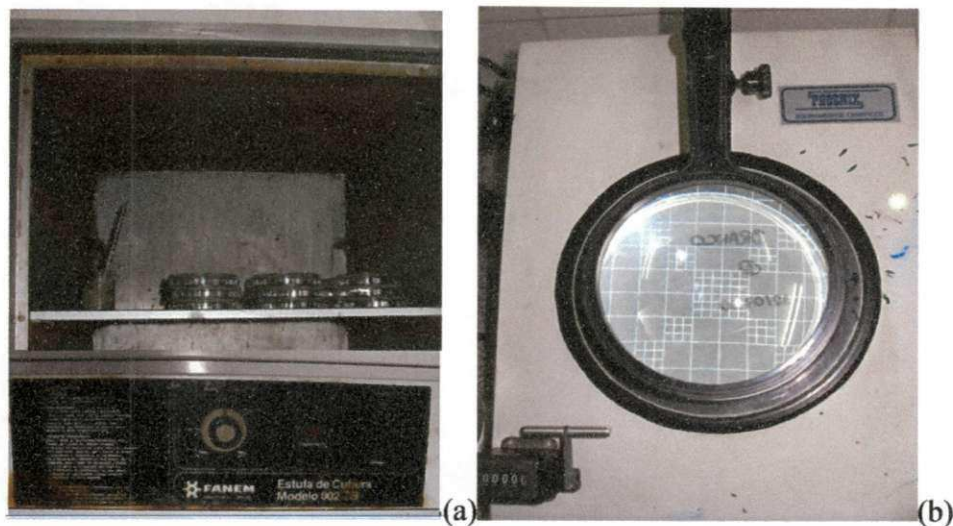


Figura 16 – Placas na estufa (a) e a leitura das placas no contador de colônias (b).

3.3 Desenvolvimento do banco de dados

Para o armazenamento e manipulação dos objetos espaciais, dos dados relacionados aos pontos de monitoramento e variáveis analisadas foi desenvolvido um banco de dados geográficos seguindo o modelo relacional.

Inicialmente foi verificada a possibilidade do desenvolvimento do banco de dados através do módulo *PostGIS*, do *software PostgreSQL*, para facilitar a realização de consultas aos dados espaciais de modo que os resultados pudessem ser exportados ou visualizados em um SIG. Porém, ao observar que os dados de pesquisas anteriores, Guimarães (2010), Meira *et al.*, (2009), referentes ao projeto de vigilância da qualidade da água, e os dados coletados para esta pesquisa estavam sendo dispostos em planilhas do Excel e, após a escolha do SIG, foi verificado que a criação do banco de dados no módulo *PostGIS* seria inviável, foi decidido manter os dados em planilhas do Excel criando uma rotina para a importação dos dados para o SIG.

A inserção dos dados no SIG foi iniciada com a estruturação das tabelas em planilhas Excel para o cálculo das médias dos resultados das análises, como pode ser observado no exemplo da planilha das frações de cloro na Tabela 4.

Tabela 4 - Exemplo da planilha com resultados das frações de cloro.

PADRONIZAÇÕES		DATA	PONTO	AMOSTRAS	LEITURAS DOS VOLUMES DE SFA (ml)						LEITURAS P/DETERMINAÇÃO DAS FRAÇÕES CLORO				CLORO RESIDUAL TOTAL (mgCl ₂ /l)	CRL	MONO	DI	TRI	CRT	CRC
Volume das amostras	V _s (ml)				A	B	C	N	A'	Ar	CRL (A ₁)	Mono (B - A ₁)	Diclo (C - N)	Triclo 2(N - A ₁)							
	100			1	0.4	1.2	2.7	1.0	0.2	0.2											
Data: 02/03/2010		09/03/10	CAGEPA	2	0.4	0.8	2.7	1.0	0.2	0.2	0.2	0.8	1.7	1.6							
Padronizar solução (SFA)				3	0.4	0.9	2.7	1.0	0.2	0.2	CONCENTRAÇÃO DAS FRAÇÕES DE CLORO (mgCl ₂ /l)										
V _(SFA) (ml)	5,8	MÉDIAS DAS LEITURAS		x	0.4	1.0	2.7	1.0	0.2	0.2	0.06	0.22	0.49	0.46	1.24						
N _(SFA) (N)	1.41E-02																				
V _(SFA) (ml)	100																				

Logo após a inserção dos dados nas planilhas e realização do cálculo das médias das variáveis, as tabelas foram estruturadas por cada ponto de monitoramento, como ilustra a Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Ilustração da planilha com os resultados das médias das variáveis analisadas por ponto de monitoramento.

DATA	Coleta	Ponto	Nome do Ponto	pH	T	Turb	COR	CRL	MON	DI	TRI	CRT	CRC	BHF
19/04/10	P8C1	P8	CLEMENTINO PROCOPIO	7,33	27,8	1,46	11,8	0,00	0,11	0,20	0,25	0,56	0,56	13
28/04/10	P8C2	P8	CLEMENTINO PROCOPIO	7,25	26,6	0,41	7,9	0,00	0,14	0,25	0,16	0,55	0,55	12
12/05/10	P8C3	P8	CLEMENTINO PROCOPIO	6,91	28,5	0,69	10,1	0,03	0,31	0,47	0,51	1,31	1,29	12
18/05/10	P8C4	P8	CLEMENTINO PROCOPIO	7,22	27,1	1,04	9,9	0,03	0,14	0,42	0,40	0,99	0,96	2
19/05/10	P8C5	P8	CLEMENTINO PROCOPIO	7,45	28,0	0,72	10,7	0,02	0,17	0,45	0,32	0,96	0,94	317

Em seguida foram calculadas as médias mensais do indicador bactérias heterotróficas por ponto de monitoramento, sendo a tabela salva em formato dbf do Excel (2003) para sua importação no SIG (Figura 17).

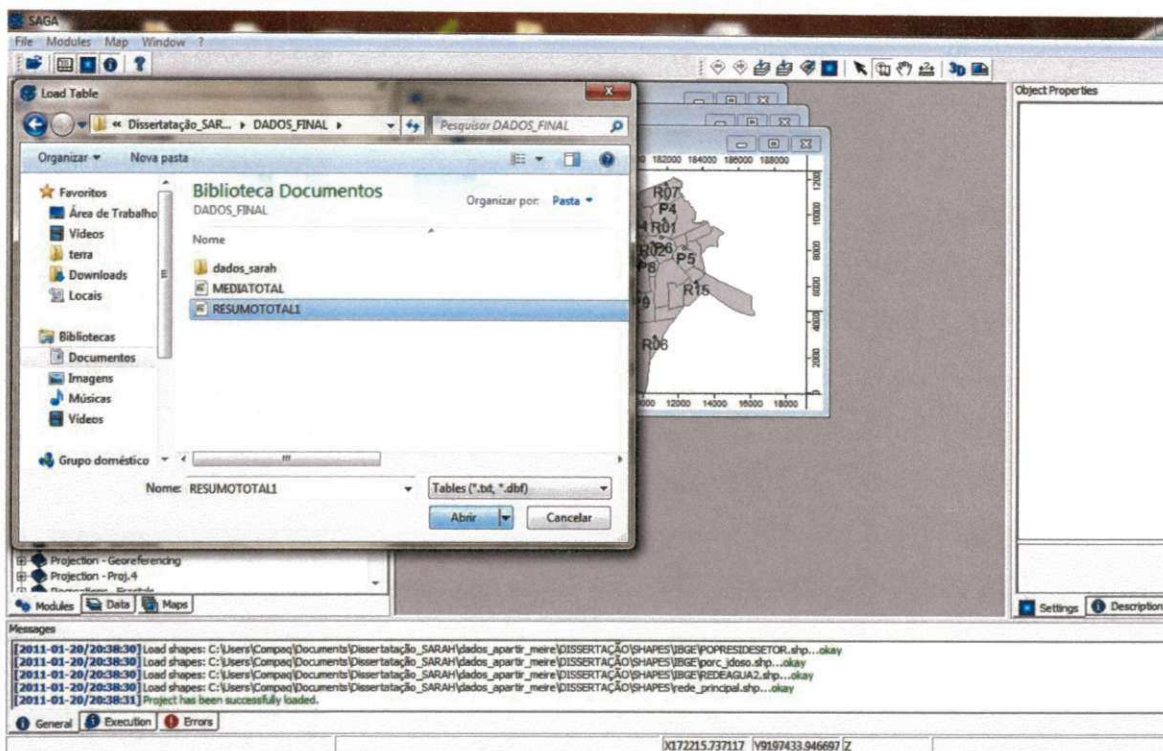


Figura 17 - Importação de tabelas para o SIG.

3.4 Análise estatística dos dados

Inicialmente, foi procedida à análise descritiva dos dados, utilizada para resumir os dados coletados. Em seguida foi procedida à análise das frequências de amostras em conformidade e não conformidade com o que é estabelecido pela Portaria MS 518/04, utilizada para verificar quais pontos de monitoração violaram a respectiva Portaria. Para a análise de frequência foi utilizado o Excel (2003), essas informações foram dispostas em planilhas para posterior importação no SIG.

3.5 Análise espacial dos dados

Na etapa do pré-processamento toda a informação foi implementada no SIG, devido à diversidade das fontes e tipologias das informações envolvidas. As informações devem ter

unidades compatíveis, mesma escala, mesma resolução espacial e um mesmo sistema de referência.

3.5.1 Escolha do software utilizado

Atualmente, existe uma grande variedade de *softwares* de geoprocessamento passíveis de serem utilizados para atender às finalidades de um estudo voltado para a geração de dados georreferenciados, análises, diagnósticos e prognósticos ambientais. Entretanto, com a procura pelo uso dessas novas tecnologias eleva-se o valor das licenças dos *softwares* proprietários inviabilizando muitos projetos em inúmeras empresas e instituições.

Contudo, segundo Uchoa e Ferreira (2004), dois movimentos mudaram este quadro surgindo novas opções para os SIG, que foram à criação do Consórcio Internacional Open Geospatial (OGCA *Open Geospatial Consortium*) e a Fundação do Software Livre (*Free Software Foundation*). Assim, o uso de um SIG para a pesquisa exigiu um levantamento de *softwares* disponíveis.

Entre os SIG gratuitos disponíveis no mercado encontra-se o gvSIG¹ versão 1.9, desenvolvido na Espanha, uma ferramenta com uma interface amigável e voltada para o manejo da informação geográfica, sendo capaz de acessar de forma ágil os formatos mais comuns, tanto *raster* como vetor.

Entretanto, durante a pesquisa foi observado que o *software* de SIG, também gratuito, chamado SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*), desenvolvido pelo Departamento de Geografia Física de Hamburgo, licenciado sob a GPL *General Public Licence*, ou GNU, oferece uma ferramenta que possibilita a transformação de um dado vetor para um grid. Outra vantagem da sua utilização é a importação de tabelas em formato dbf do Excel, possibilitando a importação dessas tabelas de forma ágil e simples, além de permitir fazer a união do atributo (resultados das análises) com informações do ponto de monitoramento (informação espacial).

¹ O gvSIG é um software livre de SIG (Sistema de Informação Geográfica), de fonte aberta desenvolvido pela *Conselleria d'Infraestructures i Transports (CIT)* da Comunidade de Valência, com o apoio da União Européia (GVSIG, 2010).

3.5.2 Implementação dos dados no SIG

No processo de implementação dos dados no SIG, através de níveis de hierarquia foram definidas as etapas como: modelagem dos dados, conexão do banco de dados, importação dos dados e cruzamento das informações.

3.5.3 Desenvolvimento do modelo

Na fase do desenvolvimento do modelo foi realizada uma simulação da implementação do SIG, correspondendo às operações que deverão ser efetuadas, e também a representação dos resultados esperados. Além da realização da escolha dos métodos de combinação, ou seja, métodos que modelem a realidade, considerando o estudo estatístico anteriormente citado.

A utilização do SIG para o processo de gestão da qualidade da água no que se refere à sua vigilância como instrumento na proteção à saúde dos consumidores envolve a realização de tomadas de decisão de forma rápida e eficiente. Contudo, para o processo de tomada de decisão ser eficiente é necessário que a capacidade de um SIG tenha estrutura que permita resolver problemas que caracterizam por envolver objetivos diversificados e critérios múltiplos.

3.6 Geração dos mapas temáticos

Para a geração dos mapas temáticos da análise do perfil da população, frequências de amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04 e variável bactérias heterotróficas foi utilizado o *software* Saga Gis, tendo sido executadas as operações de inserção dos dados da base digital, dos dados IBGE (2000), inserção das tabelas referentes aos indicadores, junção da tabela de atributo (indicadores) com o *shape* escolas (pontos de monitoramento), somatório das colunas de idade da população, definição das classes e geração dos mapas temáticos.

3.6.1 Implementação dos dados no Saga Gis

O processo de implementação dos dados no Saga Gis foi realizado através da definição dos níveis de hierarquia. A primeira operação no Saga Gis foi a inserção dos dados digitais (Figura 18), como limites de bairro, mapa urbano, rede principal, pontos cotados, pontos das escolas, população residente por setor, reservatórios, e zonas de pressão A,B, C e D.

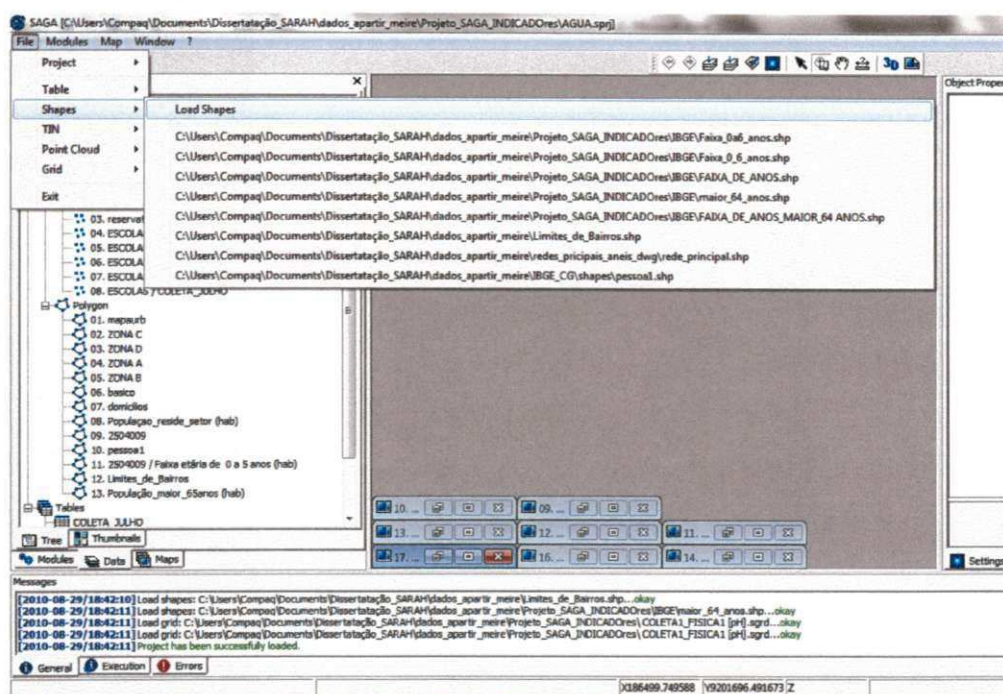


Figura 18 - Inserção dos dados no Saga Gis.

Após a inserção dos dados digitais foram inseridas as tabelas com informações das frequências de amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04, resultados das análises físico-químicas e microbiológicas por ponto monitorado e médias mensais da variável bactérias heterotróficas. A Figura 19 ilustra a referida operação.

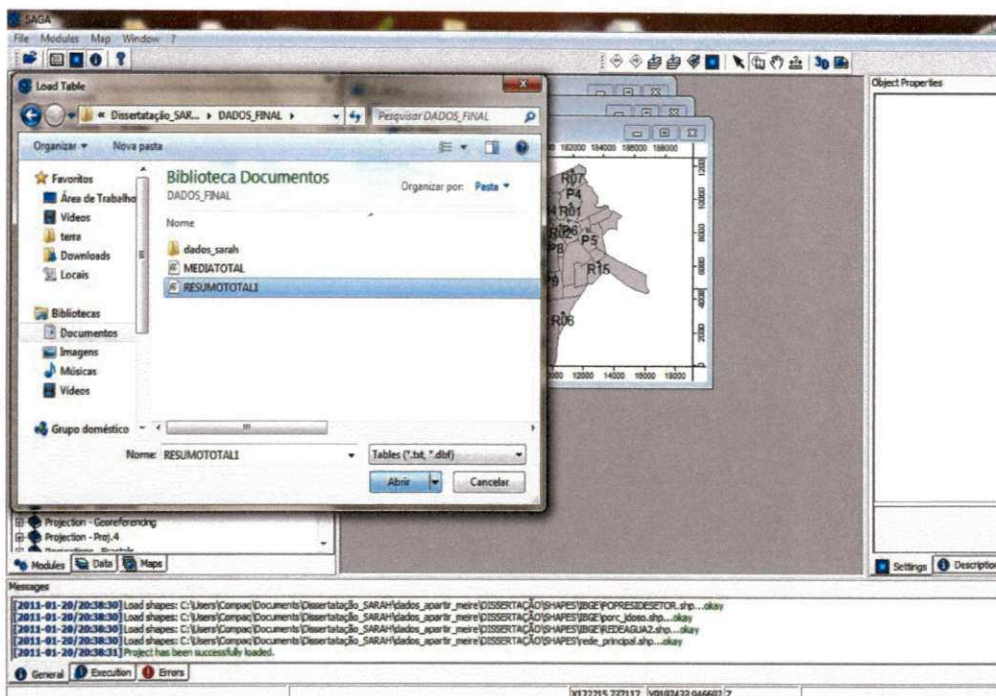


Figura 19 - Ilustração da inserção das tabelas das variáveis analisadas.

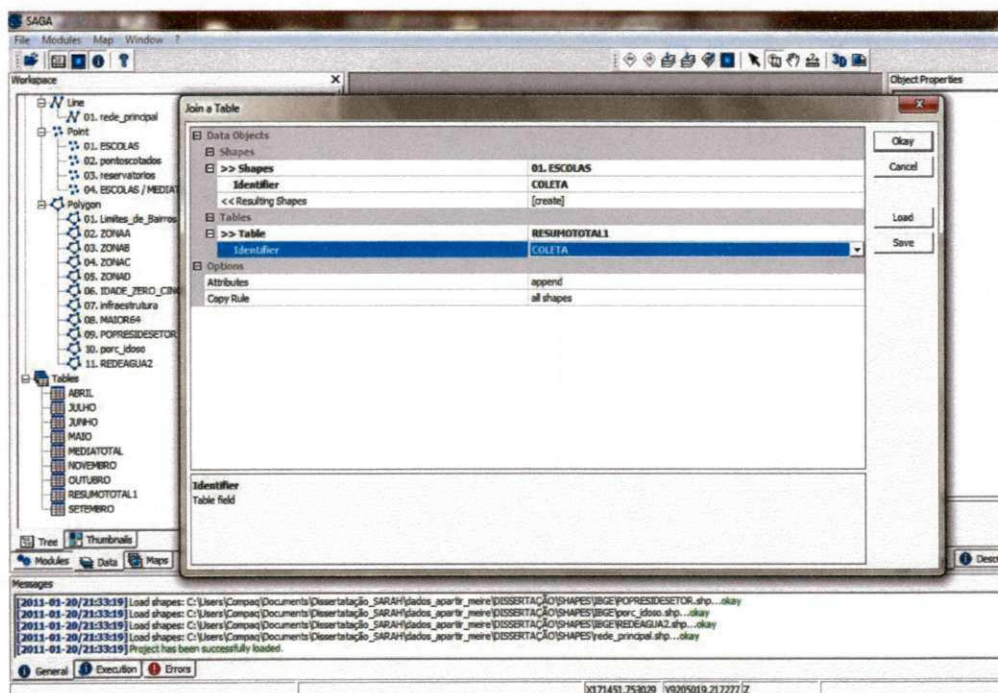


Figura 20 - Junção das tabelas de atributo (coletas) e pontos de monitoramentos (escolas).

A junção das tabelas de atributo (coletas) e pontos de monitoramento (escolas), foi realizada após a inserção dos dados utilizando a ferramenta *Modules* → *shapes tools* → *Join a Table*, como pode ser observada na Figura 20.

- Dados Censitários

Em relação aos dados censitários obtidos do IBGE (2000), após sua inserção no SIG foi necessário definir a coluna referente à população com idade entre 0 e 5 anos por setor, população com idade maior que 65 anos por setor censitário, número de habitantes por setor censitário, domicílio com água tratada, domicílio com esgoto ligado a rede coletora (ou fossa séptica) e domicílio com coleta de lixo por serviço de limpeza,. Em seguida foi realizado o cálculo da soma entre colunas para obtenção do número de pessoas com idades entre 0 e 5 anos e população com mais de 65 anos. A ferramenta utilizada para o cálculo utilizada foi *Module* → *Table Calculus* → *Formula (a+b)*, cujas letras correspondem às colunas que se pretende somar (Figura 21).

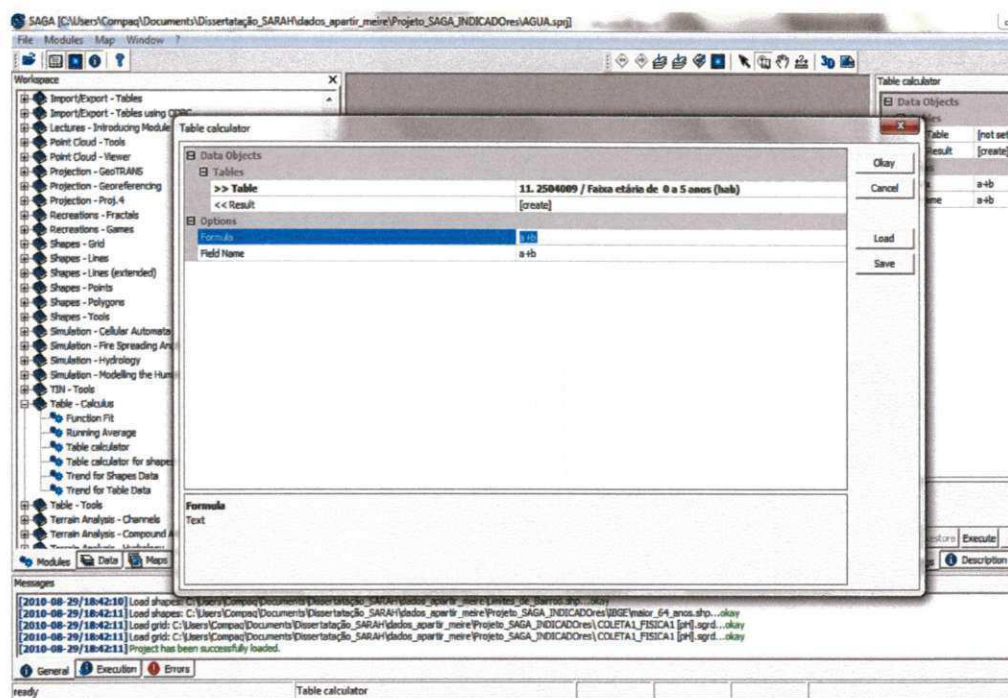


Figura 21 - Ferramenta utilizada para o cálculo da soma entre colunas do atributo.

- Geração das classes

A categoria temática no Saga Gis representa um aspecto do mapa temático, cujos temas das imagens, correspondem a intervalos de valores, chamados de fatias. Cada fatia deverá ser associada a uma classe previamente definida para a categoria temática.

As classes definidas neste estudo correspondem aos intervalos do número de população residente por setor censitário, como ilustra a Figura 22, bem como população entre

0 e 5 anos de idade, população com mais de 65 anos de idade por setor, além das classes definidas em relação à quantidade de bactérias heterotróficas (UFC/mL) entre outros.

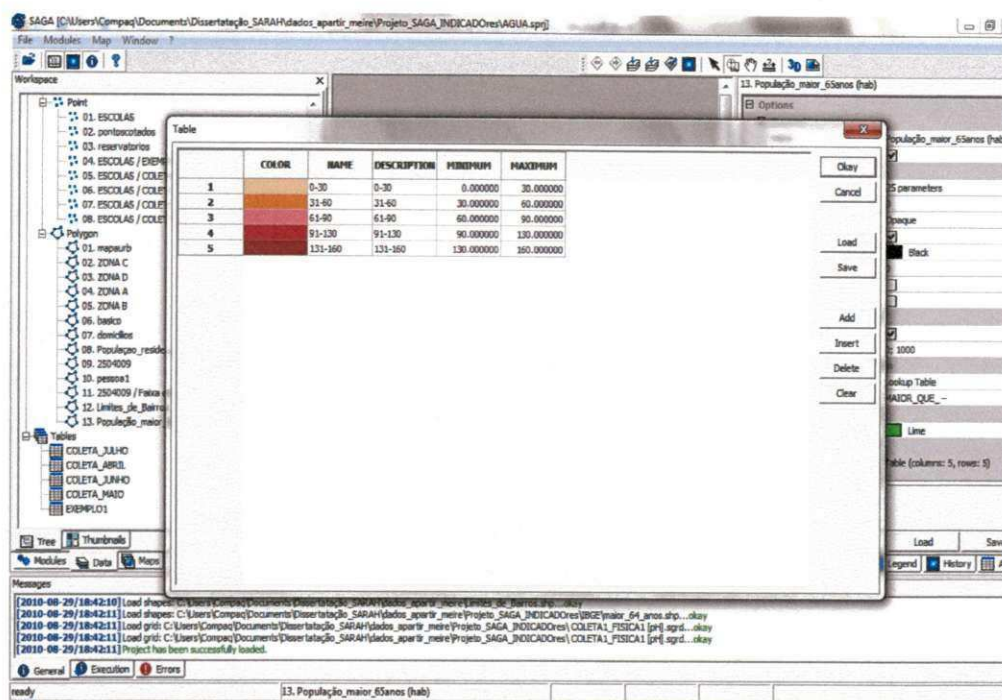


Figura 22 - Ilustração da definição da classe de população (hab) por setor censitário.

3.7 Modelo de análise espacial para integração das informações sobre as características sócio-demográficas e de infra-estrutura

A proposição do modelo depende do estudo do fenômeno e das variáveis que, direta ou indiretamente, o afetam. Desse modo, o modelo espacial visa subsidiar a identificação do perfil da comunidade abastecida em consequência do comprometimento da qualidade da água no sistema de distribuição de Campina Grande, fornecendo aos gestores da vigilância da qualidade da água informações rápidas para uma melhor tomada de decisão.

A geração do modelo não é uma tarefa simples em vista do número de variáveis que podem influenciar na degradação da qualidade da água no sistema de distribuição. Assim, é necessário inicialmente definir as variáveis, forma de entrada e o relacionamento das mesmas dentro do modelo.

3.7.1 Terminologia censitária

A seguir serão citados alguns termos utilizados nos capítulos que discutem o aspecto sócio-demográfico dos mapeamentos, definidos segundo o IBGE (2000):

- **Setor Censitário** - é a menor unidade territorial, com limites físicos identificáveis em campo, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto esgota a totalidade do território nacional, o que permite assegurar a plena cobertura do País.
- **Organização do arquivo agregado por setores** – o arquivo Agregado por Setores Censitários está dividido em planilhas denominadas: *Basico_UF.xls*; *Domicilio_UF.xls*; *Morador_UF.xls*; *Responsável*; *Pessoa*. Todas as planilhas indicadas têm a variável de identificação do setor censitário (*Cod_setor*), a situação e o tipo do setor censitário.
- **Domicílio particular** - moradia de uma pessoa ou de um grupo de pessoas, onde o relacionamento é ditado por laços de parentesco, dependência doméstica ou normas de convivência. O domicílio particular é classificado em **permanente** – localizado em unidade que se destina a servir de moradia (casa, apartamento ou cômodo) e **improvisado** – localizado em unidade que não tem dependência destinada exclusivamente à moradia (loja, sala comercial, prédio em construção, embarcação, carroça, vagão, tenda, barraca, gruta etc., que esteja servindo de moradia).
- **Domicílio com água tratada** - domicílio particular permanente servido por água canalizada proveniente de rede geral de abastecimento, com distribuição interna para um ou mais cômodos.
- **Domicílio com esgoto ligado a rede coletora (ou fossa séptica)** – domicílio particular permanente em que o escoadouro do banheiro ou sanitário de uso dos seus moradores é ligado à rede coletora ou à fossa séptica. **Rede coletora** - quando a canalização das águas servidas ou dos dejetos é ligada a um sistema de coleta que os conduz para o desaguadouro geral da área, região ou município, mesmo que o sistema não tenha estação de tratamento da matéria esgotada; **fossa séptica** - quando as águas servidas e os dejetos são esgotados para uma fossa, onde passam por um tratamento ou decantação, sendo a parte líquida absorvida no próprio terreno ou canalizada para um desaguadouro geral da área, região ou município.

- **Destino do lixo** - proveniente do domicílio particular permanente é classificado como coletado por serviço de limpeza, diretamente por empresa pública ou privada.
- **Moradores em domicílios** - com as informações sobre os moradores por sexo, idade e características do domicílio.
- **Características das pessoas (Idade)** - a idade foi calculada em relação ao dia 31 de julho de 2000. A investigação foi feita por meio da pesquisa do mês e ano do nascimento e, também, da idade da pessoa em 31 de julho de 2000, em anos completos ou em meses completos para as crianças de menos de 1 ano. Para a pessoa que não sabia o mês e o ano do nascimento foi investigada a idade presumida.

3.7.2 Metodologia para a base de dados infra-estrutura básica

Dentre os itens essenciais a serem tratados na vigilância da qualidade da água pode ser destacada as porcentagens de domicílios que possuem, água canalizada servida pela rede geral do sistema de abastecimento de água, esgoto ligado à rede coletora (ou fossa séptica) e que são atendidos por serviço oficial de limpeza. Nesse sentido, deve-se ressaltar a importância que esses serviços de infra-estrutura têm dentro do contexto de água de boa qualidade fornecida ao consumidor, pois influencia diretamente no resultado, visto que se considera um serviço apropriado à boa qualidade de vida e menor risco à saúde do consumidor.

Para a geração dos mapas de infra-estrutura foram inicialmente definidas as tabelas com a quantidade de domicílios por setor censitário a partir dos dados do IBGE, disponibilizadas em planilhas no formato dbf. Essas planilhas correspondem aos setores censitários indicando o código numérico completo por setor de Campina Grande (2504009). Em seguida foi criada uma coluna com a quantidade de setores correspondentes para a realização do cálculo do número de classes da categoria. Portanto, o número de domicílios registrados por setor censitário na cidade de Campina Grande varia, dependendo da localização do setor, sendo necessário efetuar o agrupamento dos dados em classes para exposição tabular sob a expressão cartográfica.

Esse raciocínio seguiu a aplicação da formulação de *Sturges* (Eq. 3), que orienta qual deve ser o número de categorias, de acordo com a quantidade de dados disponíveis. Para um

melhor entendimento a equação abaixo apresenta uma aplicação de *Sturges* em que o número total de setores censitários corresponde a 323 (MARINO, 2008).

$$K = 1 + 3,3 * \log 323 = 1 + 3,3 * 2,65 = 9,28 \approx 10 \text{ classes} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em relação aos dados para geração dos mapas de infra-estrutura básica foram definidos os arquivos a serem utilizados conforme define a Tabela 6.

- **Abastecimento de água** - foi utilizado o valor percentual da população que vive em domicílios com abastecimento adequado de água. Considera-se nesta variável a porcentagem dos domicílios que são abastecidos por água e ligados à rede geral e que têm pelo menos um ponto de água canalizada no interior do domicílio em cada setor censitário.
- **Instalações de esgoto** - foi utilizado o valor percentual da população que vive em domicílios com instalações sanitárias não compartilhadas com outro domicílio, e com escoamento através de fossa séptica ou rede geral de esgoto.
- **Coleta de lixo** - foi utilizado o valor percentual da população que vive em domicílios que são atendidos por serviço oficial de limpeza.

Tabela 6 - Apresentação dos dados utilizados para geração do mapa de infra-estrutura básico de domicílios com água canalizada.

CÓD IBGE	PLANILHA DOMICILIOS dbf. Descrição
V0001	Domicílios (= domicílios particulares + unidades em domicílios coletivos). Total de domicílios por setor.
V0019	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral e canalização em pelo menos um cômodo.
V0030	Domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial
V0049	Domicílios particulares permanentes com lixo coletado por serviço de limpeza.

Após a classificação foi normalizado o campo que tabula a quantidade de domicílios, conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Ilustração da necessidade de normalização das classificações adaptado de Marino (2008).

Setor	Domicílios Abastecidos de Água pela Rede Geral	Total de Domicílios do Setor	Porcentagem
1	50	100	50%
2	50	1000	5%

O procedimento de normalização foi realizado no Saga Gis a partir da ferramenta *Table Calculator* tendo sido gerada a fórmula para criar uma nova coluna com seus resultados. A Figura 23 ilustra o procedimento de normalização no Saga Gis a partir do cálculo da porcentagem que corresponde $((V0030/V001) * 100)$ para esgotamento sanitário, onde cada coluna é representada por letras (V001 = h; V0019= i).

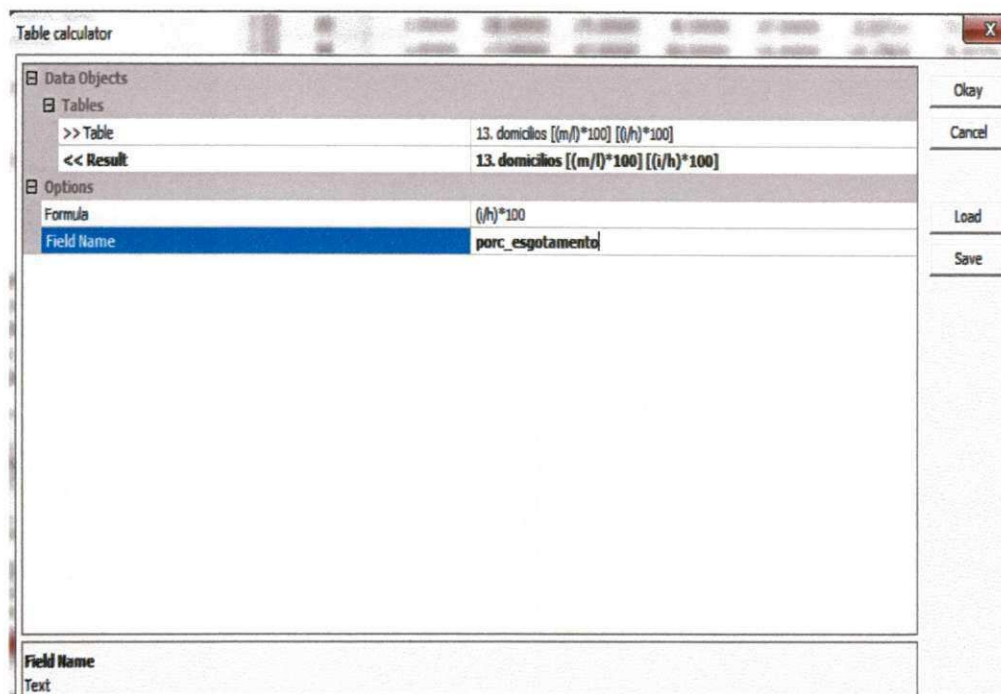


Figura 23 - Ilustração do Saga Gis realizando o cálculo da porcentagem de domicílios com rede de esgotamento por setor.

3.7.3 Metodologia para a base de dados sócio-demográfica (grupo de risco)

A qualidade da água consumida afeta diretamente grupos de maior risco como crianças, idosos e imunodeprimidos (pessoas com sistema imunológico comprometido). Para Calazans *et al.* (2004), as duas classes que estariam mais predispostas a doenças de veiculação hídrica são as crianças, pela imaturidade do sistema imune e os idosos, pela debilitação do mesmo sistema.

Segundo UNICEF (2008) o impacto das doenças diarréicas causam cerca de 4 bilhões de casos de diarreia a cada ano, ocasionando pelo menos 1,8 milhões de mortes, sendo 90% em crianças menores de cinco anos de idade, principalmente nos países em desenvolvimento. Isso é equivalente a uma criança morta a cada 15 segundos. Estas mortes

representam aproximadamente 4% de todas as mortes, e 18% das mortes em crianças menores de cinco anos em países em desenvolvimento. Em que 88% destas mortes são atribuídas ao abastecimento de água insalubre, saneamento inadequado e falta de higiene.

O IBGE considera idosas as pessoas com 60 anos ou mais, mesmo limite de idade considerado pela OMS para os países em desenvolvimento.

Desse modo, para a geração do mapa relacionado ao grupo de risco foram utilizados como variáveis a densidade média da população infantil e a densidade média da população de idosos por domicílio.

O parâmetro densidade média da população infantil por domicílio foi calculado pelo quociente entre a quantidade total de população infantil (V1347, pessoas com zero ano de idade; V1348, pessoas de 1 ano de idade; V1349, pessoas com 2 anos de idade; V1350, pessoas com 3 anos de idade; V1351, pessoas com 4 anos de idade; V1352, pessoas com 5 anos de idade) e o total de domicílios (V001, da planilha domicílios.dbf), seja esse permanente ou improvisado. Como resultado obtém-se a média da densidade infantil daquele setor, conforme ilustrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Apresentação dos dados utilizados para geração do mapa de grupo de risco (população infantil).

CÓD IBGE	PLANILHA DOMICILIOS DBF. Descrição
V0001	Domicílios (= domicílios particulares + unidades em domicílios coletivos). Total de domicílios por setor.
Soma V1347 a V1352 (0-5anos)	Pessoas com 0 anos de idade a pessoas com 5 anos de idade

Porém ao término do cálculo da coluna densidade média, para melhor entendimento, foi estimada a porcentagem. Considera-se nesta variável a porcentagem da população infantil que reside nos domicílios em cada setor censitário. A Tabela 9 resume o exemplo do cálculo da taxa de domicílios com população infantil num setor com 133 crianças e 316 domicílios a qual será igual a 42,08%.

Tabela 9 – Exemplo do cálculo da taxa de domicílios com população infantil.

Setor	Domicílios com população infantil	Total de Domicílios do Setor	Porcentagem
1	133	316	42,08%

A Tabela 8 apresenta os valores utilizados no cálculo da porcentagem, que corresponde a coluna (V 0_5 anos /V001)* 100 para população infantil, onde cada coluna é

representada por letras (V001 = c; V0019= d) no procedimento de normalização realizado no Saga Gis.

A densidade média da população de idosos foi estimada pelo quociente entre a quantidade de idosos (soma das colunas V1461 a V1464) e o total de domicílios (V001, da planilha domicílios.dbf), conforme ilustrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Apresentação dos dados utilizados para a geração do mapa de grupo de risco (população de idosos).

CÓD IBGE	PLANILHA DOMICILIOS DBF. Descrição
V0001	Domicílios (= domicílios particulares + unidades em domicílios coletivos). Total de domicílios por setor.
Soma V1462 a V1464	Pessoas com idade maior que 65 anos de idade

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de analisar o perfil da população que reside nos bairros em que se encontram os pontos de monitoração da pesquisa foram gerados mapas de infra-estrutura básica e sócio-demográficos (grupos de risco) para integrar informações sobre as características da população.

4.1 Mapas sócio-demográficos (grupos de risco)

Analisando o perfil da comunidade abastecida nos respectivos pontos de monitoramento, com mapas gerados a partir da base de dados sócio-demográfica foi constatado que, os pontos de monitoração distribuídos no mapa de porcentagem infantil por domicílios encontram-se em áreas com taxas de 40 a 50% da população infantil por domicílio que reside no setor, com exceção dos pontos P6 e P8 que apresentaram uma taxa de 10 a 20%, como ilustra a Figura 24.

Em relação à porcentagem de idosos que reside nos domicílios por setor censitário (Figura 25) foi observado que os pontos P6 e P8 são localizados em áreas que apresentam uma maior taxa de população de idosos por domicílio entre 40 e 50%. Os pontos P1, P3, P4, P7 e P9 encontram-se em áreas com taxa de 20 a 30%. No caso do ponto P5 correspondem à área com taxa de 30 a 40%.

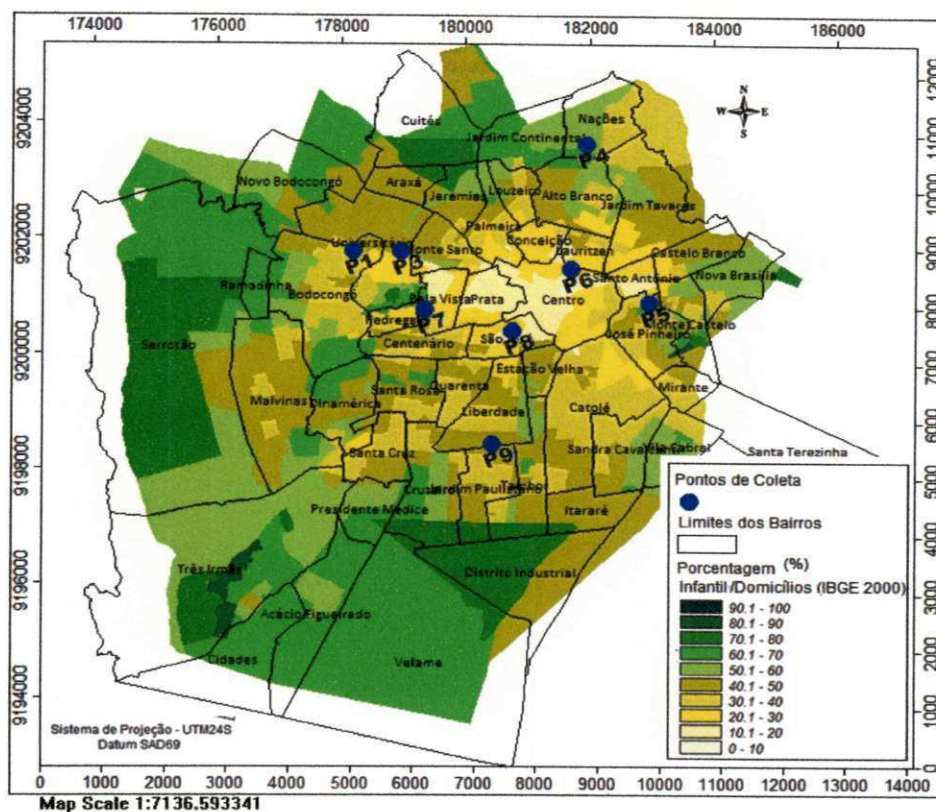


Figura 24 - Mapa temático da população infantil que reside nos domicílios por setor censitário.

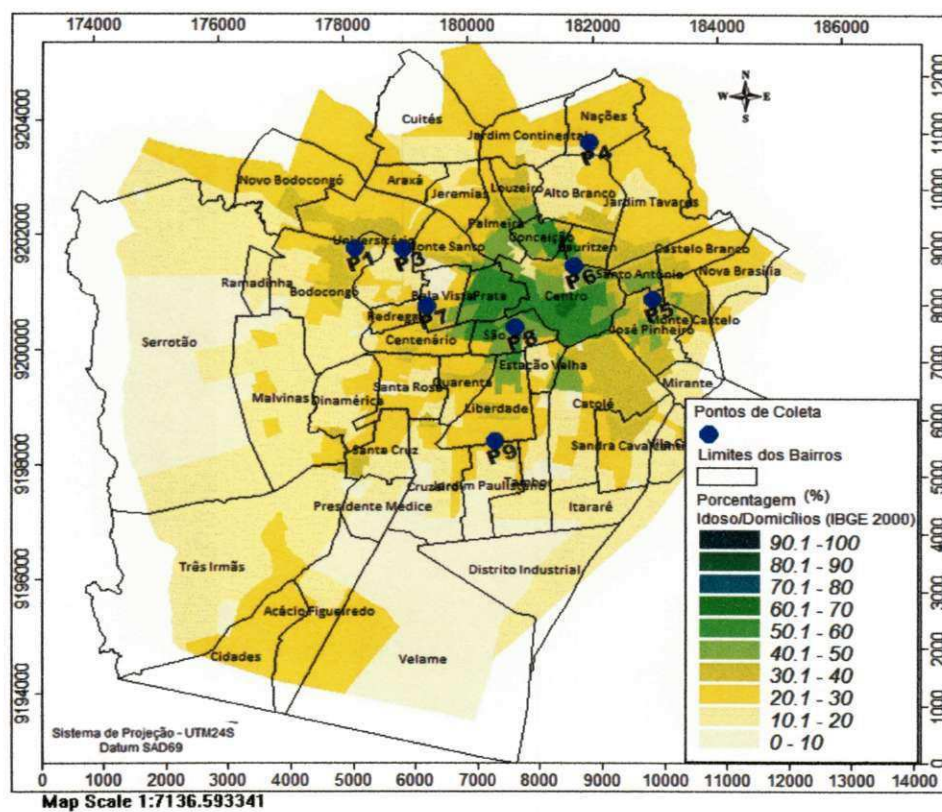


Figura 25 - Mapa temático da população de idosos que residem nos domicílios por setor censitário.

4.2 Mapas de infra-estrutura básica

Analisando o perfil da comunidade abastecida nos respectivos pontos de coleta, com mapas gerados a partir da base de dados de infra-estrutura básica foi constatado na Figura 26, que representa o posicionamento dos pontos de monitoração em relação aos números de domicílios por setor censitário servidos por água canalizada proveniente de rede geral de abastecimento, com exceção dos pontos P3, P5 e P7, situados em setores com 70 a 80% de atendimento, todos os pontos de coleta foram localizados em setores com 90 a 100% dos domicílios abastecidos com água canalizada proveniente de rede geral.

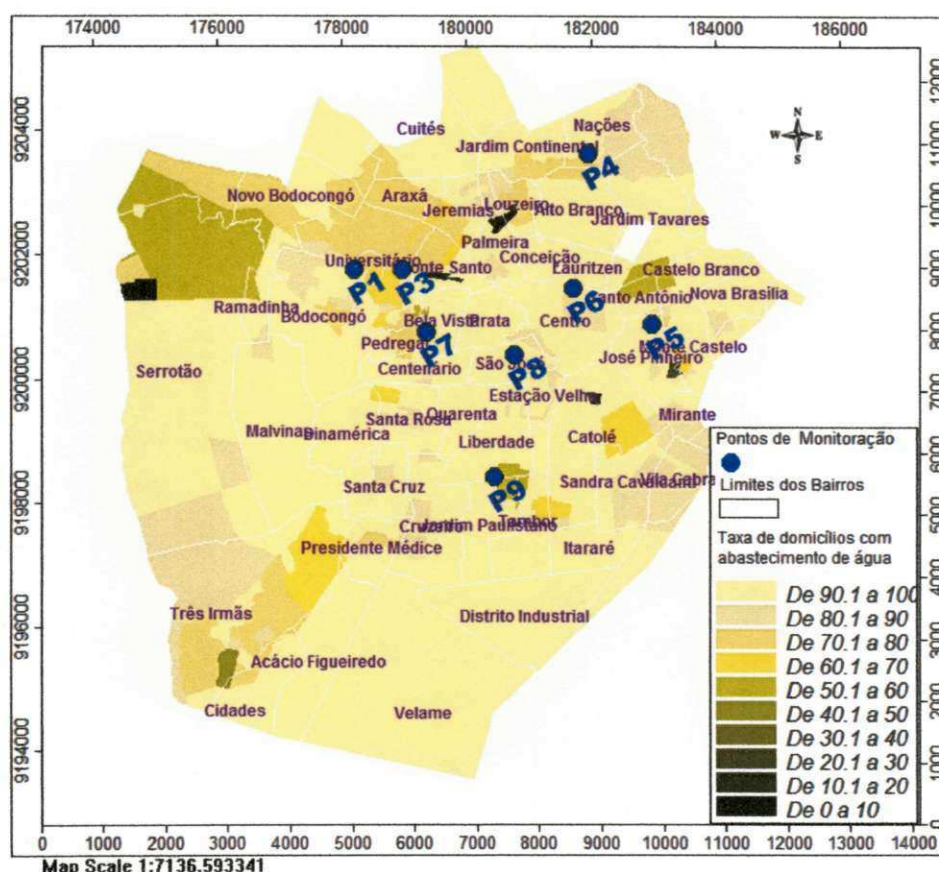


Figura 26 – Mapa temático do número de domicílios servidos por água canalizada proveniente de rede geral de abastecimento.

A Figura 27 representa o posicionamento dos pontos de monitoração em relação aos números de domicílios servidos com esgotamento sanitário. O ponto P3 encontra-se posicionado em áreas com a menor taxa de esgotamento sanitário de 10 a 20%, o ponto P7 em área com taxa de 20 a 30%, os pontos P5 e P9 encontram-se em áreas com taxa de 60 a 80%.

Apresentando maiores taxas estão os pontos P1, P4, P6, P8 e P9 com taxa de 90 a 100% de esgotamento sanitário.

Em relação à taxa de domicílios com coleta de lixo por serviço oficial de limpeza, a Figura 28 apresenta o ponto P3 localizado em área com 30 a 40%, o ponto P5 em área entre 50 a 60%, e o ponto P7 em área com 20 a 30%, em relação aos outros pontos de monitoração estão localizados em áreas com taxa de 90 a 100%.

Esses resultados podem contribuir para a vigilância da qualidade da água, pois permitem, através da análise do perfil dos bairros, a caracterização das áreas servidas por água canalizada proveniente de rede geral de abastecimento, área de esgotamento sanitário, além de indicar as áreas que apresentam grupos de população submetidas a maiores riscos, caso ocorra um comprometimento da qualidade da água de consumo tornando possível uma intervenção mais rápida nessas áreas.

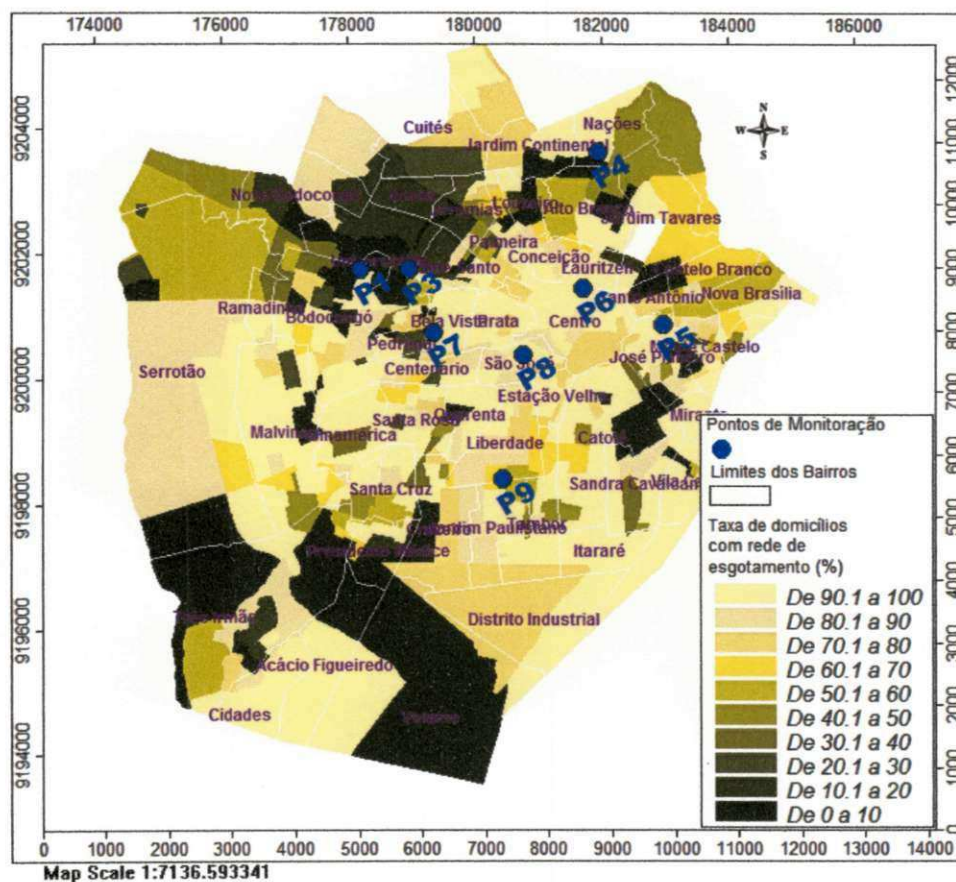


Figura 27– Mapa temático do número de domicílios servidos por esgotamento sanitário.

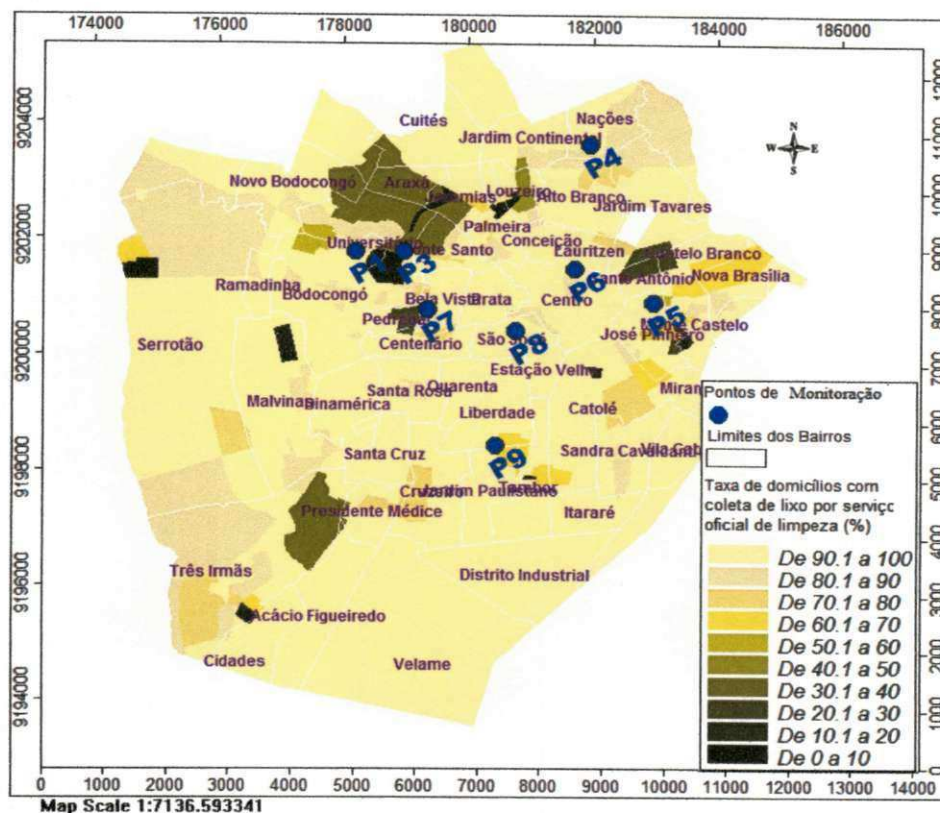


Figura 28 – Mapa temático do número de domicílios servidos com coleta de lixo por serviço oficial de limpeza.

4.3 Análise estatística dos dados

Os resultados da pesquisa foram submetidos à análise descritiva, em cada ponto de monitoração, com o objetivo principal de resumir os dados, dando uma informação inicial a respeito da conservação/degradação da qualidade da água de Campina Grande. Além disso, foi realizada a análise de frequências de amostras que atendem ou não ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04.

Assim, foram geradas tabelas com os dados descritivos e em seguida os mapas temáticos de frequências de amostras em conformidade com o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 518/04.

Na Tabela 11 são apresentadas as concentrações médias de cloro residual livre sendo possível observar que o ponto P8 apresentou a menor concentração média de cloro residual livre, e o P7 a maior concentração. Os demais apresentam concentrações médias maiores que o valor de 0,2 e menor do que valor máximo de 2,0 mgCl₂/L.

A medida de tendência central utilizada (moda) também evidencia os comportamentos distintos dos pontos P8 e P7 devendo ser ressaltado que a moda reveste-se de especial importância na descrição de situações de risco de exposição de grupos humanos vulneráveis a perigos

O ponto P7 apresentou maior desvio para o cloro residual livre, indicando uma maior dispersão dos dados em relação à média, ocasionando maior variabilidade das concentrações de cloro livre nesse ponto.

Tabela 11 – Análise descritiva do cloro residual livre nos pontos de monitoramento.

PONTO	N	Média	Moda	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
P1 UEPB	30	0,71	0,70	0,36	0,00	1,28
P3 SEV. CABRAL	30	1,80	1,37	1,28	0,00	7,13
P4 ANA AZEVEDO	30	1,63	0,97	1,05	0,61	5,32
P5 PLINIO LEMOS	30	1,51	1,40	0,54	0,77	3,20
P6 SOLON DE LUCENA	30	1,42	0,00	0,75	0,00	2,81
P7 MONTE CARMELO	30	2,47	2,62	1,42	0,00	7,18
P8 CLEM. PROCOPIO	30	0,03	0,00	0,03	0,00	0,12
P9 FELIX ARAUJO	30	1,75	1,44	1,03	0,23	6,54

NOTA: N = número de coletas.

Na Figura 29 são visualizados os resultados da frequência para o indicador cloro residual livre. A Portaria MS 518/04 recomenda que o cloro residual livre, que tem maior ação desinfetante que o combinado, deve conter na água um teor mínimo de 0,2 mgCl₂/L e o teor máximo, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mgCl₂/L. Assim, foi constatado que todos os pontos apresentaram violações do padrão de potabilidade estabelecido na legislação. Os pontos P3, P8 e P6 apresentaram 0 a 20% de amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04. No caso do ponto P7 apresentou 20 a 40% das amostras em conformidade com a legislação, e os pontos P1, P4, P5 e P9 apresentaram 81 a 90% das amostras.

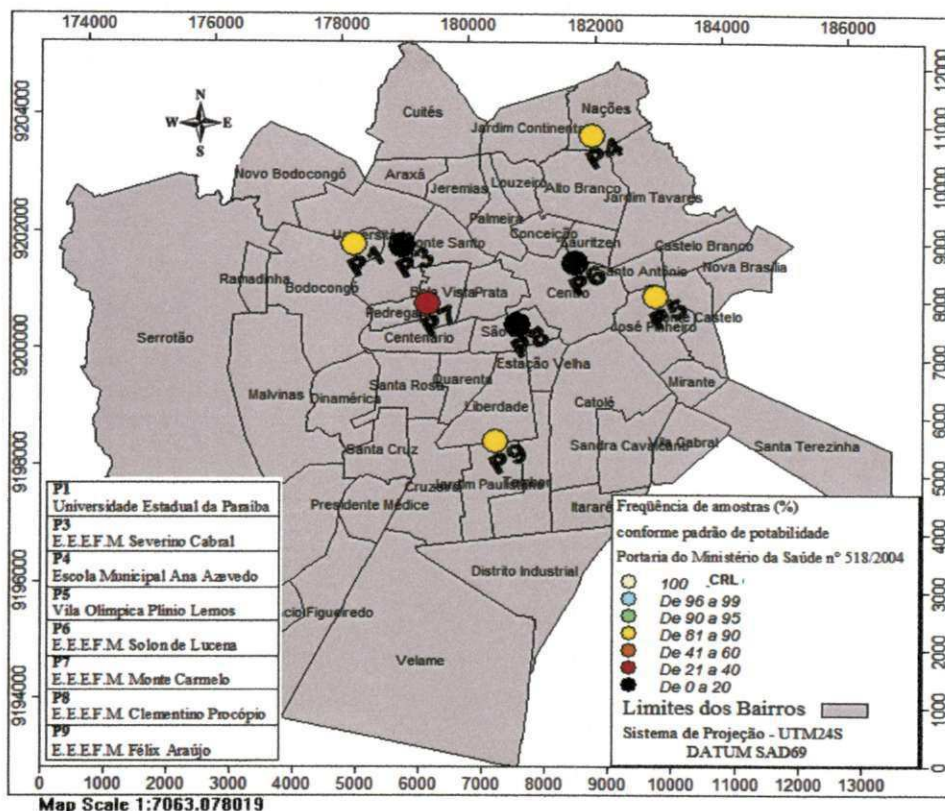


Figura 29 - Mapa de frequência de amostras do indicador cloro residual livre conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.

De todos os pontos analisados o que apresentou a maior frequência de violações foi o P8 com 0% de amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04, segundo os dados apresentados nos gráficos da Figura 30, contrastando com o ponto P5 no qual foi observada, a menor frequência de violações de 90%.

O ponto P7 apresentou violações de concentrações acima do valor máximo permitido pela Portaria MS 518/04 para o cloro residual livre. Como o cloro residual é uma espécie não conservativa, e objetivando a manutenção de níveis adequados de cloro residual livre em todos os pontos da rede, normalmente, eleva-se a concentração inicial na saída da ETA. Esse comportamento pode ter contribuído para o aumento na concentração do cloro residual livre no ponto P7, pois entre os pontos de monitoração estudados esse é o que se encontra mais próximo do reservatório (R5), com distância de tubulação de 2298,07m da saída do reservatório até o ponto de monitoração.

Quando são consideradas as espécies de cloro residual combinado, as dicloraminas têm maior efeito bactericida seguidas das monocloraminas, sendo que as tricloraminas não apresentam qualquer efeito desinfetante.

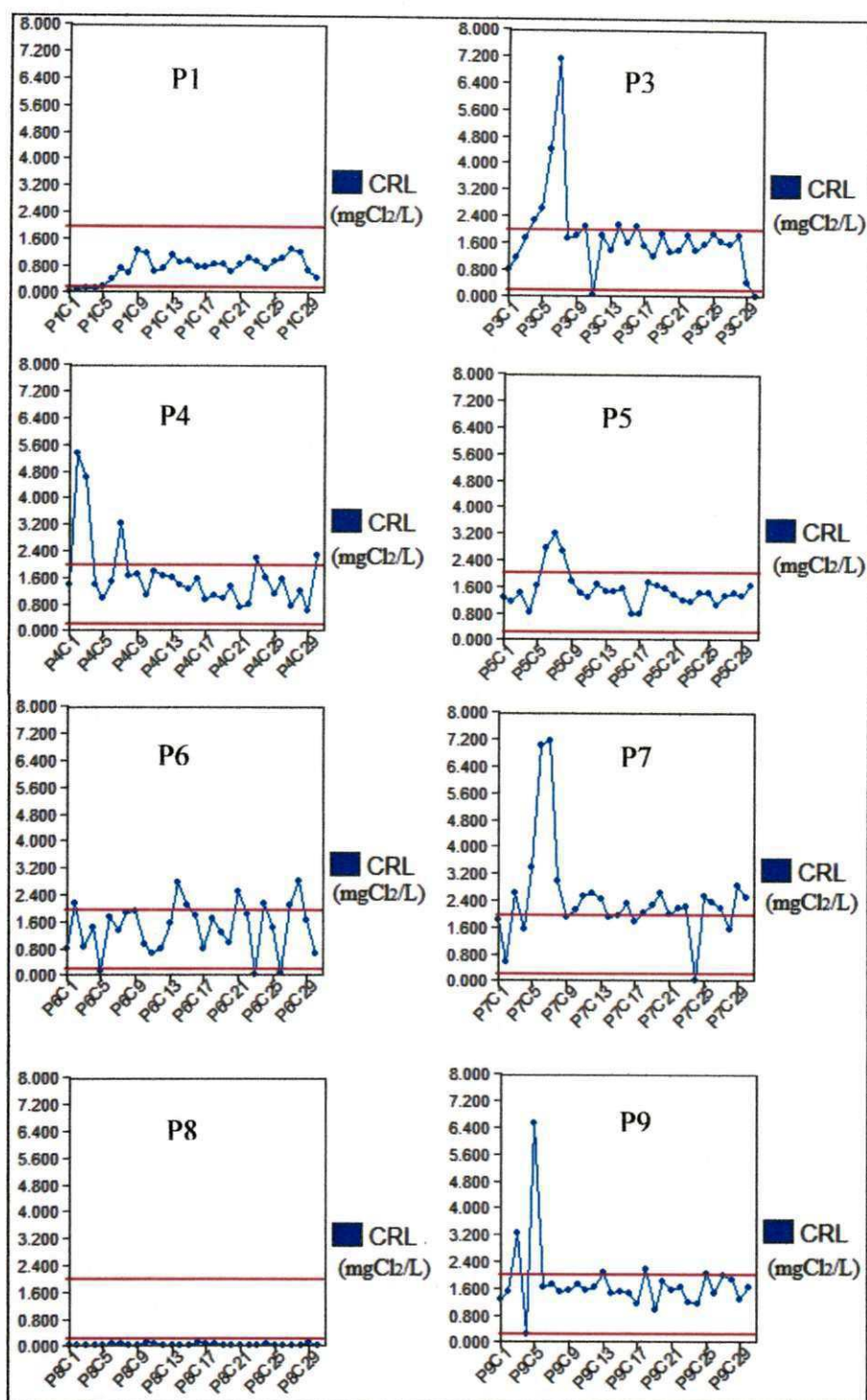


Figura 30 - Gráficos do indicador cloro residual livre por ponto e coletas.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da análise descritiva para o indicador monocloramina, constatando que as concentrações médias dos pontos apresentaram valores de monocloramina inferiores a 3,0 mgCl₂/L.

A Figura 31 apresenta a frequência de amostras 100% em conformidade com a legislação. Uma concentração acima do recomendado $3,0\text{mgCl}_2/\text{L}$ tende a conferir odor e sabor à água fornecida à população podendo, também, ocasionar irritações nos olhos, pele e vias respiratórias.

Tabela 12 – Análise descritiva de monocloramina nos pontos de monitoramento.

PONTO	N	Média	Moda	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
P1 UEPB	30	0,39	0,35	0,15	0,21	1,09
P3 SEV. CABRAL	30	0,56	0,35	0,34	0,1	1,68
P4 ANA AZEVEDO	30	0,55	0,35	0,44	0,31	2,77
P5 PLINIO LEMOS	30	0,57	0,46	0,22	0,33	1,49
P6 SOLON DE LUCENA	30	0,47	0,37	0,27	0,15	1,75
P7 MONTE CARMELO	30	0,58	0,43	0,40	0,20	2,44
P8 CLEM. PROCOPIO	30	0,18	0,14	0,13	0,08	0,82
P9 FELIX ARAUJO	30	0,54	0,38	0,22	0,35	1,42

NOTA: N = número de coletas.

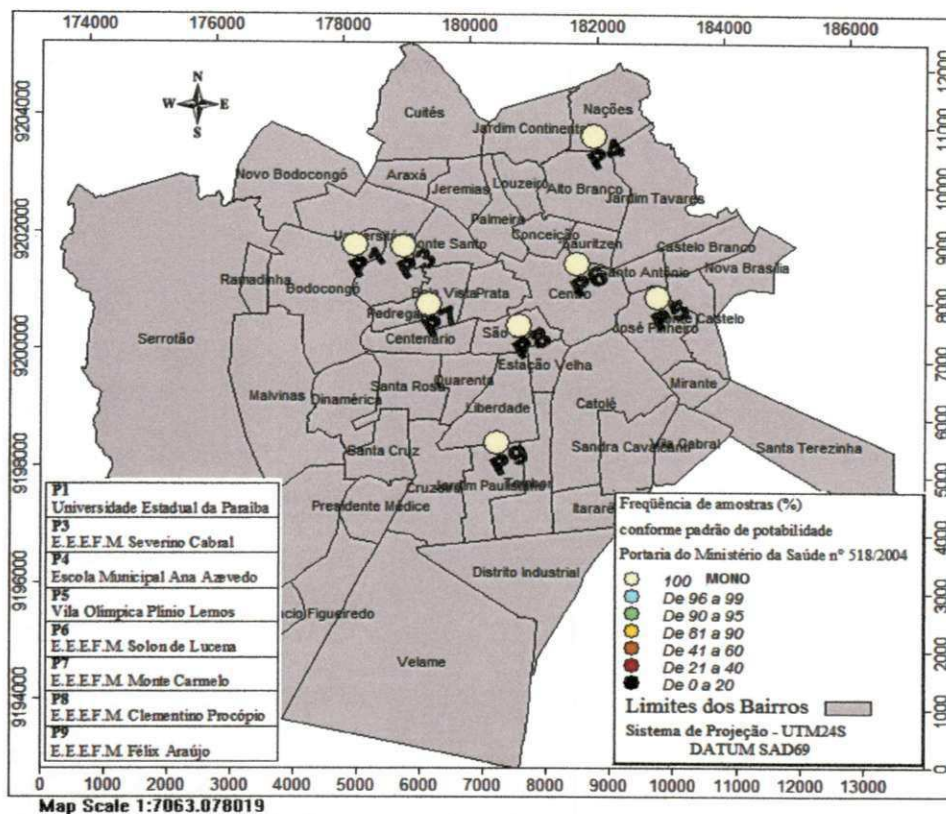


Figura 31 - Mapa de frequência de amostras do indicador monocloramina conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.

Para o indicador bactérias heterotróficas a Portaria MS 518/04 recomenda que deve ser efetuada sua contagem e, uma vez excedidas 500 unidades formadoras de colônia (UFC/mL), devem ser providenciadas imediata coleta, inspeção local e, se constatada irregularidade, outras providências cabíveis.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados da análise descritiva dos dados do indicador bactérias heterotróficas, constatando que os pontos P6 e P8 apresentaram valor médio maior em relação aos pontos monitorados.

Na análise da frequência de amostras do indicador bactérias heterotróficas os resultados podem ser visualizados na Figura 32, apresentando os pontos P1, P6, e P8 como o de pior qualidade da água para esse indicador em relação aos outros pontos, pois os mesmos abrangeram uma faixa de 90 a 99% de amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04. Os demais pontos apresentaram valores em 100% de amostras em conformidade com a legislação.

Na Figura 33, são apresentados os resultados da contagem de bactérias heterotróficas por coleta dos pontos que violaram a Portaria MS 518/04. Assim, podem ser observado como os pontos se comportaram durante as análises.

Tabela 13 - Análise descritiva de bactérias heterotróficas nos pontos de monitoramento

PONTO	N	Média	Moda	Mínimo	Máximo
P1 UEPB	30	41	4	0	709
P3 SEV. CABRAL	30	19	0	0	74
P4 ANA AZEVEDO	30	32	2	0	388
P5 PLINIO LEMOS	30	31	4	2	208
P6 SOLON DE LUCENA	30	71	9	0	612
P7 MONTE CARMELO	30	8	1	0	44
P8 CLEM. PROCOPIO	30	77	12	1	859
P9 FELIX ARAUJO	30	32	5	1	288

NOTA: N = número de coletas.

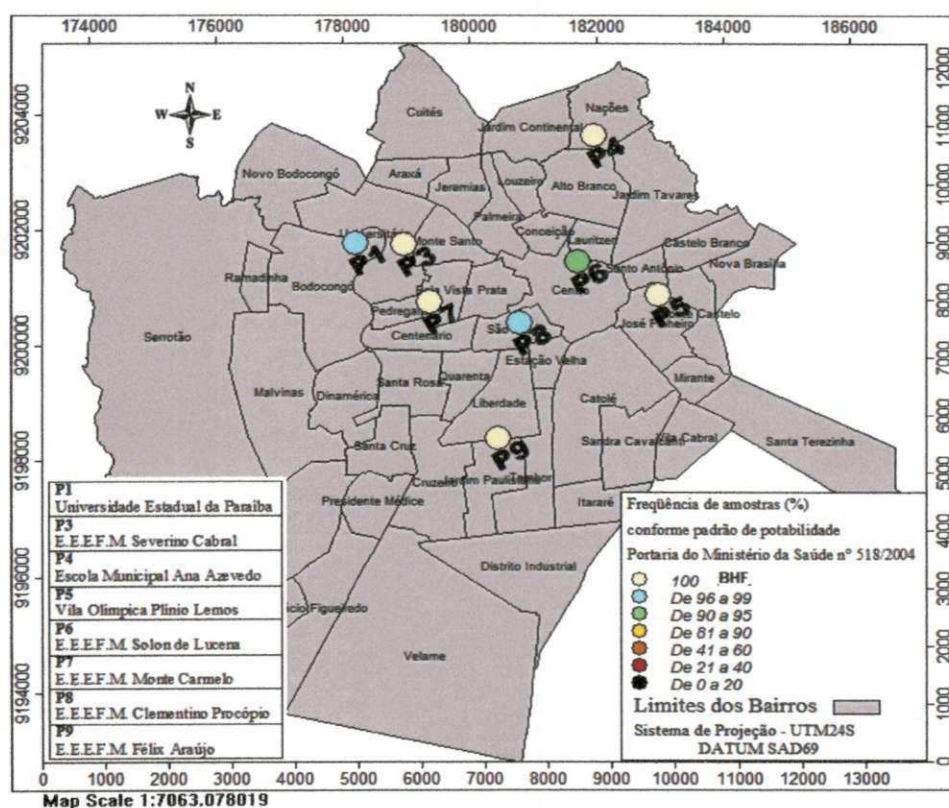


Figura 32 - Mapa de frequência de amostras do indicador bactérias heterotróficas conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.

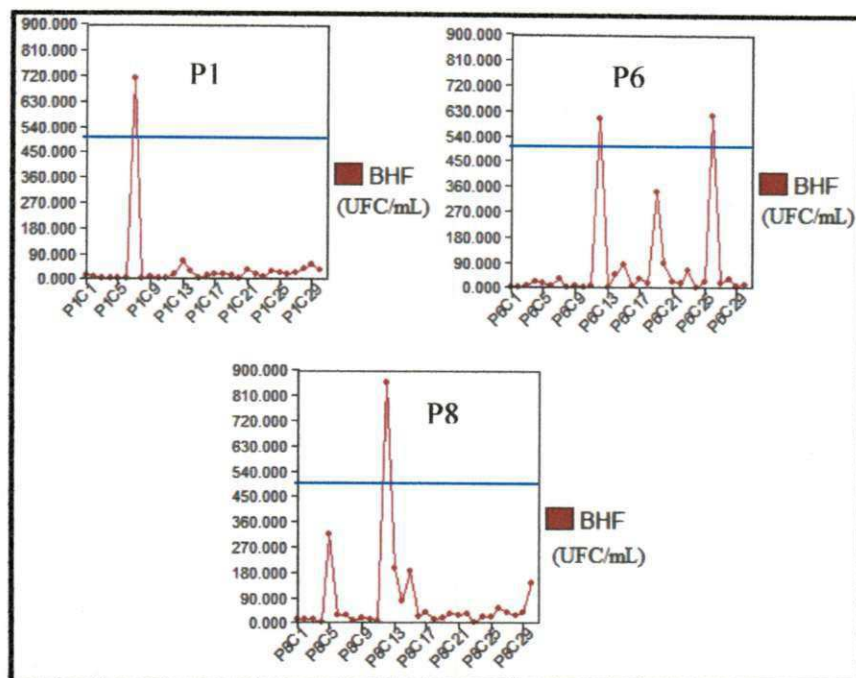


Figura 33 - Gráficos indicador bactérias heterotróficas por ponto e por coletas.

As concentrações das médias de turbidez, na Tabela 14, apresentaram-se na faixa de 0,58 a 1,72 UT. No entanto, em relação ao desvio padrão o ponto P5 apresentou um valor de 3,63 indicando maior dispersão dos dados em relação à média.

Tabela 14 - Análise descritiva de turbidez nos pontos de monitoramento

PONTO	N	Média	Moda	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
P1 UEPB	30	0,58	0,24	0,22	0,17	0,96
P3 SEV. CABRAL	30	0,77	0,71	0,34	0,21	1,81
P4 ANA AZEVEDO	30	0,89	0,68	0,64	0,14	3,59
P5 PLINIO LEMOS	30	1,72	0,39	3,63	0,28	16,47
P6 SOLON DE LUCENA	30	0,74	0,64	0,41	0,20	1,79
P7 MONTE CARMELO	30	0,73	0,72	0,25	0,24	1,50
P8 CLEM. PROCOPIO	30	1,07	0,64	0,51	0,41	2,55
P9 FELIX ARAUJO	30	0,61	0,57	0,23	0,07	0,97

NOTA: N = número de coletas.

Analisando os resultados, Figura 34, do mapa temático de frequência de amostras do indicador turbidez conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04 que recomenda o valor máximo na água para consumo humano 5UT, os pontos, com exceção do P5 que apresentou 81 a 90% das amostras em conformidade com a legislação, encontram-se 100% em conformidade com a referida Portaria.

Na análise do gráfico da Figura 35, podem ser constatado que 10% das amostras do ponto P5 que estão em não conformidade com o valor máximo permitido pela Portaria MS 518/04 de 5UT.

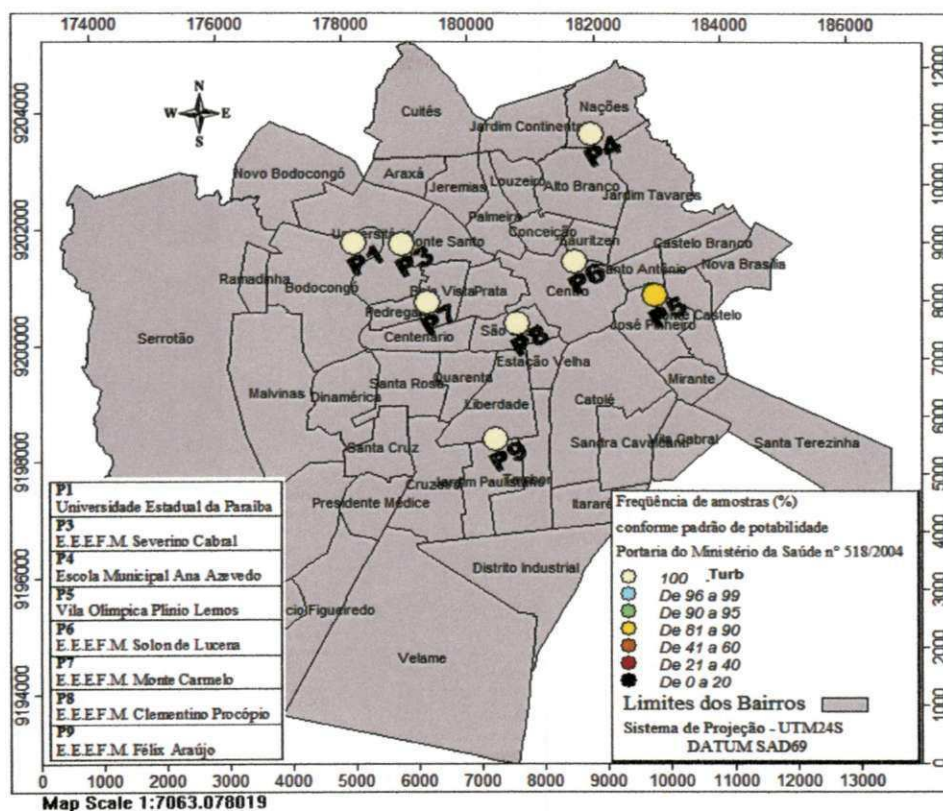


Figura 34- Mapa de frequência de amostras do indicador turbidez conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.

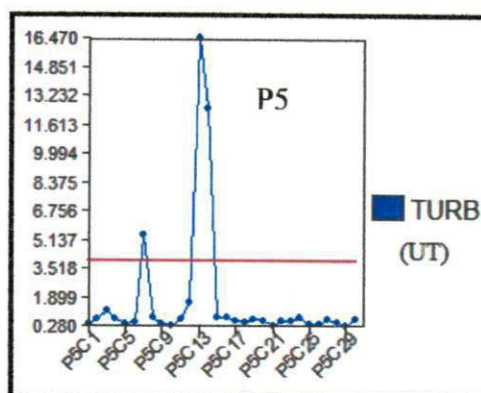


Figura 35 - Gráfico do indicador turbidez por coletas.

A cor aparente apresentou valores médios, Tabela 15, entre 8,3 e 9,1uH, o que, em tese, atende ao estabelecido pela Portaria MS 518/04, mas, nos vários pontos de monitoração, ocorreram dispersões significativas em torno dessas médias.

A análise da frequência de valores do indicador cor em não conformidade com a Portaria MS 518/04 mostrou que, do ponto de vista desse indicador, nos pontos P3, P6 e P9 a água do sistema de distribuição de Campina Grande se apresentou crescentemente mais degradada. De acordo com Figura 36, esses pontos apresentaram uma faixa de 81 a 90% de amostras em conformidade com a legislação. Os pontos P1, P4 e P8 apresentaram 90 a 95%, os pontos P7 e P5 de 96 a 99% de amostras em conformidade com a Portaria MS 518/04. Assim, foi constatado que todos os pontos violaram a legislação.

Tabela 15 - análise descritiva de cor nos pontos de monitoramento.

PONTO	N	Média	Moda	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
P1 UEPB	30	8,39	3,70	4,76	2,50	22,40
P3 SEV. CABRAL	30	9,09	5,00	4,71	2,80	22,50
P4 ANA AZEVEDO	30	8,05	3,00	4,69	1,90	18,10
P5 PLINIO LEMOS	30	8,43	7,80	3,06	2,70	15,50
P6 SOLON DE LUCENA	30	8,38	4,20	3,59	4,20	17,10
P7 MONTE CARMELO	30	7,11	4,50	3,56	3,00	18,80
P8 CLEM. PROCOPIO	30	9,05	5,50	4,01	3,60	19,90
P9 FELIX ARAUJO	30	9,07	4,50	6,24	2,80	22,40

NOTA: N = número de coletas.

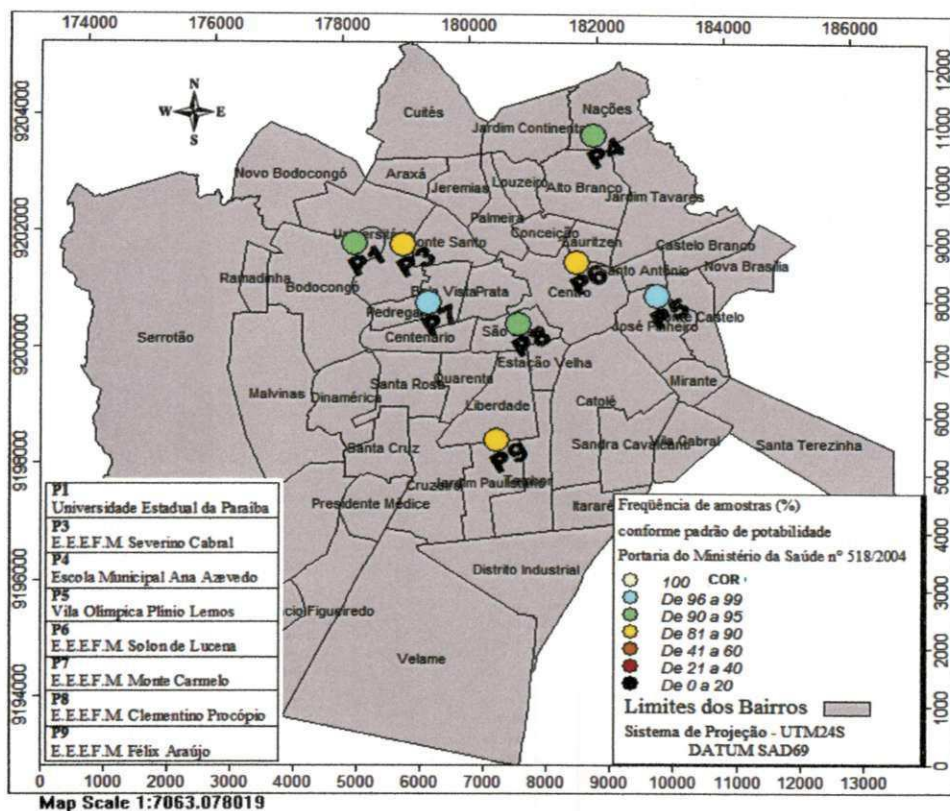


Figura 36- Mapa de frequência de amostras do indicador cor conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.

Analisando os resultados dos gráficos do indicador cor por coleta na Figura 37, podem ser visualizados os dados que não estão em conformidade com a Portaria MS 518/04, observando os valores acima do permitido pela referida Portaria.

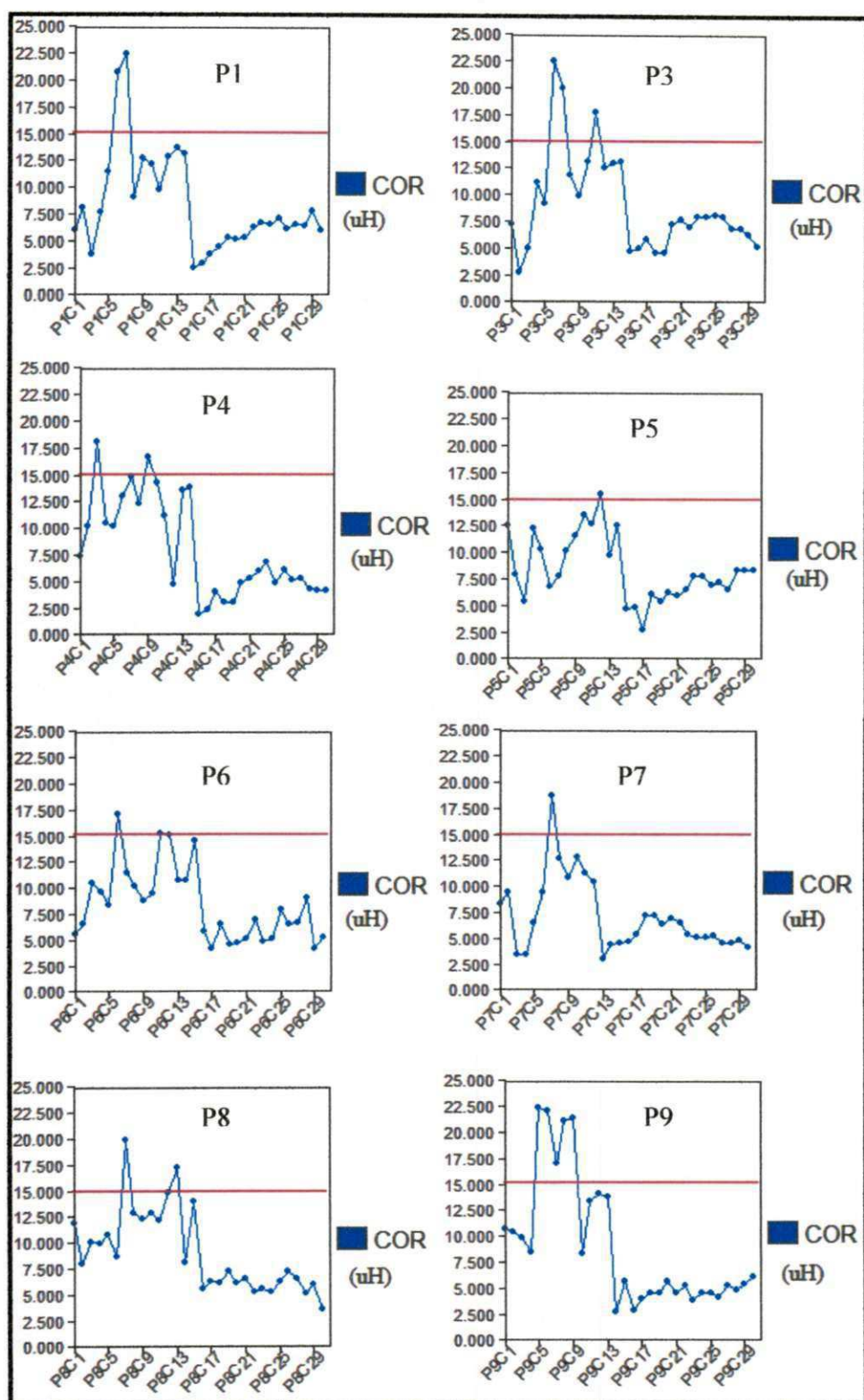


Figura 37 - Gráficos do indicador cor por ponto e por coletas.

A Tabela 16 apresenta os resultados da análise descritiva do indicador pH, constatando que a faixa da média nos pontos de monitoramento encontram-se entre 7,20 a 7,52. Em relação ao desvio padrão não se encontram com grandes desvios em torno da média.

Tabela 16 - análise descritiva de pH nos pontos de monitoramento.

PONTO	N	Média	Moda	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
P1 UEPB	30	7,52	6,53	0,46	6,53	8,11
P3 SEV. CABRAL	30	7,32	7,62	0,40	6,50	8,02
P4 ANA AZEVEDO	30	7,32	6,92	0,32	6,52	7,73
P5 PLINIO LEMOS	30	7,21	7,47	0,50	5,70	7,76
P6 SOLON DE LUCENA	30	7,31	6,52	0,35	6,41	7,77
P7 MONTE CARMELO	30	7,31	7,02	0,31	6,52	7,83
P8 CLEM. PROCOPIO	30	7,28	6,51	0,36	6,51	7,80
P9 FELIX ARAUJO	30	7,39	6,52	0,38	6,52	7,87

NOTA: N = número de coletas.

Em relação ao indicador pH a Portaria MS 518/04 recomenda que, no sistema de distribuição, seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Na Figura 38 são visualizados a frequência de amostras em conformidade com a referida Portaria em que o ponto P5 apresentou uma faixa de 96 a 99%. Os outros pontos encontram-se com amostras 100% em conformidade com a legislação. A Figura 39 apresenta o gráfico para o ponto P5 que se encontra com 3% das amostras em não conformidade com a Portaria MS 518/04.

Assim, após análise do conjunto de indicadores, com o objetivo de informar, quais os pontos encontram-se em conformidade com a Portaria, é constatado que o estado da água apesar das violações é boa. Em relação aos pontos monitorados foram observados os pontos mais privilegiados, (P5 e P9) e os mais prejudicados (P1, P8 e P6) em relação à degradação da qualidade da água.

Na vigilância da qualidade da água para consumo humano é importante que se busque por mecanismos que permitam identificar fatores de risco à saúde e, como também sua evolução espacial e temporal. Assim, é essencial que as informações adquiridas durante o processo de avaliação da qualidade da água, com base na coleta de amostras de água para análises físico-químicas e bacteriológicas, possam ser armazenadas permanentemente em uma base de informações, fornecendo aos profissionais que atuam na vigilância um instrumento valioso de gestão.

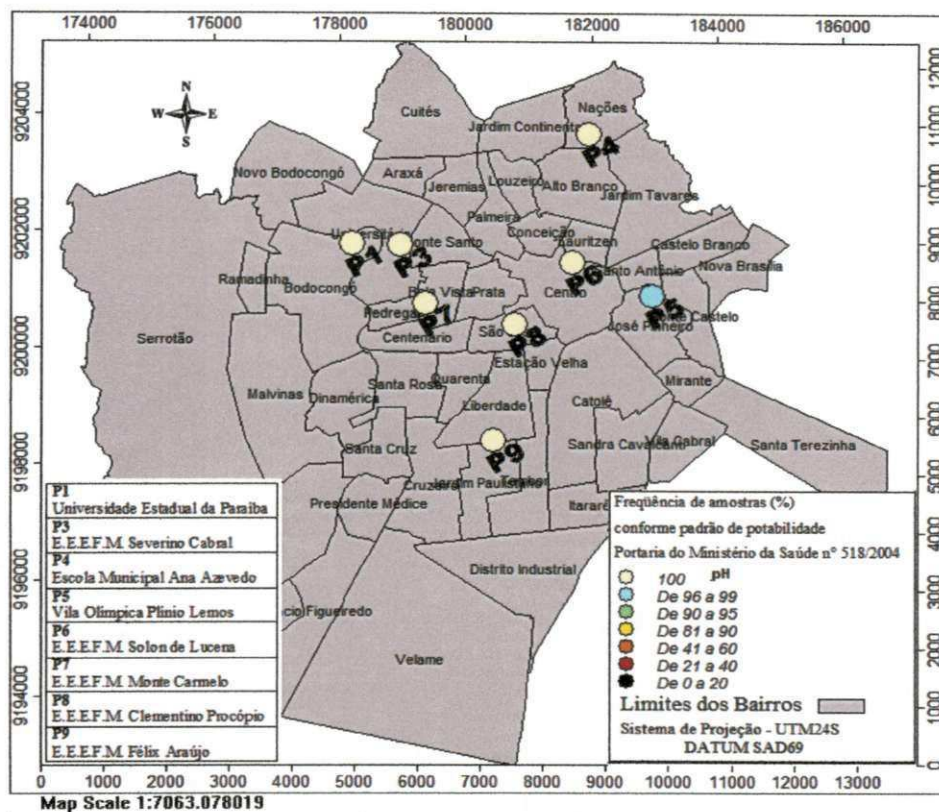


Figura 38 - Mapa de frequência de amostras do indicador pH conforme o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04.

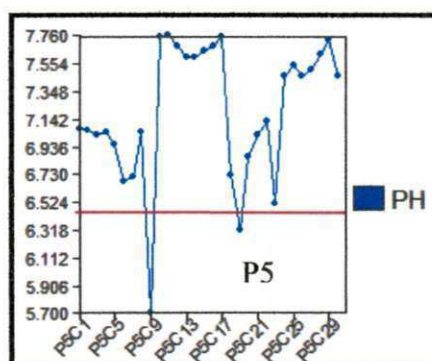


Figura 39 - Gráfico indicador pH do ponto P5 por coletas.

Desse modo, na construção da base de informações, segundo o manual de boas práticas (BRASIL, 2006f), não há necessariamente uma padronização para o cadastro dos sistemas, mas que ela seja a mais completa possível, podendo as informações ser traduzidas em plantas e mapas, arquivados e manuseados em meios eletrônicos.

4.4 Mapas de ocorrência de bactérias heterotróficas no sistema de distribuição de água de Campina Grande

Para o indicador bactérias heterotróficas foram coletadas e analisadas 240 amostras, no período de abril a novembro de 2010, em oito pontos na rede de distribuição de água de Campina Grande.

Com base nas informações coletadas das amostras de água, foram gerados os mapas temáticos de ocorrência de bactérias heterotróficas. Através destes, podem ser visualizadas as faixas de valores (UFC/mL), permitindo realizar análises sobre sua distribuição espacial.

Na Figura 40 e 41 podem ser visualizados os mapas temáticos da ocorrência mensal de bactérias heterotróficas na rede de distribuição de água de Campina Grande. Os resultados das análises foram gerados a partir da média mensal. Analisando os mapas, das Figuras 40 e 41, no período de inverno que é de junho a setembro, é possível constatar que os valores do indicador aumentam em relação a outros períodos, sendo verificado que a pluviosidade pode contribuir para esse aumento, pois favorece o carreamento de materiais particulados de origem orgânica para o interior dos mananciais e, provavelmente, para o interior das tubulações, quando do surgimento de pressões negativas, perda da estanqueidade e danos nas juntas dessas tubulações.

Os pontos P8 e P6 são os mais críticos sendo que, no mês de julho, o P8 apresentou valores na faixa de 200 a 300 UFC/mL, faixa na qual ficaram as contagens de bactérias heterotróficas no ponto P6, no mês de outubro. Isso pode ser atribuído às más condições de conservação das tubulações antigas, predominantemente de cimento amianto, que constituem a rede de distribuição nos setores dos referidos pontos. Segundo Heller (2006) o cimento-amianto não é mais recomendado atualmente, devido a possíveis problemas sanitários decorrentes das fibras utilizadas na produção da tubulação.

biofilmes representam verdadeiros biorreatores dentro da água do sistema de distribuição, em que a resistência dos microrganismos à desinfecção é significativamente aumentada.

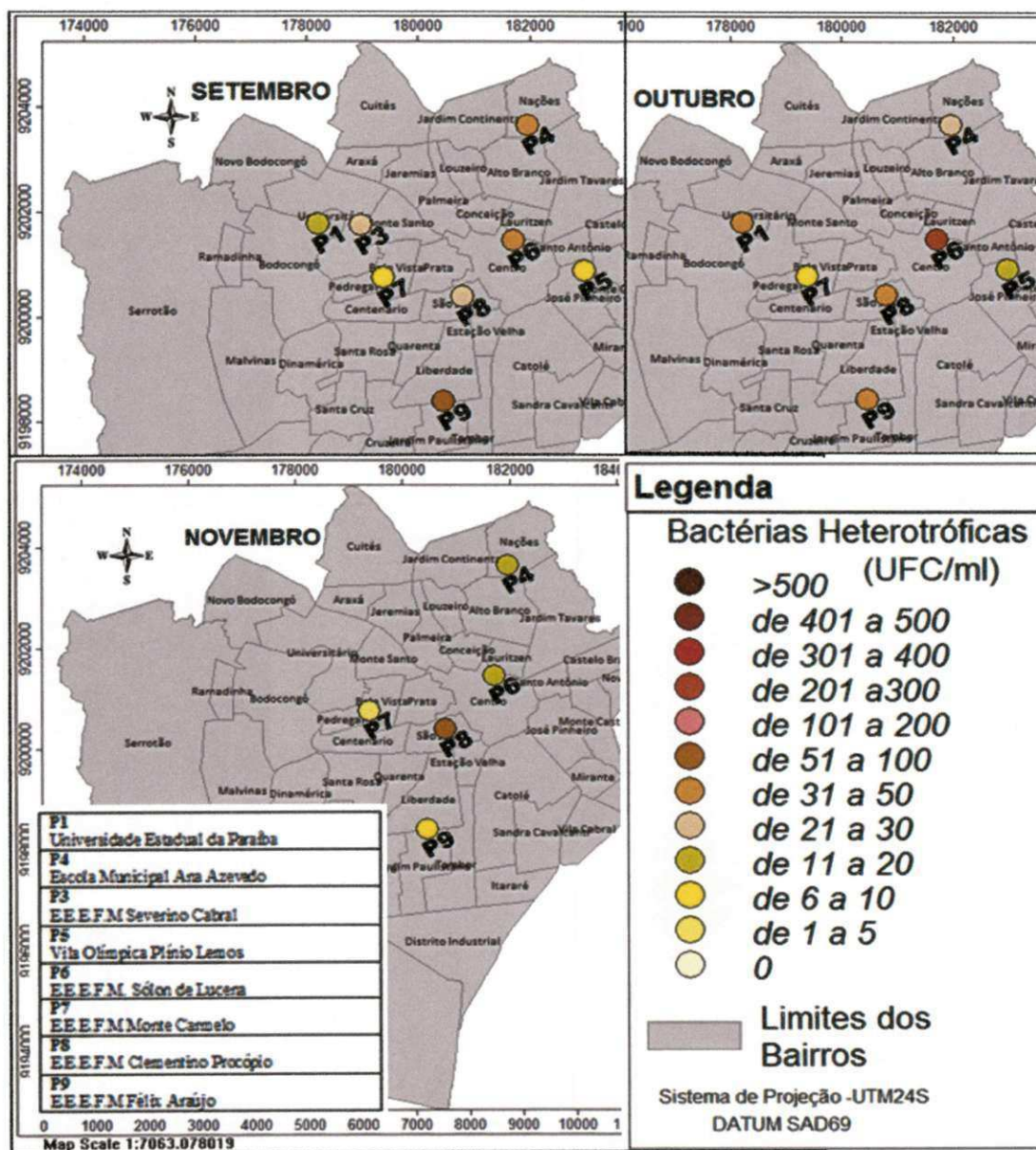


Figura 41- Mapas temáticos de ocorrência de bactérias heterotróficas no sistema de distribuição de água de Campina Grande entre os meses de setembro a novembro.

Portanto, o indicador bactérias heterotróficas não especifica os organismos que são detectados durante a análise, porém as mudanças no padrão da contagem de colônias nas amostras de água podem fornecer uma indicação precoce de uma deterioração significativa da qualidade da água.

4.5 Mapas de indicadores da qualidade da água de consumo

Com a geração dos mapas temáticos pode ser analisada a relação entre o indicador bactérias heterotróficas e outros indicadores como cloro residual livre e turbidez.

De acordo com a *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental* (BRASIL, 2006a), relacionada à qualidade da água para consumo humano a implantação inicial de um programa de vigilância pode ser simples e ter início com o monitoramento da água e com a implantação dos parâmetros de cloro residual livre e turbidez definidos como indicadores sentinelas pela diretriz.

Assim, com a necessidade de buscar um relacionamento maior de contagens de bactérias heterotróficas com outros indicadores de degradação da qualidade da água, especialmente cloro residual livre e turbidez que têm caráter sentinela foram gerados mapas baseados nos resultados de um dia de coleta. A título de exemplo foram escolhidos os resultados da décima segunda coleta (C12), realizada no período chuvoso, em dias diferentes do mês de julho, exemplo considerado por ter resultados mais vulneráveis.

Através da Figura 42 é possível constatar que o comportamento da contagem de bactérias heterotróficas é inversamente relacionado ao do cloro residual livre, cujo consumo determina degradação da qualidade da água. O ponto P8, abastecido pelo reservatório R2, com distância de 1245,38m apresenta o indicador de bactérias heterotróficas com valor maior que 500 UFC/mL e com a menor concentração de cloro residual livre na faixa de 0 a 0,2 mgCl₂/L, o que não está em conformidade com a Portaria MS 518/04 que recomenda a manutenção de, no mínimo, 0,2 mgCl₂/L em qualquer ponto da rede de distribuição e contagem de bactérias heterotróficas menor que 500 (UFC/mL). A turbidez encontra-se na faixa de 0,6 a 1 uT.

No caso do ponto P6 que também não está em conformidade com a Portaria em relação ao indicador bactérias heterotróficas, contagem maior que 500 UFC/mL, apesar de ter uma concentração de cloro residual livre mais alta que o ponto P8, se mostrando em conformidade com a legislação, possui um valor de turbidez mais alto comparado ao ponto P8, na faixa de 1,1 a 1,5 uT.

Desse modo, pode ser verificado que existe uma relação direta entre esses indicadores, e que através dos mapas temáticos os pontos P6 e P8 podem ser definidos como os pontos mais críticos, ou seja, apresentam uma maior degradação da qualidade da água sendo necessário um contínuo monitoramento dessas áreas.

Ainda de acordo com a Figura 42 podem ser verificados que os pontos P6 e P7, apesar de serem abastecidos pelo mesmo reservatório R5 apresentam resultados distintos para os indicadores bactérias heterotróficas e cloro residual livre respectivamente. O ponto P6 encontra-se com valor maior que 500 UFC/mL e 0,6 a 1,0mgCl₂/L, enquanto o P7 encontra-se numa faixa média de 11 a 20 UFC/mL e 2,6 a 3,5mgCl₂/L, estando a concentração de cloro residual livre no ponto P7 em não conformidade com a Portaria MS 518/04, que estabelece um valor máximo de 2,0mgCl₂/L em qualquer ponto de abastecimento. Assim, torna-se perceptível que a distância do reservatório para cada ponto abastecido pode contribuir para a variação inversa dos resultados de cloro residual livre e de bactérias heterotróficas, conforme demonstrado pelos pontos P7, distante 791,75m, e P6, distante 2298,07m do reservatório R5.

Os pontos P3, P5 e P9, são abastecidos diretamente pelo reservatório R9, com distâncias de 4315,91, 4959,43 e 2097,10m respectivamente, apresentam concentrações de cloro residual livre na mesma faixa de 1,6 a 2,5mgCl₂/L. Quanto ao indicador bactérias heterotróficas os pontos apresentaram valores na faixa de 6 a 20 UFC/mL para os pontos P3 e P5 e de 31 a 50 UFC/mL para o ponto P9. Em relação à turbidez os valores resultaram em 0,3 a 0,5UT para o ponto P3, 1,6 a 2,5 para o ponto P5 e 0,6 a 1,0 para o ponto P9. Por ser o R9 o reservatório principal e receber diretamente a água desinfetada na Estação de Tratamento de Água, provavelmente tenha contribuído para esses resultados, outro motivo que pode influenciar para esses resultados são as condições dos tipos de canalizações.

O ponto P1 abastecido pelo reservatório R10, a uma distância de 2155,53m, apresentou concentração média de cloro residual livre na faixa de 0,6 a 1,0mgCl₂/L, indicador bactérias heterotróficas na faixa média de 31 a 50 (UFC/mL), e turbidez 0,3 a 0,5, esses valores apresentam que nessa coleta (C12) esse ponto é o que se apresenta com melhor qualidade da água, visto que todos os indicadores encontram-se dentro dos valores estabelecido pela Portaria MS 518/04.

Na Figura 42, os valores para o indicador turbidez apresentam-se em conformidade com o valor máximo recomendado pela Portaria MS 518/04 que é de 5,0UT. O ponto P5, situado à maior distância (4959,43m) do reservatório que o abastece (R9), em relação aos outros pontos de coleta, apresentou o valor de turbidez mais alto de 1,6 a 2,5UT, sugerindo assim que a distância e as características da tubulação podem contribuir para esse valor visto que a turbidez está relacionada à presença de materiais em suspensão.

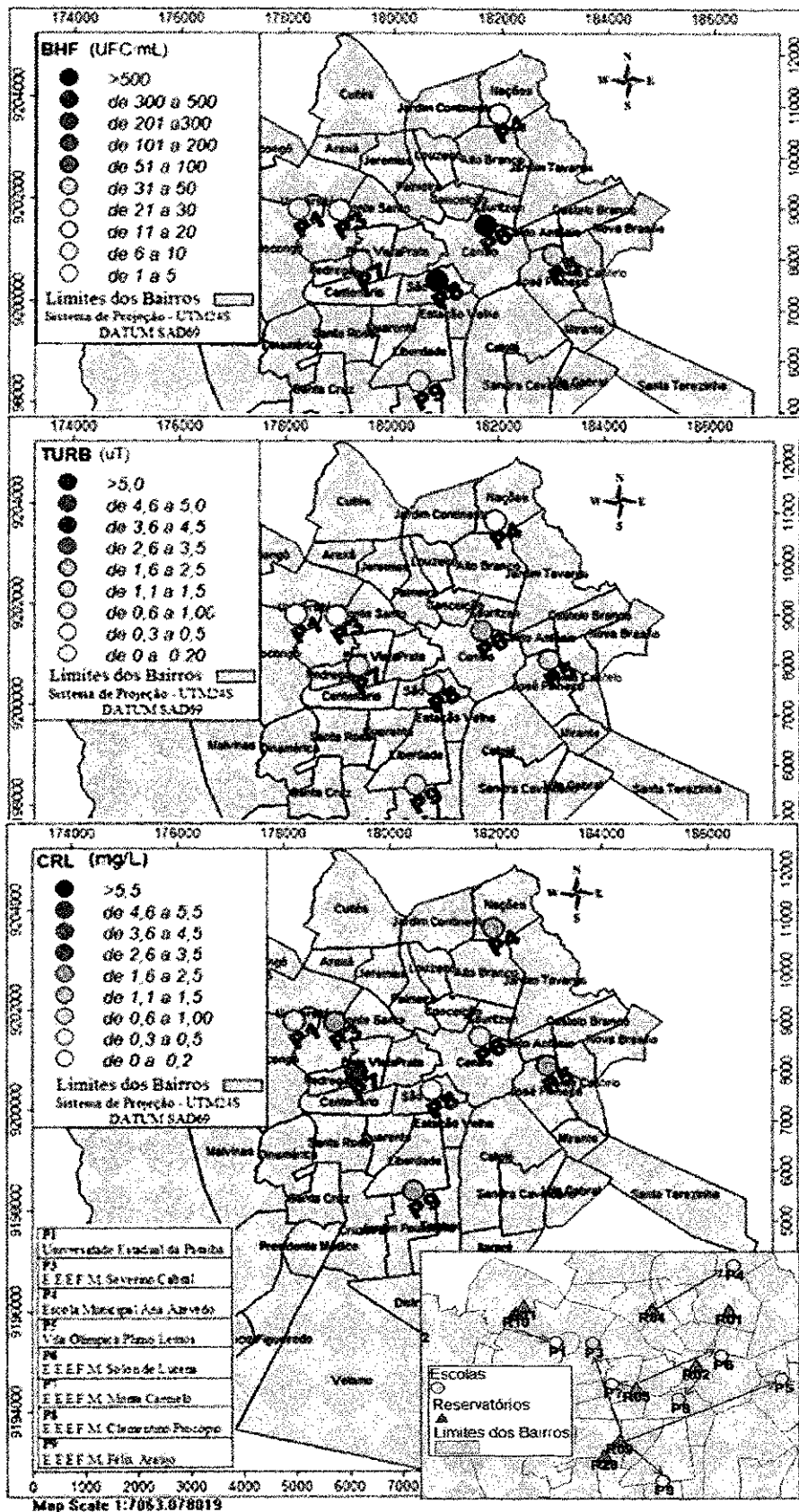


Figura 42 - Mapa temático de relacionamento dos indicadores sentinelas e mapa ilustrativo dos reservatórios que abastecem cada ponto de monitoração.

5.0 CONCLUSÕES

Pode-se considerar que foi alcançado o objetivo da pesquisa de avaliar a degradação da qualidade da água do sistema de distribuição de Campina Grande através da distribuição espacial de bactérias heterotróficas com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas.

A análise dos mapas temáticos de infra-estrutura básica e sócio-demográficos (grupos de risco) possibilita avaliar visualmente, áreas que apresentem uma maior probabilidade de risco à população que consome água do sistema de distribuição, no caso de alguma alteração que possa ocorrer no sistema, e áreas que ainda não tenham acesso à rede, estando a população susceptível a consumir água de baixa qualidade.

A água do sistema de distribuição de Campina Grande apresentou violações do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 518/04, principalmente para o indicador cloro residual livre e bactérias heterotróficas. Analisando os resultados podemos constatar que a água de abastecimento público de Campina Grande requer vigilância contínua principalmente nos pontos P6 e P8 onde foi verificada uma maior degradação da sua qualidade.

Quanto aos resultados dos mapas temáticos de frequência de amostras do indicador bactérias heterotróficas em conformidade com o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04 apresentaram violação os pontos P1, P6 e P8.

Nos mapas de ocorrência de bactérias heterotróficas das estimativas das médias mensais os pontos P8 e P6 apresentaram resultados menos favoráveis em comparação com outros pontos.

Bons resultados foram observados na construção dos mapas de indicadores da qualidade da água de consumo humano. A partir da análise do conjunto de mapas foi constatado que, com exceção do indicador monocloramina, todos os indicadores analisados violaram a legislação.

Nos mapas temáticos de frequência de amostras do indicador cloro residual livre em conformidade com o padrão de potabilidade estabelecida pela Portaria MS 518/04 podem ser verificadas violações em todos os pontos. O ponto P8 apresentou 100% de violações, por possuir tubulações mais antigas, torna-se mais vulnerável apresentando um residual de cloro livre abaixo do recomendado pela legislação, oferecendo risco à saúde da população. Em contraste, o ponto P7, por se encontrar muito próximo ao reservatório, está sujeito a supercloração, causa efeitos danosos sobre a saúde humana e, portanto, representa um

6.0 RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados da pesquisa é recomendável que seja realizada a contínua vigilância da qualidade da água distribuída na área mais crítica em que se localizam os pontos P8 (E.E.E.F.M Clementino Procópio) e P6 (E.E.E.F.M. Solon de Lucena) como forma de garantir o padrão de qualidade da água para consumo.

É recomendável que, a partir dos novos dados censitários disponíveis de 2010, seja realizada novamente a geração dos mapas temáticos de infra-estrutura básica e sócio-demográficos (grupos de risco), para a avaliação dos impactos das mudanças dos resultados ao longo de uma década.

Sugere-se a continuidade e o desenvolvimento do trabalho mais aprofundado no que se refere ao estudo da elaboração de mapas de intensidade de risco em consequência do comprometimento da qualidade da água no sistema de distribuição, através do Vista Saga, para realizar a validação dos dados.

É recomendável a divulgação dos resultados das ações de controle e vigilância para conscientização do público em geral quanto aos riscos associados à qualidade da água que é consumida.

É recomendável a continuidade de estudos utilizando SIG, para o aperfeiçoamento e validação da proposta do plano de amostragem, facilitando o desenvolvimento das ações de vigilância da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em out. 2009.

AESA - Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.lmrs-semarh.ufcg.edu.br/meteoro/chuvas_ano200609_dados.shtml>. Acesso em out. 2009.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços.. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, 1998.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

BARTRAM, J.; COTRUVO, J.; EXNER, M.; FRICKER C.; GLASMACHER, A. **Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety: The significance of HPCs for water quality and the human health**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/Biblioteca/Support%20docs%20GDWQ/HPCFull.pdf>>. Acesso em março de 2010.

BERNADO, L. de (Coord.). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

BOAS, C. de L. V. **Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/Analise%20da%20Aplicacao%20de%20Metodos%20Multicriterios%20de%20Apoio%20a%20Decisao%20na%20Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf>>. Acessado em fev. de 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Portaria N° 518**, de 25 de março de 2004. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006a.



BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de saneamento**. 3.ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006c.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006d.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006e.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006f.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em out. de 2009.

CALAZANS, G. M. T.; ALMEIDA, F. R.; JÁCOME Jr, A. T.; ESPINDULA, J. C. **Análises bacteriológicas de águas provenientes de creches, asilos e poços artesianos situados próximos ao Campus da UFPE**. In: Anais do 2º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. Belo Horizonte, 2004.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B.; **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**. Rio de Janeiro, 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Definições de Geoprocessamento**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001. Livro on-line, Divisão de Processamento de imagens do INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em out. 2010.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2ed Revisada e Ampliada, São José dos Campos: INPE, 1998.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001. Livro on-line, Divisão de Processamento de imagens do INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em out. de 2010.

CETESB. **Variáveis de qualidade das águas**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Outubro de 2001. Disponível: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#serie>>. Acesso em out. de 2010.

CORDÃO, M. J. de S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias**. Campina Grande, 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2009.

FRANCATO, A. L., BARBOSA, P. S. F. **Operação Otimizada de Sistemas Urbanos de Abastecimento**. IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Pais de Língua Oficial Portuguesa – IV SILUBESA. Anais. Coimbra: Portugal. 1999.

FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S., CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Livro on-line, Divisão de Processamento de imagens do INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em out. de 2010.

GUIMARÃES, R. M. **Ocorrência de cloro residual combinado no sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB)**. Campina Grande - PB: UFCG, 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

GVSIG. Disponível em: <<http://www.gvsig.org/web/home/organization/missao-visao-e-valores>>. Acesso em fev. 2010.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2ed. Campinas: Átomo, 2008.

MARIN, T. B. **Metodologia para tomada de decisão no âmbito de riscos sócio-ambientais em áreas urbanas: Desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do córrego Cabuçu de Baixo –SP**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, 2008.

MEIRA, C. M. B. S.; OLIVEIRA, R. de; COURA, M. de A.; GALDINO, F. A. G.; GOMES, T. N. **Monitoração de indicadores sentinelas para a vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB)**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, Anais. ABES, 2009.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G.. Técnicas de Inferência Espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M.a de (Org.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: EMBRAPA, 2007.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: EMBRAPA, 2005.

OPAS - Organización Panamericana de la Salud. **La desinfección Del agua**. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional para las Américas. Disponível em <<http://www.euro.who.int/en/home>>. Acesso em ago. 2010.

OPAS - Organización Panamericana de Saúde. **Água e Saúde**. Brasil: OMS, 2001.

PHILIPPI JR., A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Ied. Barueri: Manole, 2005.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Do Autor, 2000.

SILVA; S. A.; OLIVEIRA, R. de. **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande: O Autor, 2001. 266p.

SILVA, J. X.. Geoprocessamento em Estudos Ambientais. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M.a de (Org.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: EMBRAPA, 2007.

SILVA, J. X. da; TAVARES, R. Z. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

SOUZA, S. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais à degradação da qualidade da água**. XI Curso de Especialização - UFMG. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia. Belo Horizonte, 2008.

UNICEF. **Unicef Handbook on Water Quality**. United Nations Children's Fund (UNICEF), New York, 2008. Disponível em < <http://www.unicef.org/wes>>. Acesso em out. 2010.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológicos de águas residuárias: introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Volume 1. Belo Horizonte: UFMG; 1995.

WEDC. Water, Engineering and Development Centre. **Water Supply Surveillance: A reference manual**. Loughborough University, UK Howard, A.G. (2002). Disponível em: <<http://www.lboro.ac.uk/wedc/publications/wss-rm.htm>>. Acesso em: out. 2010.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda, Vol.1, Recommendations**. -- 3ed. World Health Organization, 2008.

WIKIPEDIA. **Statistical Package for the Social Scienc**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/SPSS>>. Acesso em fev. 2010.

ZEILHOFER, P.; ZEILHOFER, L. V. A. C.; HARDOIM, E. L; LIMA, Z. M. de; OLIVEIRA, C. S. GIS applications for mapping and spatial modeling of urban-use water quality: a case study in District of Cuiabá, Mato Grosso, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 2007.

