UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RESERVATÓRIO E DO SOLO DA ZONA RIPÁRIA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO RIO GRANDE DO NORTE

RADMILA SALVIANO FERREIRA

NATAL – RN

2015

RADMILA SALVIANO FERREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária,da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Vanessa Becker

Co-orientadora: Profa. Dra Karina Patrícia Vieira da Cunha

NATAL – RN

2015

RADMILA SALVIANO FERREIRA

QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RESERVATÓRIO E DO SOLO DA ZONA RIPÁRIA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO RIO GRANDE DO NORTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Vanessa Becker – Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Dra. Fabiana Oliveira de Araújo Silva – Examinadora Externa
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dra.Joana D'Arc Freire de Medeiros – Examinadora Externa
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte– Examinador Externo
Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN

NATAL – RN

2015

Catalogação da Publicação na Fonte

Biblioteca Central Zila Mamede – Setor de Informação e Referência

Ferreira, Radmila Salviano.

Qualidade da água de um reservatório e do solo da zona ripária sob diferentes usos na região semiárida do Rio Grande do Norte / Radmila Salviano Ferreira. - Natal, 2015.

41 f : il.

Orientadora: Vanessa Becker.

Dedico aos meus pais, Valdete Salviano Ferreira e Francisco Ferreira das Chagas, à minha irmã, Raissa Camila Salviano Ferreira, e ao meu noivo, Iagê Terra Guedes de Oliveira, por me fornecerem os elementos principais para a elaboração deste trabalho: amor, sábios conselhos e ensinamentos e por acreditarem em mim (por muitas vezes mais do que eu mesma). Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e à minha irmã por formarem a minha base e sempre acreditarem em mim, pelos preciosos ensinamentos e principalmente pelos inúmeros esforços e desafios que passaram para que eu chegasse até aqui.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa através do projeto MEVEMUC (Monitoramento da Evaporação e Mudanças Climáticas no Rio Grande do Norte) e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado durante o primeiro ano.

À minha orientadora Professora Dra. Vanessa Becker,que me aceitou como orientanda mesmo não tendo sido sua aluna e acreditou até o fim, mesmo com tamanhas adversidades. Obrigada pelos nossos encontros nos finais de semama e feriados em virtude dos meus horários, obrigada pela compreensão e sensibilidade em mudar o foco da pesquisa para que se tornasse mais viável e por todo incentivo ao longo desse período. Obrigada mesmo de coração por toda a paciência.

Á minha Co-orientadora, Professora Dra. Karina Cunha, que me acolheu na mudança de projeto e me mostrou uma área nova, desafiadora e encantadora e vêm contribuindo para o meu crescimento profissional.

Agradeço também ao professor Arthur Mattos, pelos conselhos e contribuições na minha banca de qualificação e por proporcionar a todos os "mevemucanos" a oportunidade de poder trabalhar num projeto tão grandioso.

Ao LARHISA (Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) pelo espaço concedido para os estudos e elaboração desta pesquisa e a todos que fizeram parte desse projeto (e agregados), muitos inclusive que não tive a oportunidade de conhecer bem: Jurandir, Conceição, Kátia, Herison, Ângela, Laíssa, Maricota, Fabiana, Aline, Rudah, Gustavo, Carol, Silvana, Gabi, Hérika, Carlos, Camila, Isaac e Jéssica. Em especial agradeço a Silvana a quem eu sempre recorria quando tinha dúvidas sobre os dados limnológicos e também à Fabiana e à Aline.

Ao meu amigo, "fiel escudeiro" e chefe da CAERN Inácio Josival Santos, por toda flexibilidade em permitir desenvolver esta pesquisa e pela sua preciosa amizade.

Aos amigos da CAERN, principalmente os gerentes José Nilson e Rosy pelo apoio durante este período e também ao amigo Saint-Clair pela ajuda no abstract e a formatação e por proporcionar o agradável clima de nosso ambiente de trabalho.

Às minhas amigas/irmãs da Sauna, Alice, Itaciara, Gabi e Deise por todos os momentos felizes que temos vivido (e os perrengues também), pelo companheirismo, pelo apoio, pela amizade e pelo aprendizado diário. Sem vocês eu não teria conseguido.

À Jacinto do DNOCS de Cruzeta por ter me acompanhado na visita de reconhecimento ao entorno do Reservatório de Cruzeta e também aos alunos da prof. Karina que me ajudaram na coleta das amostras de solo.

Ao nosso motorista querido seu Assis, ou "coleguinha", peça fundamental nas coletas sempre nos alegrando com seu bom humor.

Aos pescadores, mecânicos, donos de restaurantes do Seridó, dentre outros, que de alguma forma apoiaram a equipe durante as campanhas mensais.

À Alana, Giovana e também aos técnicos do laboratório Aline, Sandro e Nilton que me auxiliaram nas análises de solo realizadas no LARHISA. Agradeço também à Maurício, técnico do Instituto de Química da UFRN e aos servidores da ETE da UFRN por me fornecerem alguns reagentes essenciais.

À Rhuana Clara Bezerra Gonçalves pela elaboração do mapa de uso e ocupação do solo.

Aos secretários do PPgES Pedro, Dacifran e Leonor (*in memorian*) e também a todos os professores que compõem o PPgES, por todo ensino e contribuição na minha formação.

Por fim, agradeço ao meu amor Iagê Terra, meu maior incentivador. Muito obrigada pela paciência, compreensão e por abdicar de muitos finais de semana e feriados para ficar ao meu lado mesmo eu precisando estudar, por ter vindo a Caicó me dar a força e o ânimo que eu precisava. Essa vitória é nossa! Te amo!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. MATERIAL E MÉTODOS 4

2.1 Área de Estudo 4

2.2 Dados meteorológicos e hidrológicos 5

2.3 Qualidade de água 7

2.3.1 Amostragem e análise de água 7

2.4 Qualidade do solo 8

2.4.1 Amostragem do solo 8

2.2.1 Análises dos atributos físicos e químicos do solo 12

2.5 Análises Estatísticas 12

3. RESULTADOS 13

3.1 Cenário Meteorológico e Hidrológico 13

3.2 Qualidade da água 14

4. DISCUSSÃO 26

5. CONCLUSÃO 33

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 33

7. REFERÊNCIAS 34

8. APÊNDICES 39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Reservatório Cruzeta e de seus principais tributários bem como do ponto de amostragem de água, situado na porção mais próxima ao barramento. 7

Figura 2: Principais usos do solo na APP (100 m da margem) do Reservatório Cruzeta. 11

Figura 3: Precipitações mensais acumuladas no período de julho de 2012 a julho de 2015, precipitações médias mensais no período compreendido entre 1963-2013 14

Figura 4: Volume armazenado (%) do reservatório Cruzeta durante o período de julho de 2012 a julho de 2015. 14

Figura 5: Variação temporal de sólidos suspensos orgânicos (SSO) e sólidos suspensos inorgânicos (SSI) no Reservatório Cruzeta durante o período de julho de 2012 a julho de 2015 17

Figura 6: Variação da clorofila *a*, fósforo total (PT) e fósforo solúvel reativo (FSR) de julho de 2012 a julho de 2015 nos períodos I, II e III do estudo. 17

Figura 7: Regressão linear entre as variáveis Secchi, ST, SSI, SSO, PT e Clorofila a e o volume do reservatório Cruzeta. 18

Figura 8: Análise de componentes Principais (ACP) de variáveis limnológicas no reservatório Cruzeta, durante o período compreendido de julho de 2012 a julho de 2015.. 19

Figura 9: Análise de componentes Principais (ACP) de variáveis de qualidade do solo no entorno do reservatório Cruzeta. 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatísticas descritivas (mediana, desvio padrão, mínima e máxima) das variáveis limnológicas monitoradas no reservatório Cruzeta no ponto amostral próximo da barragem, durante os períodos I, II e III. 15

Tabela 2: Relação entre volume e variáveis limnológicas e seus respectivos coeficientes estatísticos. .....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 3: Estatísticas descritivas (média, desvio padrão, mínima e máxima) dos atributos físicos e classificação textural dos solos amostrados na zona ripária do reservatório Cruzeta. 23

Tabela 4: Estatísticas descritivas (média, desvio padrão, mínima e máxima) dos atributos químicos dos solos amostrados na zona ripária do reservatório Cruzeta 24

RESUMO

Reservatórios são ecossistemas artificiais intermediários entre rios e lagos amplamente utilizado no semiárido brasileiro como forma de suprir a escassez hídrica da região. A utilização da água destes mananciais para múltiplos usos associada ao uso e ocupação sem manejo adequado da zona ripária influenciam diretamente no aumento do aporte de nutrientes para os ambientes aquáticos contribuindo para a aceleração da eutrofização. A região semiárida é marcada por condições meteorológicas peculiares como alta evaporação, temperaturas elevadas com pouca variação ao longo do ano e longo tempo de residência da água, suscetível a eventos de seca prolongada, o que tende a concentrar os nutrientes nos reservatórios favorecendo o estabelecimento de condições eutróficas. Além disso, é comum o uso e ocupação do solo com o desenvolvimento de atividades com potencial impacto ambiental sobre os recursos naturais como agricultura, pecuária e a ausência de esgotamento sanitário. O objetivo desse trabalho é avaliar a qualidade da água do Reservatório Cruzeta, localizado na região semiárida do Rio Grande do Norte, num período de seca prolongada e avaliar a qualidade do solo sob diferentes usos na sua zona ripária, ambos através do monitoramento de variáveis físico-químicas. O período de seca prolongada foi acompanhado de altos níveis de turbidez, sólidos suspensos, nutrientes e clorofila *a* caracterizando baixa qualidade da água. Na zona ripária do reservatório Cruzeta as áreas sob uso da agropecuária mostraram-se como uma das principais fontes difusas de nutrientes para o reservatório, apresentando os maiores teores de fósforo e nitrogênio no solo derivados da decomposição das excretas animais e do uso de fertilizantes conferindo ao manancial uma tendência ao aumento do processo de eutrofização. Os indicadores de qualidade da água e do solo são úteis para monitoramento e avaliação do estado de conservação desses recursos naturais permitindo o controle e mitigação do processo de eutrofização do reservatório. Assim, este estudo corroborou a hipótese de que a redução do nível d'água, resultante do evento da seca prolongada, agrava os sintomas da eutrofização e a utilização do solo sob os diversos usos modifica os atributos físicos e químicos do solo sendo a pecuária e a agricultura os usos com maior potencial em ceder P e N para o ambiente aquático.

palavras-chave: eutrofização, poluição difusa, seca prolongada, manancial de abastecimento

ABSTRACT

Reservoirs are artificial ecosystems intermediate between rivers and lakes widely used in the Brazilian semiarid region as a way to provide water supply due to the said region's water scarcity. The use of water from these supply sources for multiple uses, along with occupation and utilization of its riparian zone without proper management, directly influences the increased nutrient flow into aquatic environments, there with contributing to the acceleration of eutrophication. The semi-arid region is characterized by peculiar weather conditions, such as severe evaporation, high temperatures with little variation throughout the year and long water residence time, making it susceptible to prolonged drought occurrence, which tends to concentrate the nutrients in reservoirs, which favors the development of eutrophic conditions. Moreover, it is common soil use and occupation by carrying out activities with potential environmental impact on natural resources such as agriculture, livestock farming and lack of sanitation. The aim of this study is both to evaluate the water quality of the Cruzeta Reservoir, located in the semiarid region of Rio Grande do Norte, during a prolonged drought period, and assess the quality of its riparian zone soil under different uses, by monitoring physical-chemical variables. Along the prolonged drought, high levels of turbidity, suspended solids, nutrients and chlorophyll *a* were verified as present, therefore featuring low water quality. In the riparian zone of Cruzeta Reservoir, the areas under use of agriculture and livestock farming appeared as one of the main diffuse sources of nutrients to the said reservoir, featuring the highest levels of phosphorus and nitrogen in the soil, originated from decomposition of animal excreta and from the use of fertilizers, creating a tendency to increased eutrophication of such water supply source. The indicators of water and soil quality are useful for monitoring and evaluating the conservation status of natural resources, allowing the control and mitigation of the reservoir eutrophication process. This study confirmed the hypothesis that the reduction of water level, resulting from prolonged drought event, aggravates the symptoms of eutrophication; and also that using the soil under severalways modifies the physic chemical properties of the soil, having livestock farming and agriculture as the usages with greatest potential towards yielding P and N to the aquatic environment.

Keywords: eutrophication, diffuse pollution, prolonged drought, supply source.

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios são ecossistemas artificiais construídos para múltiplos usos como abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação entre outros. Influenciam e são influenciados pela ação antrópica sendo considerados coletores e digestores das entradas e dos efeitos existentes nas bacias hidrográficas (Straŝkraba & Tundisi 2000). Constituem importantes centros de convergência das várias atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, incluindo seus usos e aspectos econômicos e sociais. As informações nele introduzidas (entradas de material em suspensão, nutrientes inorgânicos e orgânicos, poluentes, etc.) interferem nos processos de organização da biota, bem como na composição química da água e do sedimento. Assim, a qualidade das águas reflete, em grande parte, as atividades humanas que afetam o ar, o solo e a própria água de drenagem (Bicudo et al. 1999).

A eutrofização cultural ou artificial, causada pelas atividades antrópicas, é considerada um problema global de qualidade da água, afetando seus aspectos ecológicos e comprometendo seus múltiplos usos (Schindler 2012; Smith & Schindler 2009). A eutrofização pode ser definida como o enriquecimento de um corpo d'água pelo excesso de nutrientes, em especial fósforo e nitrogênio, acarretando no aumento da produtividade primária com consequente alteração de aspectos físicos e químicos e na composição e função desses ecossistemas (Schindler et al. 2008a; Smith et al. 1999; Smith & Schindler 2009). Como principais consequências da eutrofização nos ecossistemas aquáticos pode-se destacar: alterações no padrão de oxigenação; florações de algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas; perda da biodiversidade e da atração paisagística; restrições aos usos da água; efeitos sobre a saúde humana e aumento nos custos para o tratamento da água (Dodds et al. 2009).

A entrada de nutrientes nos corpos hídricos pode ser através de fontes pontuais ou difusas (Carpenter et al. 1998). As contribuições relativas destes dois tipos de fontes podem diferir substancialmente entre as bacias hidrográficas, dependendo das densidades populacionais humanas locais e dos usos da terra (Smith et al. 1999). Diferentemente dos lagos naturais, os reservatórios são mais eutróficos devido a sua dependência do rio e maior bacia hidráluca e sua influência direta (Ney 1996).

Cargas difusas normalmente são oriundas de extensas áreas de terra e são transportadas sobre a superfície, pelo suboslo ou através da atmosfera, sendo difíceis de serem mensuradas e reguladas (Carpenter et al. 1998).

O uso do solo pela agropecuária representa uma das maiores fontes não pontuais de nutrientes para os corpos aquáticos (Daniel et al. 1998; Panda & Behera 2003). O potencial de perda de fósforo e nitrogênio através do escoamento aumenta em função da contínua aplicação de fertilizantes na agricultura bem como pelas fezes de animais provenientes da pecuária intensiva. A quantidade total de nutrientes exportados através do escoamento superficial para os corpos d'água aumenta linearmente com o teor de N e P presente no solo (Sharpley & Halvorson 1994).

A qualidade do solo representa um indicador ideal do seu uso e, por definição, reflete a capacidade de funcionar como um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, e sustentar a sobrevivência do homem (Karlen et al. 1997). Dessa forma, a qualidade da água com frequência depende da qualidade do solo (Herrick 2000).

A avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pela análise de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas em áreas que vão desde pequenas propriedades até níveis mais abrangentes, como microbacia hidrográfica e outros. O monitoramento desses atributos tem se mostrado fundamental para que se possa empregar um manejo adequado e controlar possíveis processos de degradação ambiental (Karlen et al. 1997).

As características físicas, químicas e biológicas da água também são influenciadas por fatores hidrológicos e climáticos que atuam na entrada e saída de nutrientes nos corpos aquáticos bem como nas flutuações sazonais no nível d'água e seu tempo de retenção (Naselli-Flores & Barone 2005). Características das regiões semiáridas como a intermitência dos rios, a seca prolongada e as altas taxas de evaporação tendem a aumentar os níveis de nutrientes e o tempo de residência da água dos mananciais, favorecendo a condição eutrófica e a inviabilização do uso destes para as atividades humanas (Costa et al. 2009; Medeiros et al. 2015). As altas temperaturas e a baixa precipitação podem resultar em um aumento na eutrofização e salinização das águas superficiais e como consequência o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias, que já é usualmente reportada para região semiárida (Bouvy et al. 2000; Brasil et al. 2015; Medeiros et al. 2015), tornando as águas impróprias para o consumo e irrigação e aumentando os custos de tratamento devido á concentração de toxinas.

De acordo com o painel Intergovernamental das mudanças climáticas (IPCC 2013), muitas regiões áridas e semiáridas estão suscetíveis a se tornarem mais quente e

seca no final deste século devido as mudanças climáticas antrópicas. Os modelos climáticos para o nordeste do Brasil predizem um aumento na temperatura em torno de 4ºC e uma redução na precipitação de 40% além do aumento da intensidade ou duração da seca criando um stress hidrológico e maior escassez d'água, tempo de retenção hidraulica prolongada e intensificação da eutrofização nessa região (Jeppesen et al. 2015; Roland et al. 2012).

Outras características das bacias hidrográficas do semiárido contribuem para poluição hídrica dos reservatórios. Os solos são rasos, com predominância de vegetação de pequeno porte, além das pequenas áreas de superfície dos reservatórios em relação à sua bacia, torna este sistema mais vulnerável a eutrofização e assoreamento devido a grande entrada e retenção de nutrientes e sedimento da bacia (Jeppesen et al. 2015).

Na região semiárida do Nordeste brasileiro se verifica também diversidade marcante no uso e ocupação do solo com o desenvolvimento de atividades com potencial impacto ambiental sobre os recursos naturais como agricultura, pecuária e a ausência de esgotamento sanitário (Oyama & Nobre 2004). O desenvolvimento dessas atividades potencialmente degradantes reforça a necessidade de realizar avaliações e monitoramento da qualidade da água e do solo da região do entorno de mananciais, gerando informações úteis ao desenvolvimento e aprimoramento de programas de recuperação e manejo da bacia hidrográfica, como medida mitigadora da degradação ambiental dessa região, visando à proteção da saúde humana e dos recursos hídricos.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é avaliar o efeito da seca prolongada sob a qualidade da água do num reservatório localizado na região semiárida do Rio Grande do Norte, bem como avaliar a qualidade do solo na zona ripária sob diferentes usos e seu potencial como fonte difusa de poluição hídrica. Nossa hipótese é que a redução do nível d'água devido ao efeito do evento da seca prolongada aumenta o tempo de retenção da água e agrava os sintomas da eutrofização. Além disso, as diferenças nos atributos físicos e químicos do solo variam em resposta aos seus diferentes usos influenciando potencialmente na qualidade da água deste manancial, sendo a utilização pela pecuária e agricultura os usos com maior potencial em ceder P e N para o ambiente aquático.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido no Reservatório Público Cruzeta, localizado no município de mesmo nome (Figura 1). Está situado na sub-bacia do Rio Seridó pertencente à porção norte riograndense da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu.

O Reservatório Cruzeta foi construído pelo DNOCS em 1920 e limita-se pelos paralelos 06°03’ e 06°25’S e os meridianos 36°35’ e 36°57’W, barrando o Riacho São José no ponto de Latitude 06°24’32”S e Longitude 36°48’01”W. É considerado um lago raso com profundidade máxima de 8,7m e média de 4,7 m e sua água é utilizada como fonte de abastecimento para a cidade de Cruzeta bem como para irrigação, pesca, recreação e dessedentação de animais (Chellappa et al. 2008; Freitas et al. 2011).

A bacia hidráulica do açude Cruzeta é de 6,16 km² e a área da bacia hidrográfica é de 1.400 km² (SEMARH-RN 2015). Sua capacidade máxima de acumulação é de 35.000.000 m³ e o volume morto é de 1.179.186,00 m³.

O clima predominante na região é quente, classificado como Bsw"h" (estepe) (Kottek et al. 2006), com a estação chuvosa ocorrendo de fevereiro a junho, com máximo entre março e abril e demais meses marcados por escassez de chuva (Medeiros et al. 2015). É caracterizado por um regime de escassez e desigual distribuição de chuvas, em que o início e o término da estação chuvosa apresentam-se de forma bastante estocástica, e mesmo no período de estiagem podem ocorrer chuvas (Freitas et al. 2011; Oliveira 2013). A precipitação média anual na bacia do açude Cruzeta é de 650 mm (SEMARH 2015) enquanto a evaporação potencial média anual é da ordem de 3.323mm, caracterizando um alto déficit hídrico (Freitas et al. 2011).

O solo encontrado em toda a delimitação do município é classificado como Luvissolo Crômico (EMBRAPA 1971, 2013). São solos rasos com alta saturação por bases e concentração de argila de alta atividade em horizonte subsuperficial o que caracteriza a mudança textural abrupta, tornando-o mais suscetível à erosão.

A vegetação no entorno do reservatório é composta pela caatinga esparsa (16,3%) e caatinga densa (12,2%) caracterizada pela vegetação hiperxerófila.

As atividades econômicas predominantes no município são o plantio de tomate, feijão, mamão e milho entre outras culturas no perímetro irrigado de Cruzeta, que abrange 498 ha, além da pecuária extensiva de modo precário (DNOCS, 2015;

SEMARH, 2015). Dados do Censo agropecuário do IBGE (2006) apontam que há cerca de 6.277 ha de área do município destinada à pastagem e 1.540 ha destinada a lavoura.

Segundo IBGE e CAERN (comunicação pessoal), o município não possui Sistema de Esgotamento Sanitário, existindo apenas grandes fossas sépticas criadas pela prefeitura, localizadas as margens do reservatório que atendem parte da cidade. A porção situada na região Seridó do Rio Grande do Norte possui apenas 27% de sua população atendida pela rede coletora e tratamento de esgoto e 4% por fossa séptica tendo um alto percentual de municípios que não possuem nenhuma forma de disposição e tratamento adequado de efluentes. Além disso, a grande maioria dos municípios tem sistemas mistos de coleta, quando os coletores de águas de chuva ou galerias pluviais são utilizados também para o transporte do esgoto sanitário (ANA, 2014).

2.2 Dados meteorológicos e hidrológicos

Os dados relativos às precipitações pluviométricas mensais e à série temporal da região de Cruzeta foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET 2015) e pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). A média histórica mensal foi obtida através da precipitação de uma série histórica de 50 anos (1963-2013).

Para caracterizar o período de estudo de acordo com a intensidade de chuvas e seca utilizou-se o índice de precipitação padronizada – *Standardized Precipitation Index* (SPI) (Guttman 1999). O SPI baseia-se na probabilidade de precipitação para diferentes escalas de tempo e é um dos índices mais utilizados para caracterizar fenômenos de seca devido à maior flexibilidade de ser aplicado em diferentes escalas temporais. Utilizou-se neste estudo a escala temporal de 12 meses (SPI 12), pois para fluxos de rios e reservatórios são utilizados dados de maiores escalas, tendo em vista que são adotados para o gerenciamento e uso da água nesses locais (Haynes et al. 1999). Através dos valores do SPI 12 é possível classificar qualitativamente o grau de severidade das ocorrências de chuva e seca. A escala de valores e suas respectivas categorias são apresentadas na tabela 1. Os valores médios mensais do SPI para o local de estudo foram obtidos na base de dados on-line do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015).

Tabela 1: Dados dos valores SPI12, valores médios e categoria da seca (Fonte: INMET).

Valores SP112	Valor médio utilizado	Categoria
> +2	2,25	Extremamente Úmido
+1,50 a +1,99	1,75	Severamente Úmido
+1,00 a +1,49	1,25	Moderadamente Úmido
-0,99 a +0,99	0	Normal
-1,00 a -1,49	-1,25	Moderadamente Seco
-1,50 a -1,99	-1,25	Severamente Seco
< -2,00	-2,25	Extremamente Seco

Os valores mensais dos volumes armazenados foram obtidos através do monitoramento mensal realizado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH) e também através de dados fornecidos pelos funcionários do Departamento Nacional de obras contra a seca (DNOCS) do município de Cruzeta.

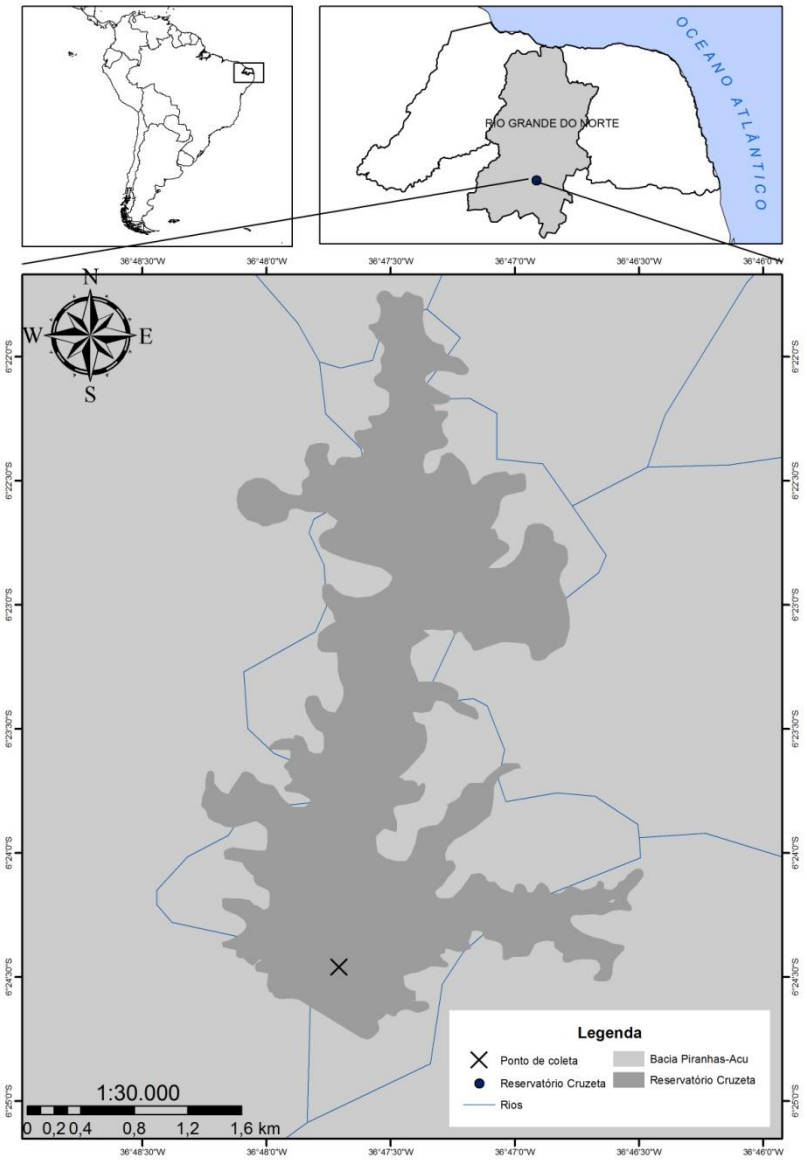

Figura 1: Localização do Reservatório Cruzeta e de seus principais tributários bem como do ponto de amostragem de água. Fonte: Iagê Terra

2.3 Qualidade de água

2.3.1 Amostragem e análise de água

A amostragem de água foi realizada mensalmente durante o período de julho de 2012 a julho de 2015, totalizando 36 amostras, no ponto contíguo à barragem (P1), próximo à captação da água para abastecimento humano que caracteriza também o local de maior profundidade do reservatório (Figura 1).

Fatores abióticos como temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram medidos através da sonda multiparamétrica HIDROLAB DS5, a intervalos de 1 metro, da

superfície ao fundo do reservatório e a transparência da água foi medida com o auxílio do disco de Secchi. Foi determinada a oxiclina registrando a estratificação química para delimitação do epilímnio e hipolímnio e as amostras de água para análise de nutrientes, clorofila-*a* e sólidos suspensos foram coletadas através de amostras integradas do epilímnio com auxílio de uma garrafa de Van Dorn. As sub-amostras foram acondicionadas em garrafas de polietileno, previamente lavadas com HCl 10% e água destilada e acondicionadas em caixas térmicas com gelo durante o transporte para o laboratório, onde foram feitos os procedimentos adequados para cada tipo de análise.

Em laboratório foram feitas as análises de turbidez (UNT) utilizando um medidor de turbidez (2100P da HACH); Sólidos suspensos totais, orgânicos e inorgânicos por gavimetria, após secagem dos filtros a 100ºC e ignição em forno mufla a 550ºC durante 3h (APHA 2012). Os sólidos suspensos orgânicos foram medidos pela diferença entre o total de sólidos em suspensão e os sólidos inorgânicos. Através do método colorimétrico foram determinadas as concentrações de fósforo total (Valderrama 1981) com as amostras não filtradas; fósforo solúvel reativo (Murphy & Riley 1962) e nitrato (Miller & Weidemann,1955) com parte do volume das amostras filtrado em filtros de fibra de vidro (Ø 47 mm e 1,2 μm de porosidade) e clorofila *a* (Jespersen & Christorffersen 1988).

O estado trófico do reservatório foi classificado segundo Thornton &Rast (1993) utilizando os valores médios de fósforo total e clorofila-*a* durante todos os meses de estudo. Segundo a metodologia, para regiões semiáridas valores de fósforo total acima de 50 $\mu g.L^{-1}$ e de clorofila-a acima de 12 $\mu g.L^{-1}$ caracterizam o ambiente como eutrófico.

2.4 Qualidade do solo

2.4.1 Amostragem do solo

A zona ripária de um corpo aquático considerada Área de Preservação Permanente (APP) corresponde a uma área de largura mínima de 100 m no entorno do corpo aquático que possua de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura (BRASIL, 2012). O solo da APP do entorno do Reservatório Cruzeta encontra-se exposto (1,13 km²; 31,6%), com uso da agricultura (0,67km²;18,7%), vegetação rasteira (0,65km²;18,3%) caatinga esparsa (0,58km²; 16,3%), caatinga densa (0,43km²;12,2%) e

área urbana (0,10 km²;2,9%) (Figura 2). Nas regiões onde há solo exposto e caatinga esparsa há o desenvolvimento de atividades como pecuária e olaria.

A partir da visita in loco à zona ripária do reservatório foram encontrados sete usos principais do solo no entorno do reservatório: área urbana (URB1), área urbana contaminada com esgoto doméstico (URB2), olaria (OLA), área agrícola com plantio de tomate (AGR1), área agrícola com plantio de milho (AGR2), pecuária (PEC) e mata nativa (MN).

A área urbana 1 (URB1) é representada pelo solo exposto sem vegetação com acesso à movimentação de pedestres e animais e ocupada por residências e estabelecimentos comercias (Apêndice – Fotografia 1).

A área urbana 2 (URB2) assim como URB1 representa uma área de ocupação urbana onde foi possível visualizar o escoamento de esgoto doméstico em direção ao reservatório. Foram amostradas parcelas contendo solo por onde passava o fluxo do esgoto doméstico (Apêndice – Fotografia 2).

As áreas agrícolas AGR1 e AGR2 correspondem respectivamente plantações de tomate e milho (Apêndice – Fotografia 3 e 4). Ambas fazem uso de fertilizante inorgânico químico.

A área denominada OLA representa uma olaria presente no entorno do reservatório. Foram retiradas amostras de solo das pilhas formadas para a utilização na fabricação da cerâmica bem como do solo do entorno da área utilizada (Apêndice – Fotografia 5).

PEC representa a área no entorno de um pequeno curral com a presença de animais confinados (Apêndice – Fotografia 5). No momento da coleta foi possível identificar a presença dos excrementos dos animais sob o solo.

A área MN se refere à mata nativa local, composta pela caatinga hiperxerófila (Apêndice – Fotografia 6) que servirá de referencia de qualidade do solo da região por ser uma área com pouca ou nenhuma intervenção antrópica.

A coleta de solo foi realizada em setembro de 2014. Para as análises de atributos físicos e químicos de cada uso amostras deformadas do solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm em cinco pontos amostrais simples. As cinco amostras simples foram misturadas para compor uma única amostra composta de aproximadamente 500g de solo. Este processo foi repetido três vezes para cada área selecionada totalizando 15

parcelas. Todas as amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, lacrados e armazenados em área coberta.

Posteriormente foram secas na estufa a temperatura de 80ºC durante 12 horas, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e a fração peneirada foi então submetida a análises laboratoriais.

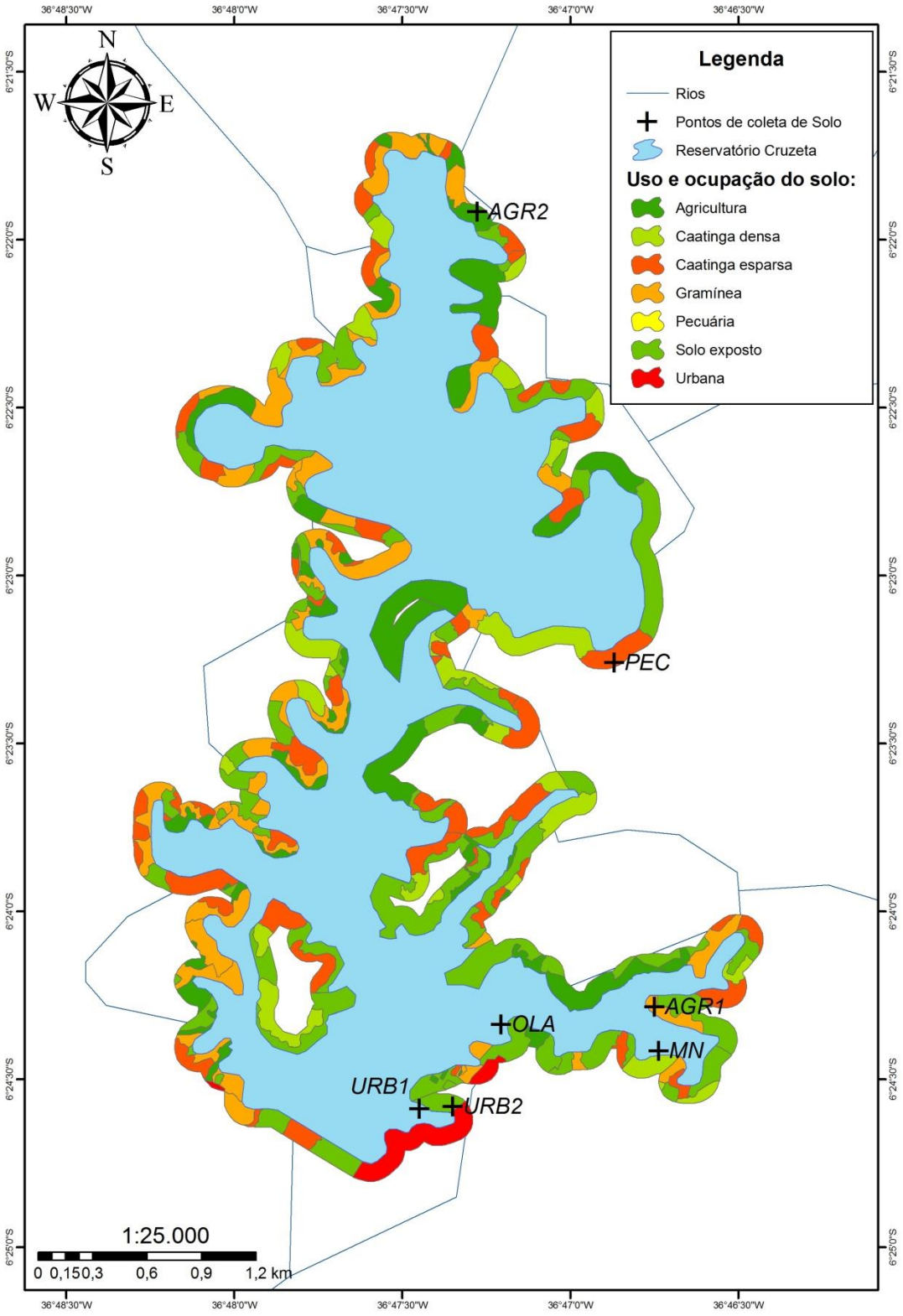

Figura 2: Principais usos do solo na APP (100 m da margem) do Reservatório Cruzeta e os pontos de amostragem do solo. Fonte: Rhuana Clara Bezerra Gonçalves.

2.4.2 Análises dos atributos físicos e químicos do solo

Com as amostras deformadas foram determinadas a densidade de partículas (Dp) (método do balão volumétrico) densidade do solo (Ds) (método da proveta) e granulometria (método do densímetro) e diagrama triangular simplificado (EMBRAPA,1997). A porosidade total do solo (PT) foi estimada pela relação entre a densidade do solo e de partículas conforme preconiza a EMBRAPA (1999).

Os atributos químicos foram analisados de acordo com métodos preconizados pela EMBRAPA (1999): pH em água (1:2,5); condutividade elétrica (CE) em água (1:1); K^+e Na^+trocáveis por fotometria de emissão de chama após extração com extrator Mehlich-1; Ca^{2+}e Mg^{2+} trocáveis por titulação após extração com solução de KCl 1 mol L-1; acidez potencial (H^++$Al^{3+)}$ por titulação após extração com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L-1; fósforo (P) disponível por colorimetria após extração com extrator Mehlich-1. A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial (CTCp) e saturação por bases (V%).

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado (SILVA et al., 1999). A matéria orgânica foi estimada através do produto do valor de carbono orgânico por 1,724, considerando que o húmus contém aproximadamente 58% de carbono (EMBRAPA, 1999).

Para determinação de nitrogênio total (NT), amostras de solo foram submetidas à digestão sulfúrica e o nitrogênio posteriormente foi dosado no extrato por meio de destilação Kjeldahl (EMBRAPA, 1999). A mistura digestora foi preparada seguindo a metodologia proposta por Malavoltaet al. (1989)

2.5 Análises Estatísticas

Estatísticas descritivas e tabelas de correlações foram feitas entre os atributos físicos e químicos dos solos bem como entre as variáveis físico-químicas da água a fim de descrever e resumir os dados através das médias, mínimos, máximos e desvio padrão de cada área de uso e ocupação do solo (SAS v.8, 1999) e de cada parâmetro limnológicos. Regressões lineares entre as variáveis físico-químicas da água e o volume do Reservatório foram feitas para avaliar quais delas variavam significativamente em função do volume Statistica® (STATSOFT INC. 1996). Os dados foram logaritimizados afim de diminuir as diferenças entre os valores.

A correlação linear de Pearson foi realizada para evidenciar a proporcionalidade entre variáveis do solo entre todas as variáveis bem como para cada uso do solo a fim de investigar a relação entre elas (SAS v.8, 1999).

A análise de componentes principais (ACP) também foi realizada através do software PC-ORD® v.6 (MCCUNEe MEFFORD, 011). Foram realizadas análises das variáveis físicas e químicos da água, a fim de verificar a tendência temporal dos dados e das unidades amostrais, bem como com todos os atributos físicos e químicos do solo, com o intuito determinar a influência dos diferentes usos intensivos do solo na modificação da condição natural do solo e a potencialidade de cada tipo de uso em disponibilizar poluentes para o reservatório.

3. RESULTADOS

3.1 Cenário Meteorológico e Hidrológico

De acordo com índice padronizado de precipitação SPI12 do INMET foi possível identificar três períodos distintos: (I) *extremamente seco:* chuvas abaixo da média na estação chuvosa e seca. (II) *severamente a moderadamente seco*: chuvas acima da média em alguns meses na estação seca, mas sob a influência da baixa precipitação nos meses anteriores (III) *normal*: chuvas acima da média na estação chuvosa e normais na estação seca (Figura 3).

Durante todo o período de estudo o reservatório Cruzeta apresentou baixos volumes, variando de 40% de sua capacidade total no início do estudo (julho/2012) a 0,5% em março de 2014 (Figura 4). Em abril de 2014 houve a maior precipitação do período de estudo (245,7 mm), o que fez com que o reservatório recuperasse um pouco o seu volume, chegando a 23,5% de sua capacidade. Apesar disso, o período de baixas precipitações nos meses posteriores levou a redução o volume do manancial que atingiu 3% de sua capacidade no final do período de estudo (julho/2015) (Figura 4).

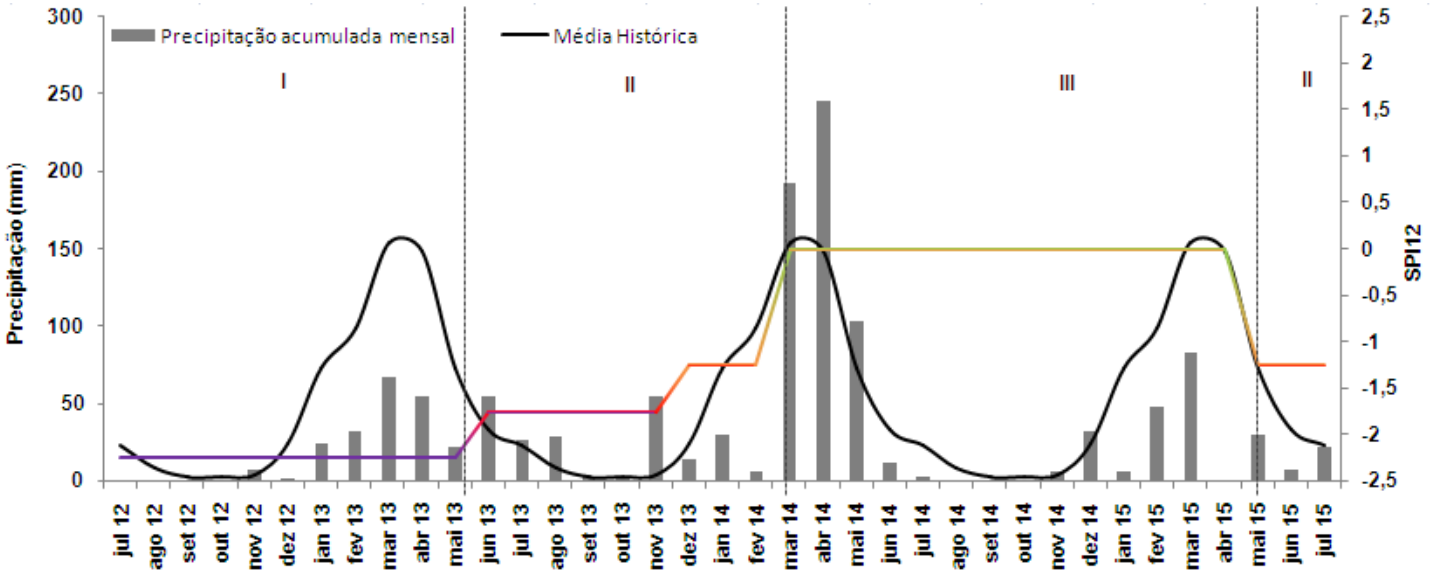

Figura 3: Precipitações mensais acumuladas no período de julho de 2012 a julho de 2015, precipitações médias mensais no período compreendido entre 1963-2013 (Fonte: EMPARN). SPI12 roxo: extremamente seco; vermelho: severamente seco; laranja: moderadamente seco; verde: normal.

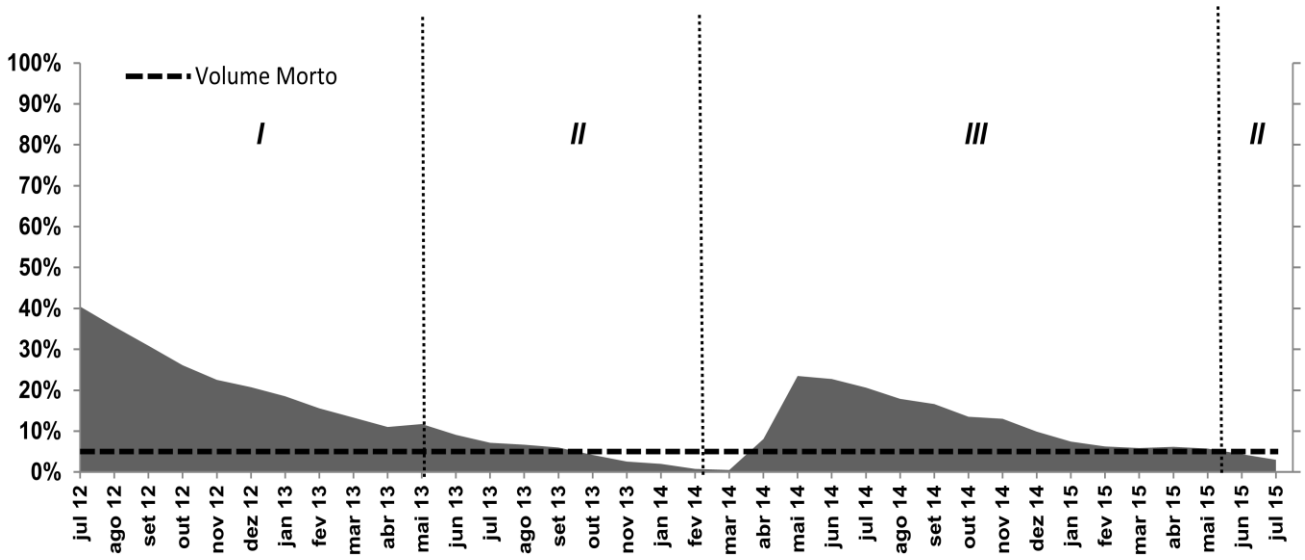

Figura 4: Volume armazenado (%) do reservatório Cruzeta durante o período de julho de 2012 a julho de 2015. Períodos I: extremamente seco; II: severamente a moderadamente seco; III: normal.

3.2 Qualidade da água

Durante todo o período de estudo o reservatório manteve volumes abaixo de 40% de sua capacidade e a profundidade do manancial oscilou entre 0,3 m e 5,5 m, esta última encontrada no período I, que apesar de categorizado como extremamente seco

apresentou o maior volume em virtude da influência da estação chuvosa dos meses anteriores (Tabela 2).

O período II foi caracterizado com a menor média de secchi (0,36 m) e a maior média de turbidez (11,8) (Tabela 2)

Os sólidos suspensos inorgânicos (SSI) apresentaram um comportamento bastante variável ao longo do período de estudo. No período II, verificamos os maiores valores (chegando a 823,88 mg L^{-1}) bem como a sua maior variação (desvio padrão de 245,7). Os sólidos suspensos orgânicos apresentaram comportamento semelhante e foram inferiores aos sólidos inorgânicos em praticamente todo o período de estudo, com exceção dos períodos compreendidos entre maio e setembro de 2014 e entre fevereiro a maio de 2015, ocasião em que o reservatório recuperou o seu volume devido ao aumento da precipitação (Tabela 2 e Figura 5).

O fósforo total (PT) assim como o fósforo solúvel reativo (FSR), apresentou maiores variações e volumes máximos no período III, sendo a média do PT acima de 50 μg L^{-1} em todo o período de estudo (Tabela 2). No período I o fósforo total apresentou os menores valores, juntamente com os menores valores de clorofila *a* e do fósforo solúvel reativo. Em contrapartida, a clorofila *a* apresentou seus maiores valores no período II e estão em consonância com os maiores valores de sólidos orgânicos bem como com os menores volumes do reservatório (Figura 6).

Tabela2: Estatísticas descritivas (mediana, desvio padrão, mínima e máxima) das variáveis limnológicas monitoradas no reservatório Cruzeta no ponto amostral próximo da barragem, durante os períodos I, II e III.

Parâmetro	Período I	Período II	Período III
secchi (m)	0,54 ± 0,94 (0,4 - 3,6)	0,36± 0,18 (0,05 - 0,8)	0,57 ± 0,18 (0,08 - 0,78)

Zmax (m)	3,6 ± 0,82 (2,5 - 5,5)	2,3 ± 0,74 (0,3 - 3)	3,05± 0,87 (0,5 - 4,1)
Temperatura (ºC)	29,27 ± 2,8 (24,9 -32,7)	27,8 ± 1,6 (25,86 - 30,6)	28,6 ± 2,09 (26 -33,44)
OD (mg L^{-1})	7,92 ± 0,8 (5,4 - 8,56)	7± 1,8 (5,7 - 12,3)	6,49 ± 2,4 (1,4 - 11,38)
Turbidez (NTU)	8,6 ± 6,03 (5,5-27)	11,8 ± 6,75 (4,3 - 25)	7,6 ± 4,09 (3,3 - 18, 8)
SSI (mg L^{-1})	11,28 ± 4,38 (0,88 - 17,96)	22,17 ± 245,7 (2,2 - 823,88)	6,75 ± 7,02 (0,4 - 28,4)
SSO (mg L^{-1})	4,4± 3,32 (0,92 - 12,08)	11,4± 6,52 (4-26,66)	7,37± 4,52 (2,5 - 16,92)
SST (mg L-1)	14,64 ± 4,3 (8,8 - 23,24)	34,34± 250,94(12,16 - 850,55)	13,41 ± 8,77 (5,2 - 36,4)
PT (mg L^{-1})	84 ± 185,12 (21,2 - 679)	176,16 ± 60,14 (96,4 - 286,8)	186,25 ± 239,05 (80,67 - 935,6)
Nitrato (µg L^{-1})	121,5± 53,72 (56,5-226,5)	119± 62,49(55,5 - 258)	97,75 ± 64,89 (51,5 - 300,5)
FSR(µg L^{-1})	52± 53,79 (7,1 - 148,46)	120,16 ± 47,39 (30,5 - 197)	59,66 ± 85,74 (11,86 - 269,5)
Cl-*a*(mg L^{-1})	5,755 ± 6,41 (2,39 -21,1)	28,77 ± 21,55 (4,31 - 67,59)	20,38 ± 16,58 (10,19 - 59,95)

Variáveis: Secchi = transparência da água; Zmax = profundidade máxima no ponto de amostragem ;SSI = sólidos suspensos inorgânicos; SSO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total; NO_{3-} = nitrato; FSR = fósforo solúvel reativo; Cl*a*= Clorofila *a*.

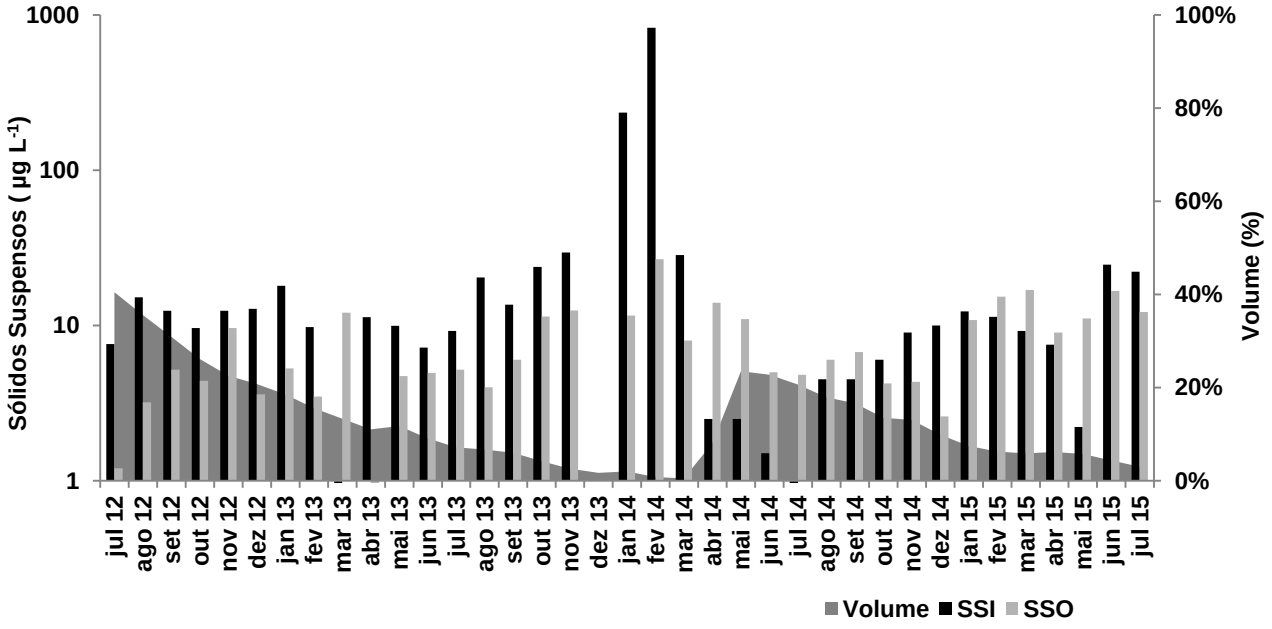

Figura 5: Variação temporal de sólidos suspensos orgânicos (SSO) e sólidos suspensos inorgânicos (SSI) no Reservatório Cruzeta durante o período de julho de 2012 a julho de 2015.

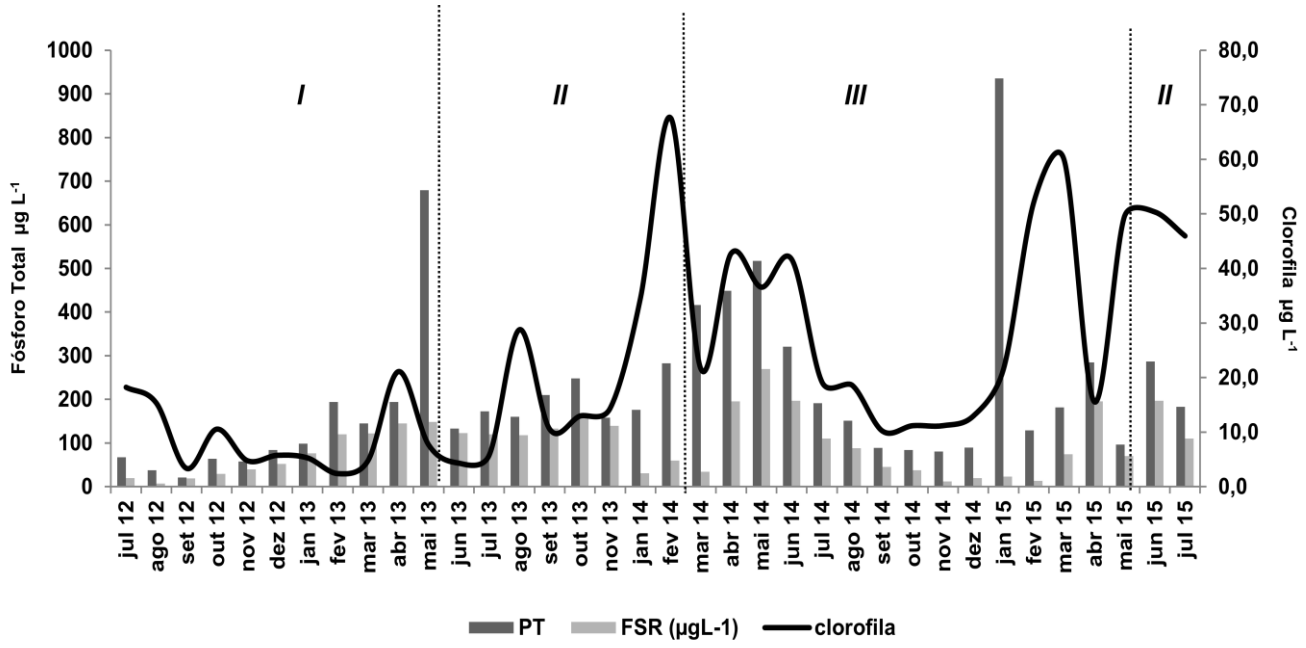

Figura 6: Variação da clorofila *a*, fósforo total (PT) e fósforo solúvel reativo (FSR) de julho de 2012 a julho de 2015 nos períodos I, II e III do estudo.

* não houve coleta de dados no mês de dezembro de 2013

Foi observada uma relação positiva do volume com a transparência (p= 0,001) e uma relação negativa do volume com a turbidez (p<0,001), sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos (p<0,001), Fósforo Total (p=0,004) e Cl-*a* (p=0,006) (Figura 6).

O reservatório é classificado como eutrófico durante o período de estudo com base nos dados de clorofila (média anual= 22,20µg L^{-1}) e fósforo total (média anual=213,4µg L^{-1}) (Thornton & Rast 1993).

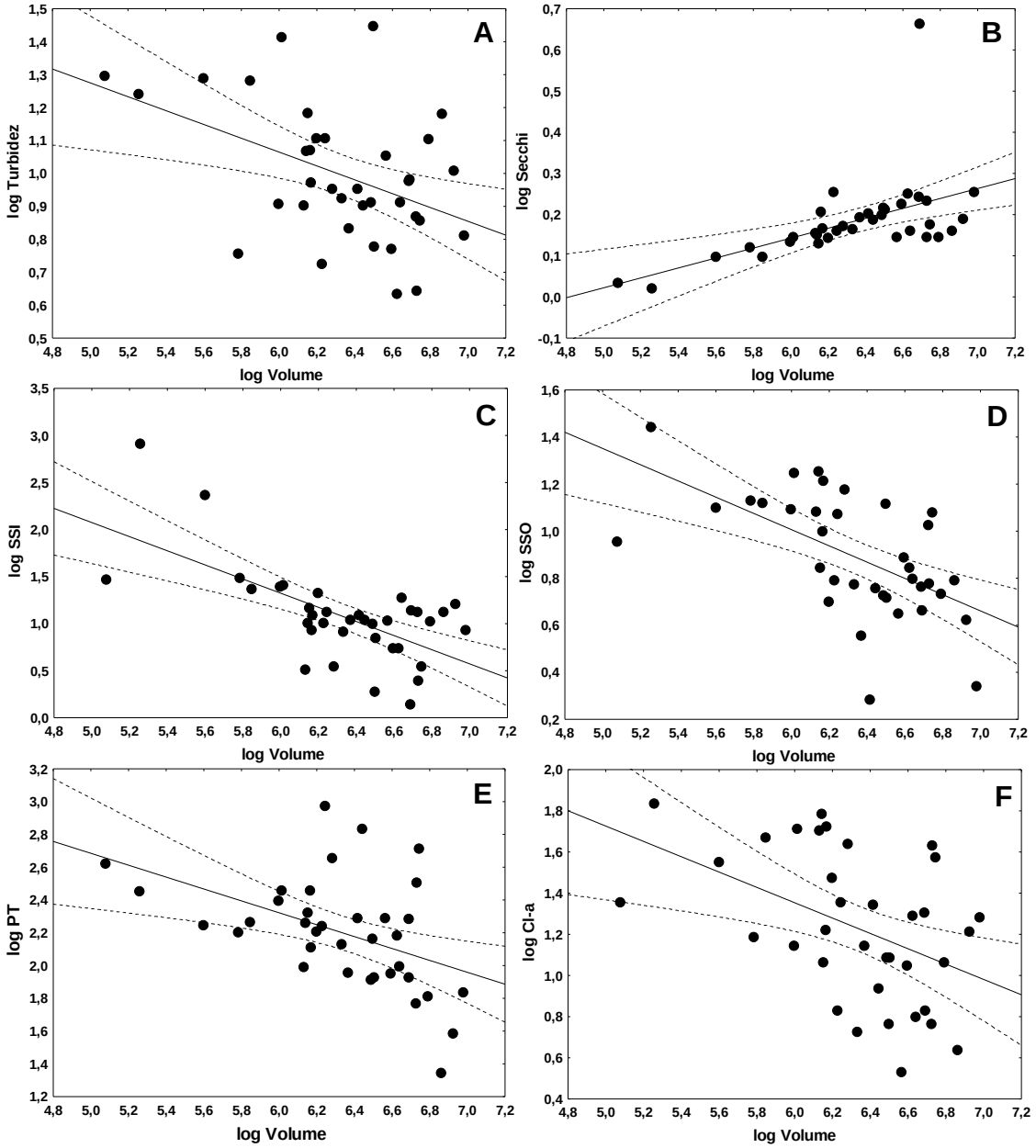

Figura 7: Regressão linear entre as variáveis secchi, ST, SSI, SSO, PT e Clorofila a e o volume do reservatório Cruzeta. Variáveis: secchi: transparência; ST: sólidos totais; SSI = sólidos suspensos inorgânicos; SSO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total.

A análise de componentes Principais (ACP) usando 10 variáveis limnológicas e o volume do reservatório explicou 55,1% dos dados nos seus dois eixos (eixo 1: 34,9% , *p*= 0,001 e eixo 2: 20,2%, *p*= 0,001). As variáveis mais importantes no eixo 1 foram volume (r= 0,92), secchi (r= 0,67), pH (r= -0,74), turbidez (r= -0,59), sólidos inorgânicos (r= -0,68) e sólidos orgânicos (r= -0,69). Em relação ao eixo 2 as variáveis mais importantes foram: fósforo total (r= 0,54), nitrato (r= -0,43) e clorofila-*a* (r= 0,60).

Através da ACP foi possível identificar os três períodos distintos: *(1) seca extrema, (2) seca severa/moderada, (3) Normal* (Figura 8).

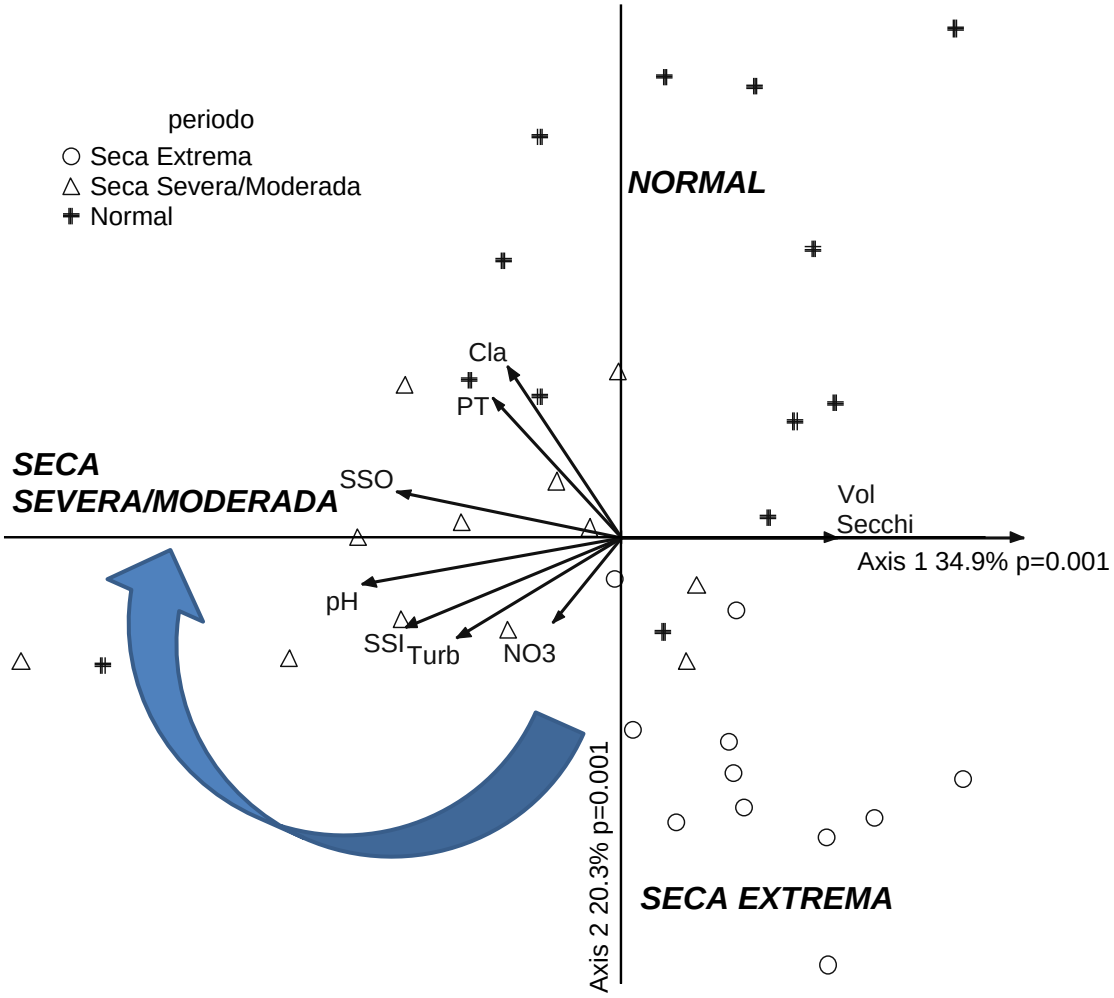

Figura 8: Análise de componentes Principais (ACP) de variáveis limnológicas no reservatório Cruzeta, durante o período compreendido de julho de 2012 a julho de 2015. Variáveis: Cla = clorofila a; PT = fósforo total; SSO = sólidos suspensos orgânicos; SSI = sólidos suspensos inorgânicos; Turb = turbidez, NO3 = nitrato; Secchi = transparência da água. A seta representa uma linha de tendência indicando a transição entre os períodos.

O grupo das unidades amostrais da seca extrema foi caracterizado por baixos valores de clorofila e fósforo total (Figura 8). As unidades amostrais do período de seca severa/moderada apresentaram os maiores valores de sólidos suspensos orgânicos, sólidos suspensos inorgânicos e turbidez, com baixos volumes e baixa transparência.

Através da ACP foi possível verificar uma tendência temporal influenciada pelos ciclos hidrológicos do semiárido com período de seca extrema.

3.3Qualidade ambiental do solo na zona ripária

Os solos da zona ripária do reservatório Cruzeta apresentaram classe textural variando de areia franca a franca (Tabela 3). Apesar de não possuírem predominância expressiva da fração areia sobre as demais frações, resultado esperado para maior parte dos solos do semiárido tropical, verifica-se alta relação silte/argila demonstrando ainda o baixo grau de intemperismo deste solo. A relação silte/argila média nas áreas variou de 2,1 em AGR1 a 7,2 em URB1. As variações na fração areia com mínimo de 193 g kg^{-1} em AGR1 e máximo de 860 g kg^{-1} URB2 evidencia alterações físicas nos solos provocadas pelo uso e manejo empregado em cada área. Os menores teores médios da fração silte são encontrados nas áreas URB1, URB2 e PEC.Os teores máximos de argila foram encontrados no uso agrícola, principalmente na área AGR1. Os teores de areia estão correlacionados negativamente com silte (r=-0,96 p<0,001) e argila (r=-0,85 p<0,001). Essas correlações indicam que a menor predominância da fração areia nesses solos é decorrente da passagem dos grãos minerais para frações de tamanho silte e argila a partir do intemperismo mais acentuado que acomete a região.

Além dos maiores teores de argila, nas áreas agrícolas foram também observadas as menores densidade do solo o que resultou na correlação negativa entre teor de argila e densidade do solo (r =-0,54 p<0,012). A máxima densidade do solo foi de 1,55 g cm^{-3} na área URB1. Maior variação na densidade do solo foi observada na área PEC, na qual foi encontrado o valor mínimo de densidade do solo dentre as áreas amostradas de 1,08 g cm^{-3}(Tabela 3). Na área PEC, houve maior heterogeneidade entre as amostras de solo coletadas com relação a densidade do solo, o que pode ser observado pelo maior desvio padrão quando comparadas as demais áreas estudadas. A densidade do solo esteve também correlacionada aos teores de areia (r= 0,60 p<0,004) e de silte (r = -0,56 p<0,008).

A maior densidade de partículas foi observada na área OLA e pode indicar a concentração de partículas sólidas minerais utilizadas como recursos cerâmicos para produção de tijolos, e menor teor de partículas sólidas orgânicas, que representam a fração leve do solo. As áreas agrícolas, seguidas da área OLA apresentaram maiores valores médios de porosidade total e mostraram correlação negativa e altamente significativa com a densidade do solo (r = -0,74 p<0,001) . O valor mínimo de porosidade total foi observado em URB2 e o máximo em OLA.

A maior variação entre as áreas sob diferentes usos antrópicos pôde ser constatada ao se observar os atributos físicos teor de areia, teor de silte e porosidade total (Tabela 3). O teor de areia variou na seguinte ordem decrescente: URB1 e URB2 > PEC > MN > OLA > AGR 1 e AGR2, enquanto o teor de silte e a porosidade total: AGR1 e AGR2 > OLA > MN > PEC > URB1 e URB2.

Na área de mata nativa, Ca^{2+} e Mg^{2+} foram os cátions predominantes no complexo de troca do solo (Tabela 4). A substituição da mata nativa pelos usos antrópicos provocou a elevação da Soma de Bases (SB) e o aumento na participação do Na+ trocável no complexo sortivo do solo. O aumento de Na^{+} trocável com a substituição da mata nativa pelos usos antrópicos resultou em maior soma de bases (r =0,97; p<0,0001) e CTCp (r = 0,96; p<0,0001) e pH (r= 0,79p<0,001), caracterizando reação do solo mais alcalina, principalmente na área URB2 (Tabela 4). Na área PEC, além do aporte de Na^{+}, houve também aumento do teor de K^{+} trocável. O teor de Mg^{2+} trocável também foi maior com os usos antrópicos, com exceção para o solo da área OLA.

Apesar da mata nativa (MN) ter apresentado o menor pH, a maior acidez potencial foi encontrada nas áreas agrícolas (AGR1 e AGR2). Nas áreas urbanas (URB1 e URB2) e na olaria (OLA) a menor acidez potencial do solo corrobora com os maiores pH encontrados, condizente com a reação alcalina desses solos (r=-0,71;p<0,05).

A caracterização química do solo nas áreas sob diferentes usos antrópicos evidenciou a condição de eutrofia devido à saturação por bases (V) ser superior a 50%. Nas áreas urbanas (URB1 e URB2) e na olaria (OLA), a saturação por sódio (PST) foi acima de 15% caracterizando esses solos como sódicos.

Em relação aos teores de matéria orgânica todos os usos obtiveram maiores valores em relação à mata nativa, com exceção de OLA e URB1. Os maiores tores foram encontrados nas áreas agrícolas, com máximo de 26,58 mg dm^{-3} na AGR1, e na área de pecuária, com máximo de 35,91mg dm^{-3}. Vale salientar que estes usos também apresentam as menores densidades do solo (Ds) (r=-0,92; p<0,001).

A matéria orgânica esteve correlacionada positivamente com o Nitrogênio (r=-0,96; p<0,001), especialmente na AGR1 (r=0,99;p<0,05) e PEC (r=0,99;p<0,05).

Os maiores teores de P foram encontrados em PEC chegando a 56,4 mgdm^{-3} (Tabela 4), apresentando correlação positiva com a CTCp (r=0,99;p<0,05). Os teores de

P na PEC assim como a densidade do solo apresentaram elevado desvio padrão, o que indica alta heterogeneidade nesse ambiente.

Tabela 1: Estatísticas descritivas (média, desvio padrão, mínima e máxima) dos atributos físicos e classificação textural dos solos amostrados na zona ripária do reservatório Cruzeta.

Uso	Ds	Dp	Pt	Areia	Silte	Argila	Relação Silte/Argila	Classificação Textural
	g cm^{-3}		*%*		*g.kg^{-1}*			
MN	1,48±0,06 (1,42 – 1,53)	2,96±0,31 (2,77 – 3,32)	49,48±6,64 (44,81 –57,09)	539±125,68 (417 – 668)	401±105,71 (292 –503)	60±20 (40 –80)	6,68	Franco-arenoso
AGR1	1,24±0,05 (1,21 – 1,30)	2,69±0,17 (2,54 – 2,87)	53,64±4,51 (48,99 –58,00)	316±107,25 (193 –390)	464±37,99 (435 –507)	220±72,11 (160 –300)	2,1	Franca
AGR2	1,14±0,03 (1,12 – 1,18)	2,61±0,02 (2,59 – 2,63)	56,06±1,38 (54,62 –57,37)	460±100,55 (375 –571)	447±37,99 (435 –507)	93±30,55 (60 –120)	4,8	Franca
URB1	1,55±0,02 (1,53 – 1,56)	2,86 ± 0,10 (2,77 –2,97)	45,88±1,70 (44,04 –47,38)	836±19,30 (821 –858)	144±19,30 (122 –159)	20	7,2	Areia franca
URB2	1,44±0,05 (1,40 – 1,49)	2,69±0,27 (2,46 –2,99)	45,93±6,53 (39,29 –52,34)	711±133,83 (601 –860)	222±70,03 (369 –505)	67±23,09 (40 –80)	3,31	Franco-arenoso
OLA	1,45±0,02 (1,43 – 1,47)	3,11 ± 0,41 (2,81 –3,57)	52,60±6,42 (47,62 –59,85)	488±47,65 (434 –523)	425±37,64 (392 –466)	87±23,09 (60 –100)	4,88	Franca
PEC	1,36±0,24 (1,08 – 1,51)	2,67 ± 0,07 (2,60 –2,74)	49,32±7,94 (43,44 –58,36)	664±51,01 (612 –714)	290±41,26 (246 –328)	47±11,55 (40 –60)	6,17	Franco-arenoso

Usos: MN = Mata nativa; AGR1= uso agrícola com plantação de tomate; AGR2 = uso agrícola com plantação de milho; URB1= Zona Urbana; URB2 = Zona Urbana com solo contaminado com esgoto doméstico. OLA = Olaria; PEC = pecuária. Atributos: Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partículas; PT = porosidade total.

Uso	pH	$H^{+}+Al^{-3}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	SB	CTCp	V	PST	MO	P	N
	(H_20)				*$cmol_c dm^{-3}$*				*%*			*$mg.dm^{-3}$*	
MN	5,40±0,32 (5,15 – 5,76)	1,82±0,09 (1,74 – 1,91)	3,88 ±1,76 (2,45-5,85)	1,21±0,77 (0,63-1,95)	0,27±0,17 (0,17-0,47)	0,30±0,10 (0,19-0,37)	5,66±2,52 (3,58-8,46)	7,48±2,58 (5,40-10,37)	73,95±7,64 (66,31-81,59)	3,35±1,06 (2,47-4,53)	7,35±2,63 (5,83–10,39)	3,76±2,65 (1,2-6,31)	0,65±0,11 (0,56-0,78)
AGR1	6,48±0,29 (6,15 – 6,70)	2,29±0,58 (1,65-2,78)	16,97±5,70 (10,40–20,55)	5,71±2,57 (3,75–8,62)	1,81±1,37 (0,77-3,36)	0,45±0,03 (0,42-0,47)	24,94±8,61 (15,87-33,00)	27,23±9,05 (17,52-35,44)	91,34±1,54 (90,33-93,11)	6,52±3,48 (2,68-9,48)	21,57± 4,73 (18,2 –26,98)	1,99±0,44 (1,49-2,33)	1,92±0,62 (1,46-2,63)
AGR2	6,65±0,50 (6,07 – 6,96)	2,17±0,66 (1,56-2,87)	10,15±1,57 (8,75-11,85)	4,04±0,29 (3,87–4,37)	1,26±0,47 (0,76 – 1,68)	0,69±0,61 (0,32-1,40)	16,14±1,85 (14,78-18,25)	18,31±2 (16,34-20,33)	88,17±3,38 (84,28-90,45)	6,75±1,89 (4,63-8,25)	23,76±2,29 (21,33–25,88)	5,55±1,86 (3,69-7,41)	2,54±0,55 (1,90 – 2,91)
URB1	7,66±0,15 (7,56 – 7,83)	0	10,90±5,76 (5,95–7,22)	1,33± 0,32 (1,10–1,70)	2,63±1,03 (1,44-3,22)	0,27±0,11 (0,19-0,39)	15,12±4,72 (10,55-19,98)	15,12±4,72 (10,55-19,98)	100	19,79±11,76 (7,20-30,48)	6,62 ±1,10 (5,74 – 7,66)	14,26±3,58 (10,51-17,48)	0,52±0,14 (0,39-0,67)
URB2	9,64±0,25 (9,40 – 9,90)	0,06±0,10 (0-0,17)	12,59±1,52 (11,00-14,02)	6,75± 2,21 (4,37–8,75)	59,19±25,88 (40,79-88,78)	1,38±0,27 (1,09-1,62)	79,91±29,43 (57,25-113,17)	79,96±29,4 (57,25-13,17)	99,92±0,14 (99,76-100)	72,93±4,9 (69,09-78,45)	9,96 ± 1,77 (8,02–11,48)	17,41±6,86 (12,25-25,20)	0,50± 0,10 (0,39-0,56)
OLA	7,71±0,14 (7,56 – 7,83)	0	9,11±2,18 (6,82 -11,15)	0,30±0,03 (0,27-0,32)	9,64±5,06 (5,76-15,36)	0,29±0,02 (0,21-0,30)	19,34±3,00 (17,48- 22,80)	19,34±3 (17,48-22,8)	100	48,09±17,58 (32,94-67,37)	3,71±2,10 (1,28 - 4,92)	6,5±3,03 (3,97-9,85)	0,37±0,09 (0,28-0,45)
PEC	6,59±0,15 (6,49 – 6,77)	1,19±1,17 (0,35-2,52)	5,10±2,26 (3,17 -7,57)	1,13±0,20 (0,90-1,25)	0,54±0,11 (0,41-0,61)	1,03±0,70 (0,39-1,78)	7,80±3,14 (5,03-11,21)	8,99±4,29 (5,38-13,73)	88,79±6,28 (81,65-93,49)	6,99±3,71 (4,46-11,24)	17,62 ±16,06 (5,83–35,91)	34,50±20,16 (16,74-56,4)	1,55±1,61 (0,28-3,36)

Tabela 2: Estatísticas descritivas (média, desvio padrão, mínima e máxima) dos atributos químicos dos solos amostrados na zona ripária do reservatório Cruzeta

Usos: MN = Mata nativa; AGR1= uso agrícola com plantação de tomate; AGR2 = uso agrícola com plantação de milho; URB1= Zona Urbana; URB2 = Zona Urbana com solo contaminado com esgoto doméstico. OLA = Olaria; PEC = pecuária. SB = soma de bases; CTCp = capacidade de troca de cátions potencial; PST = Saturação por sódio; V=Saturação por Bases; MO = Matéria orgânica; P = Fósforo disponível; N=Nitrogênio total.

A análise de componentes principais utilizando os atributos físicos e químicos do solo explicou 65% da variabilidade dos dados nos primeiros dois eixos (eixo 1 = 39%, P=0,001; eixo 2 = 26%, P = 0,001). Os atributos mais importantes na ordenação do eixo 1 foram Densidade do solo (0,90), Porosidade total (-0,66), Matéria Orgânica (-0,78), acidez potencial (-0,83), Fósforo (0,69), Nitrogênio (-0,86), Areia (0,85), Silte (-0,71) e Argila (-0,84). Em relação ao eixo 2, os atributos mais importantes em sua ordenação foram Condutividade elétrica (0,79), pH (0,85), Ca^{2+}trocável (0,71), Mg^{2+}trocável (0,61), Na^{+} trocável (0,74) e K^{+} trocável (0,82).

Os resultados da ACP indicaram que o eixo 1 reflete o gradiente de eutrofização por fontes difusas enquanto que o eixo 2 reflete o gradiente de salinização. No lado positivo do eixo 1, as unidades amostrais referentes ao uso agrícola do solo foram relacionadas a altos valores de matéria orgânica e Nitrogênio, enquanto que no lado negativo o uso do solo pela olaria, ocupação urbana e pecuária aparecem ordenadas com altos valores de fósforo. No lado positivo do eixo 2 é possível associar o solo contaminado pelo esgoto a altos valores de pH e sódio (Figura 5).

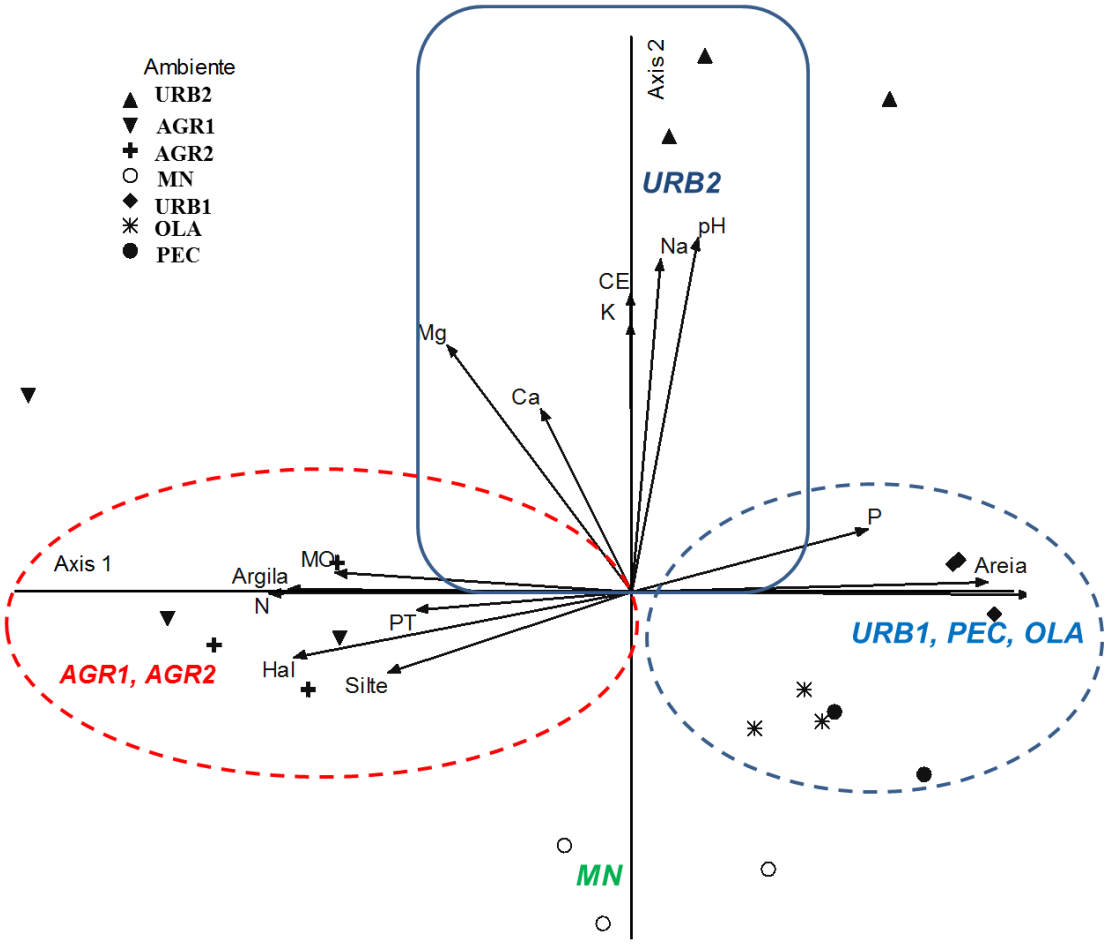

Figura 9: Análise de componentes Principais (ACP) de variáveis de qualidade do solo no entorno do reservatório Cruzeta. Variávies: MO = matéria orgânica; PT = porosidade total; N = nitrogênio; Hal = acidez potencial; P = fósforo; Mg = magnésio trocável; Ca = cálcio trocável; K = potássio trocável; Na = sódio trocável; CE = condutividade elétrica. Usos: MN = Mata nativa; AGR1= uso agrícola com plantação de tomate; AGR2 = uso agrícola com plantação de milho; URB1= Zona Urbana; URB2 = Zona Urbana com solo contaminado com esgoto doméstico. OLA = Olaria; PEC = pecuária

4. DISCUSSÃO

O período do estudo foi marcado por uma seca prolongada onde o volume do reservatório Cruzeta chegou a 0,5% de sua capacidade, sendo operado no volume morto. Em regiões áridas e semiáridas as variações climáticas sazonais como precipitações irregulares ao longo do ano são responsáveis pela alteração do regime hidrológico dos mananciais de abastecimento, causando alteração de estado trófico do sistema, resultando em uma má qualidade da água devido à alta turbidez e biomassa algal, tornando inviável seu o uso na maioria dos reservatórios para os diversos usos da

bacia (Marc Bouvy et al. 2003; Braga et al. 2015; Brasil et al. 2015; J. N. P. Oliveira 2012; Wright et al. 2014)

As bacias hidrográficas do semiárido do nordeste brasileiro são mais sensíveis à redução da precipitação e do fluxo de água. As altas taxas de evaporação típicas da região influenciam significativamente a redução do volume e favorecem concentração de solutos e nutrientes na água dos reservatórios. Assim, os reservatórios dessa região são geralmente turvos e apresentam propensão à eutrofização(Barbosa et al. 2012). A distribuição irregular das chuvas no semiárido brasileiro têm sido intesificada pelo fenômeno El Niño que possui influência conhecida nos climas tropicais e subtropicais (Roland et al. 2012).

Neste estudo, o período de *seca extrema (I)* foi marcado por chuvas abaixo da média nas estações seca e chuvosa, com progressiva diminuição do volume e aumento do tempo de retenção da água. Foi marcado também pelos menores valores de fósforo total, fósforo solúvel reativo, clorofila *a* e sólidos orgânicos. Na medida em que a precipitação é reduzida, reduz também o aporte de nutrientes no sistema, diminuindo a sua disponibilidade, o que pode explicar as baixas concentrações de fósforo disponível e por consequencia menor biomassa algal, representada pela clorofila (Medeiros et al. 2015). O maior volume apresentado no reservatório se deu em função das estações chuvosas dos meses anteriores, em que o reservatório chegou a 100% de sua capacidade em 2011, explicando a maior transparência da água encontrada nesse período.

O período *seca severa a moderada* (II) o nível baixo da água baixo propiciou a ressuspensão do sedimento, aumentando a turbidez por partículas inorgânicas. Isto pode afetar o fitoplancton de maneira negativa, colapsando a biomassa algal devido à falta de luz,ou positivamente, através da liberação de nutrientes do sedimento (Jeppesen et al. 2015; Medeiros et al. 2015). Contudo, o reservatório atingiu 0,5% de sua capacidade volumétrica, com uma profundidade máxima de 0,3m, caracterizando-o como uma poça d'água rasa e turva. Apesar dos altos teores de sólidos suspensos, a baixa profundidade permitiu a passagem de luz até o fundo do manancial (secchi máximo 0,8 m e Zmax 3,0 m) e, aliado às altas concentrações de nutrientes em virtude da ressuspensão do sedimento, estimulou o crescimento fitoplanctônico, o que explica as maiores concentrações de clorofila encontradas neste período.

No período *normal (III)* foi possível visualizar um aumento dos sólidos orgânicos em detrimento dos sólidos inorgânicos e também os maiores valores de

fósforo total. A chuva acima da média que levou a recuperaração do seu volume pasando de 0,5% de sua capacidade para 23,5% aumentou o aporte de matéria orgânica proveniente dos diversos usos e ocupação do solo no entorno do reservatório, que alcançou os ecossistemas aquáticos através do escoamento superficial durante as enxurradas (Bennett et al. 2001; Oliveira 2012).

O padrão encontrado para os sólidos inorgânicos em relação ao volume é o esperado para o Reservatório Cruzeta, já que alguns estudos realizados no mesmo corpo aquático mostraram que este reservatório é um ambiente turvo ao longo de todo o ano (estação seca e chuvosa) com pouca disponibilidade de luz e altos níves de partículas inorgânicas (Freitas et al. 2011; Medeiros et al. 2015).

Diversos trabalhos realizados nas duas estações meteorológicas (período chuvoso e seco) encontraram menores valores de clorofila no período seco (Braga et al. 2015; Jeppesen et al. 2015; Medeiros 2013), ao contrário do padrão geral econtrado para os demais reservatórios do semiárido (Barbosa et al. 2012; Marc Bouvy et al. 2003; Oliveira 2012). A explicação para isto pode estar nas elevadas concentrações de sólidos suspensos que propicia alta turbidez na coluna d'água, causadas pela ressuspensão de sedimentos através da ação dos ventos e dos peixes, devido a pouca profundidade no período de seca, inibindo o crescimento do fitoplancton e altarando a composição da comunidade (Medeiros et al., 2015). A diminuição do volume dos reservatórios do semiárido pode favorecer a diminuição de cianobactérias e a sua substituição por diatomáceas e criptofíceas, espécies que se adaptam melhor em ambientes turvos e de pouca luz (Medeiros et al. 2015).

O reservatório Cruzeta apresentou neste estudo um padrão distinto do esperado para a clorofila neste manancial, apresentando uma relação negatiava com volume, ou seja, maiores concentrações em períodos de menor volume do reservatório. O aumento do volume em virtude da precipitação pode ter diluído a concentração de nutrientes, diminuíndo assim, a biomassa fitoplanctônica (Brasil et al. 2015).

As características limnológicas apresentadas pelo reservatório Cruzeta são dinâmicas e fortemente influenciadas pelo regime climático. Em poucos meses é possível observar alterações no comportamento de suas variáveis limnológicas em função de fatores climáticos como precipitação ou a falta dela.

4.2 Qualidade do solo

O uso e ocupação do solo nas áreas amostradas modificaram as características físicas e químicas do solo em relação à área de referência (MN). A mata nativa apresentou condições intermediárias entre os demais usos, principalmente no que se refere à textura do solo, indicando que algumas áreas podem ter sofrido erosão e outras revolvimento em virtude de um manejo agrícola, o que sugere uma redução na sua qualidade ambiental e aumento no potencial em comprometer a qualidade da água do reservatório.

A alta relação silte/argila encontrada nos solos amostrados representa o baixo grau de intemperismo e um solo menos desenvolvido, comum no semiárido nordestino (Cunha et al. 2010). A condição climática favorece a maior relação do silte/argila encontrada nos Luvissolos nordestinos visto que a remoção preferencial de argila no horizonte superficial é favorecida pelo escoamento superficial devido às precipitações pluviométricas concentradas em eventos de curta duração e elevada intensidade (EMBRAPA 2013).

Apesar de ser considerado um solo jovem, os Luvissolos são mais maduros em relação a outros tipos de solo encontrados no semiárido, como os Neossolos litólicos, encontrados em cidades adjacentes e explorados em estudos anteriores (Oliveira 2013; Oliveira 2012). Isto pode ser evidenciado pela presença de argila de alta atividade (2:1) e pela expressiva mudança textural para o horizonte Bt (Cunha et al. 2010; EMBRAPA 2013).

Os maiores teores de argila e conseqüentemente a menor relação silte/argila foram encontrados em AGR1 indicando que o constante revolvimento pode ter levado a exposição do horizonte Bt. Já os menores teores médios da fração silte foram encontrados nas áreas URB1, URB2 e PEC indicando que a alta intensidade de uso nessas áreas pode ser consequência da erosão. Em OLA, apesar da intensidade de uso, o acúmulo da fração mais fina é objetivo da atividade para a utilização na fabricação de tijolos.

O tipo do solo e a sua classificação textural são características importantes que podem determinar também a qualidade da água dos corpos hídricos que estão inseridos nele. Os Luvissolos por apresentarem a presença do horizonte Bt textural de cores vivas formado pela translocação da argila de alta atividade que se acumula na superfície pode

influenciar nas características da água como maior concentração de dos sólidos inorgânicos gerando alta turbidez e cor.

Além disso, os Luvissolos são altamente suscetíveis à erosão, mesmo quando situados em relevo suave ondulado, como consequência da coesão e consistência do horizonte superficial e da expressiva mudança textural para o horizonte Bt (Cunha et al. 2010). A erosão pode afetar negativamente a qualidade de outros componentes da bacia hidrográfica, causando além do assoreamento de corpos d'água, a contaminação de sistemas aquáticos e da vegetação (Oyama & Nobre 2004)

A PEC apresentou-se como uma das áreas mais heterogêneas com maior variação da densidade do solo. Por se tratar de um pequeno curral, é possível encontrar áreas onde há predominância das excretas do gado com maior teor de matéria orgânica e menor densidade, ao mesmo tempo em que é possível encontrar áreas com maior densidade do solo em função do pisoteio animal. Apesar dessa heterogeneidade a Ds não é muito elevada, o que pode indicar que embora haja o pisoteio animal não houve compactação, ou que há a influência da matriz arenosa dos horizontes superficiais dos Luvissolos em adição ao aporte de matéria orgânica oriunda dos excretas.

A área urbana apresentou a maior densidade do solo. Levando em consideração que se trata de um terreno plano, sem vegetação, com solo exposto e com acesso à movimentação de pedestres e animais, é de se esperar que haja um maior grau de compactação do solo (Mancuso et al. 2014).

A reação moderadamente ácida à praticamente neutra dos Luvissolos e a elevada saturação por bases, associada à ausência de Al trocável, contribui para manutenção de pH próximos a 6,5(Oliveira et al. 2009).

A área URB1 apresentou maior pH, resultado da maior concentração de sais encontrada do solo, com predominância de Na^+. Diversos estudos apontam um incremento da sodicidade do solo devido à salinidade e altas concentrações de sódio de muitos efluentes (Arienzo et al. 2012; Balks et al. 1998; Leal et al. 2009). A grande proporção de Na^+ nos sítios de troca de minerais de argila reduz a atração entre partículas do solo ocasionando dispersão. As partículas dispersas movem-se pelo solo ocupando espaços porosos com consequente deterioração da estrutura do solo, reduzindo as taxas de infiltração e permeabilidade e aumentando o escoamento e a erosão do solo (Netzer et al. 2014)

Apesar do constante aporte de nutrientes proveniente do esgoto na URB2 a concentração de P encontrada no solo desta área não superou à encontrada em PEC. Um estudo utilizando plantações irrigadas com esgoto relatou que não houve alteração nos teores de fósforo do solo em virtude do esgoto e que as mudanças nas características químicas do solo ocorrem em longo prazo, visto que a dinâmica do P ocorre lentamente (Kouraa et al., 2002).

A OLA apesar de não apresentar os maiores teores de fósforo, apresentou concentrações mais elevadas do que solos utilizados na agricultura aos quais é adicionado fertilizante químico. Isto pode ser explicado pela utilização, principalmente no período de seca, do sedimento dos reservatórios como matéria prima para a extração do barro utilizado na fabricação da cerâmica. O sedimento dos reservatórios é rico em nutrientes, especialmente fósforo, chegando a ser 100 vezes maior do que o encontrado na coluna d'água (Søndergaard et al. 2003). A retenção líquida do fósforo no sedimento se dá pela sedimentação de partículas que entram continuamente no lago ou são produzidos na coluna de água (algas, detritos, etc.) e a relação com mecanismos químicos e físicos de transporte estabelecida no sedimento(Søndergaard et al. 2003). A utilização do sedimento na fabricação de cerâmica tem grande potencial de retornar à coluna d'água, através da erosão das pilhas de solo formadas, e posteriormente ao sedimento alterando a dinâmica de nutrientes do reservatório.

O maior teor de matéria orgânica em AGR1 se deve provavelmente ao uso de adubação orgânica para complementar a ferilização química realizada. O uso de fertilizante aumenta a produção de biomassa, que retorna a partir de resíduos culturais a materia orgânica para os solos. A maior biomassa das culturas induz a maior concentração de carbono orgânico do solo (Liu et al. 2010) e também de nitrogênio, o que explica a relação postiva encontrada com a matéria orgânica na área sob esse uso. O aumento da matéria orgânica na camada superficial do solo favorece um melhor desenvolvimento da agregação do solo, reduzindo a Ds (Souza & Alves, 2003), aumentando a porosidade e reduzindo as perdas por erosão.

Os animais na pastagem influenciam a ciclagem e adistribuição dos nutrientes no solo, via desfolha das plantas, e o seu retorno para o solo, pela excreção,como esterco e urina. Nitrogênio e potássio retornam ao solo através das excreções animais principalmente pela urina, enquanto o fósforo e o cálcio retornam mais pelas fezes (Rodrigues et al. 2008). As excretas dos animais aumentam a concentração de todas as

formas de fósforo no solo (orgânico e inorgânico), podendo representar até 70% do fósforo total encontrado no solo(Sharpley et al. 1984). As excretas influenciam a disponibilidade de nutrientes no solo por um longo período de tempo (três meses a dois anos), sendo o seu suprimento dependente da proporção da área de pastagem influenciada pelas excretas, da taxa deliberação dos nutrientes das excreções e da recuperação dos nutrientes pelo pasto(Ferreira et al. 2011). Vale salientar que apesar de ser uma fonte a ser considerada a longo prazo, o seu efeito é permanente.

Nos solos da região semiárida, os baixos teores de óxidos de Fe e Al reduzem a formação de complexos com íons fosfato reduzindo assim a capacidade de adsorção de P no solo. Logo, a não formação de complexos aumenta a disponibilidade de P na solução do solo, facilitando seu transporte pelas enxurradas para os ambientes aquáticos adjacentes. Solos com baixos teores de Fe, característicos da região semiárida, contribuem para uma maior entrada de P e um aumento no processo de eutrofização dos sistemas aquáticos (Ekholm & Lehtoranta 2012)

As características naturais do solo da região semiárida aliadas aos usos sem o manejo adequado do entorno do reservatório levam à maior suscetibilidade de erosão e por consequência assoreamento e contaminação de sistemas aquáticos. Dessa forma, os solos do semiárido requerem um criterioso manejo para promover uso sustentável dos recursos naturais, satisfazendo as necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras.

O uso e ocupação inadequados da bacia hidrográfica são considerado algumas das maiores causas de alteração da qualidade da água, seja de forma concentrada através da poluição pontual pelo lançamento de efluentes domésticos ou industriais, ou de forma dispersa como no caso de poluição pelos defensivos e insumos agrícolas, contribuindo para a incorporação de compostos orgânicos e inorgânicos nos cursos de água.

Os resultados deste trabalho indicaram que a deficiência e/ou irregularidade de chuvas associadas às altas taxas de evapotranspiração características da região semiárida e intensificadas pelas mudanças climáticas influenciam diretamente na qualidade da água. O período de estudo foi marcado por uma seca severa e pelo alto grau de eutrofização do reservatório com altos níveis de sólidos suspensos, nutrientes e clorofila a caracterizando baixa qualidade da água e inviabilizando seus usos múltiplos.

Na zona ripária do reservatório Cruzeta, a área de pastagem se caracterizou como uma das principais fontes difusas de nutrientes para o reservatório, apresentando os maiores teores de fósforo no solo bem como uma das maiores concentrações de nitrogênio derivados da decomposição das excretas animais conferindo ao manancial uma tendência permanente de aumento do processo de eutrofização. Além disso, o próprio tipo do solo da região caracteriza como um elemento que confere maiores teores de cor e sólidos suspensos ao Sistema

Os indicadores de qualidade da água e do solo são úteis para monitoramento e avaliaçãodo estado de conservação desses recursos naturais permitindo o controle e mitigação do processo de eutrofização do reservatório.

5. CONCLUSÃO

1- A redução do nível da água e o aumento do tempo de retenção da água do reservatório contibuíram para o aumento da concentração de sólidos inorgânicos e orgânicos e da da biomassa algal, marcada pelo incremento da concentração de clorofila *a*.
2- Os usos do solo na zona ripária do reservatório provocam a redução da qualidade do solo e conseqüente aumento do seu potencial em comprometer a qualidade da água do reservatório.
3- Áreas com uso do solo sob influência da pecuária, cultivo agrícola e a ausência de esgotamento sanitário são potenciais fontes difusas de nutrientes (fósforo e nitrogênio) para o reservatório Cruzeta.
4- O uso do sedimento do reservatório por olarias pode devolver ao corpo aquático o fósforo que estava contido no fundo do reservatório através da erosão das pilhas de sedimento tornando-os disponível na coluna d'água.
5- O Luvissolo também confere cor e Sólidos Suspensos à água do reservatório, influenciando na sua qualidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da água do manancial de Cruzeta é reflexo do uso e ocupação do solo bem como das características sazonais climáticas que atuam na variação do seu volume.

A crise hídrica que assola o semiárido nordestino reflete o aspecto quantitativo da disponibilidade de água como também seu aspecto qualitativo. Apesar de atualmente o

Reservatório Cruzeta encontrar-se com volume bem abaixo do volume morto o principal problema da utilização da água para o abastecimento humano se refere a sua qualidade, que se apresenta comprometida em diversos aspectos inviabilizando o tratamento.

Dessa forma, é necessário implementar medidas de prevenção e correção como a suspensão de atividades econômicas nas áreas de APP e a implantação de esgotamento sanitário na região, para então diminuir o aporte de nutrientes no Sistema e uma gestão segura dos recursos naturais buscando a manutenção de um adequado equilíbrio ecológico nas áreas sob uso do solo no entorno do reservatório Cruzeta a fim de mitigar o processo de degradação da qualidade da água desse importante manancial de abastecimento.

7. REFERÊNCIAS

Arienzo, M., Christen, E. W., Jayawardane, N. S., & Quayle, W. C. (2012). The relative effects of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implications for winery wastewater management. *Geoderma*, *173-174*, 303–310. doi:10.1016/j.geoderma.2011.12.012

Balks, M. R., Bond, W. ., & Smith, C. J. (1998). Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated planation. *Australian Journal of soil Research*, *36*, 821–830.

Barbosa, J. E. D. L., Medeiros, E. S. F., Brasil, J., Cordeiro, R. da S., Crispim, M. B., & Silva, G. H. G. (2012). Aquatic systems in semi-arid Brazil : limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *24*(1), 103–118.

Bennett, E. M., Carpenter, S. R., & Caraco, N. F. (2001). Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective. *BioScience*, *51*(3), 227. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[0227:HIOEPA]2.0.CO;2

Bicudo, C. E. ., Ramírez, R. J. J., Tucci, A., & Bicudo, D. C. (1999). Dinâmica de populações fitoplanctônicas em ambiente eutrofizado: O Lago das Graças, São Paulo. In R. Henry (Ed.), *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos* (pp. 451–507). Botucatu: FAPESP.

Bouvy, M, Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M., & Moura, a. (2000). Occurrence of Cylindrospermopsis (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, *23*, 13–27. doi:10.3354/ame023013

Bouvy, Marc, Nascimento, S. M., Molica, R. J. R., Ferreira, A., Huszar, V., & Azevedo, S. M. F. O. (2003). Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought, 115–130.

Braga, G. G., Becker, V., Neuciano, J., Oliveira, P. De, Rodrigues, J., Junior, D. M., et al. (2015). Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region, *27*(1), 15–23.

Brasil, J., Attayde, J. L., Vasconcelos, F. R., Dantas, D. F., & Huszar, V. L. M. (2015). Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. *Hydrobiologia*. doi:10.1007/s10750-015-2578-5

Carpenter, S. ., Caraco, N. ., Correll, D. ., Howarth, R. ., Sharpley, A. ., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with Phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, *8*(January 1998), 559–568.

Chellappa, N., Borba, J., & Rocha, O. (2008). Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta , RN , Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, *68*(3), 477–494.

Costa, I. A. S. da, Cunha, S. R. de S., Panosso, R., Araújo, M. F. F., Melo, J. L. de S., & Eskinazi-Sant'Anna, E. M. (2009). Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. *Oecologia Brasiliensis*, *13*(2), 382–401.

Cunha, T. J. F., Petrere, V. G., Silva, D. J., Mendes, A. M. S., Melo, R. F., Neto, M. B. de O., et al. (2010). Principais solos do semiárido tropical brasileiro:caracterização, potencialidades, limitações. fertilidade e manejo. In I. B. Sá & P. C. G. da Silva (Eds.), *Semiárido Brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação* (p. 402). Petrolina: EMBRAPA Semiárido. https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/874888/principais-solos-do-semiarido-tropical-brasileiro-caracterizacao-potencialidades-limitacoes-fertilidade-e-manejo

Daniel, T. C., Sharpley, A. N., & Lemunyon, J. L. (1998). Agricultural Phosphorus and Eutrophication: A Symposium Overview. *Journal of Environmental Quality*, *27*, 251–257.

Dodds, W. K., Bouska, W. W., Eitzmann, J. L., Pilger, T. J., Pitts, K. L., Riley, A. J., et al. (2009). Eutrophication of U . S . Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages. *Environmental science & technology*, *43*(1), 12–19.

Ekholm, P., & Lehtoranta, J. (2012). Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication? *Journal of environmental management*, *93*(1), 140–6. doi:10.1016/j.jenvman.2011.09.010

EMBRAPA. (1971). *Levantamento Exploratório-Reconhecimento dos solos do Rio Grande do Norte. Recife: Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA-SUDENE/DRN* (p. 536).

EMBRAPA. (2013). *Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos* (3rd ed., p. 353). Rio de Janeiro.

Ferreira, E. V. de O., Anghinoni, I., Andrighetti, H., Martins, A. P., & Carvalho, P. C. de F. (2011). Ciclagem e Balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, *35*(1), 161–169.

For, A. (American P. H. A. (2012). *Standard methods for the examination of water and waste-water* (22nd ed., p. 1325). Washington: AWWA and W.E.F.

Freitas, F. R. S., Righetto, A. M., & Attayde, J. L. (2011). Cargas de Fósforo Total e Material em Suspensão em um Reservatório do Semi-Árido Brasileiro. *Oecologia Australis*, *15*(3), 655–665. doi:10.4257/oeco.2011.1503.16

Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association.*, *35*(2), 311–322.

Haynes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., & Vanyarkho, O. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *80*(3), 429 – 438.

Herrick, J. E. (2000). Soil quality : an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*, *15*, 75–83.

INMET. (2015). No Title. Accessed 6 January 2015

IPCC. (2013). Summary for policymakers. In T. F. Stocker, D. Qin, G. . Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–29). Cambridge: Cambridge University Press.

Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Nõges, T., et al. (2015). Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, *750*(1), 201–227. doi:10.1007/s10750-014-2169-x

Jespersen, A. ., & Christorffersen, K. (1988). Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. *Hydrobiologia*, *109*, 445–454.

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. ., & Shuman, G. E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, *61*, 4–10.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, *15*, 259–263.

Leal, R. M. P., Herpin, U., Fonseca, A. F. Da, Firme, L. P., Montes, C. R., & Melfi, A. J. (2009). Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, *96*(2), 307–316. doi:10.1016/j.agwat.2008.08.009

Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S. H., Ding, L., et al. (2010). Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, *158*(3-4), 173–180. doi:10.1016/j.geoderma.2010.04.029

Lürling, M., & Faassen, E. J. (2012). Controlling toxic cyanobacteria: effects of dredging and phosphorus-binding clay on cyanobacteria and microcystins. *Water research*, *46*(5), 1447–59. doi:10.1016/j.watres.2011.11.008

Lürling, M., & van Oosterhout, F. (2012). Case study on the efficacy of a lanthanum-enriched clay (Phoslock®) in controlling eutrophication in Lake Het Groene Eiland (The Netherlands). *Hydrobiologia*, *710*(1), 253–263. doi:10.1007/s10750-012-1141-x

Lürling, M., & van Oosterhout, F. (2013). Controlling eutrophication by combined bloom precipitation and sediment phosphorus inactivation. *Water research*, *47*(17), 6527–37. doi:10.1016/j.watres.2013.08.019

Mancuso, M. A., Flores, B. A., Mario, G., & Schroeder, J. K. (2014). Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. *Revista Monografias Ambientais - REMOA*, *14*(1), 2890–2898.

Medeiros, L. D. C., Mattos, A., Lürling, M., & Becker, V. (2015). Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. *Aquatic Ecology*, *49*(3), 293–307. doi:10.1007/s10452-015-9524-5

Medeiros, L. D. E. C. (2013). *O Efeito do Regime Hídrico do Semiárido na composição de espécies durante dominância de cianobactérias em um reservatório tropical.* Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Murphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta*, *27*, 31.

Naselli-Flores, L., & Barone, R. (2005). Water-Level Fluctuations in Mediterranean Reservoirs: Setting a Dewatering Threshold as a Management Tool to Improve Water Quality. *Hydrobiologia*, *548*(1), 85–99. doi:10.1007/s10750-005-1149-6

Netzer, Y., Shenker, M., & Schwartz, A. (2014). Effects of irrigation using treated wastewater on table grape vineyards: dynamics of sodium accumulation in soil and plant. *Irrigation Science*, *32*(4), 283–294. doi:10.1007/s00271-014-0430-8

Ney, J. J. (1996). Oligotrophication and Its Discontents: Effects of Reduced Nutrient Loading on Reservoir Fisheries. *American Fisheries Society Symposium*, *16*, 285–295.

Oliveira, L. B. De, Paulo, M., & Fontes, F. (2009). Morfologia e classificação de luvissolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, *33*(4), 1333–1345.

Oliveira, H. A. (2013). *Análise do uso e ocupaçãoens de um reservatório e a sua influência na qualidade da água*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Oliveira, J. N. P. (2012). *A influência da poluição difusa e do regime hidrológico peculiar do semiarido na qualidade da água de um reservatório tropical*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Oyama, M. D., & Nobre, C. A. (2004). Climatic Consequences of a Large-Scale Desertification in Northeast Brazil : A GCM Simulation Study. *Journal of Climate*, *50*, 3203–3213.

Panda, R. K., & Behera, S. (2003). Non-point source pollution of water resources : Problems and perspectives. *Food, agriculture & Environment*, *1*(December), 308–311.

Rodrigues, A. M., Cecato, U., Fukumoto, N. M., Galbeiro, S., Santos, G. T. dos, & Barbero, L. M. (2008). Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *37*(6), 990–997.

Roland, F., Huszar, V. L. M., Farjalla, V., Enrich-Prast, a, Amado, a M., & Ometto, J. P. H. B. (2012). Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, *72*(3 Suppl), 709–22. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23011300

Schindler, D. W. (2012). The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, *279*(1746), 4322–33. doi:10.1098/rspb.2012.1032

Schindler, D. W., Hecky, R. E., Findlay, D. L., Stainton, M. P., Parker, B. R., Paterson, M. J., et al. (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(32), 11254–8. doi:10.1073/pnas.0805108105

SEMARH-RN. (2015). http//www.semarh.rn.gov.br//. http//www.semarh.rn.gov.br//. Accessed 6 October 2015

Sharpley, A. ., & Halvorson, A. . (1994). *Soil Processes and water quality*.

Sharpley, A. N., Smith, S. J., Stewart, B. A., & Mathers, A. . (1984). Forms of Phosphorus in Soil Receiving Cattle Feedlot Waste'. *Journal of Environmental Quality*, *13*(2), 211–215.

Smith, V H, Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, *100*(1-3), 179–96. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15093117

Smith, V.H., & Schindler, D. W. (2009). Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution*, *24*(4), 201–207. doi:10.1016/j.tree.2008.11.009

Søndergaard, M., Jensen, J. P., & Jeppesen, E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 135–145.

Souza, Z. M. de, & Alves, M. C. (2003). Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Acta Scientiarum: Agronomy*, *25*(1), 27–34.

Straŝkraba, M., & Tundisi, J. . (2000). *Gerenciamento da qualidade da água de represas. Diretrizes para o gerenciamento de lagos* (V.9 ed., p. 258). São Carlos: ILEC/IIE.

Thornton, J. A., & Rast, W. (1993). Thornton and Rast 1993.pdf. In M. Straškraba, J. G. Tundisi, & A. Duncan (Eds.), *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management* (pp. 1–24). Kluwer Academic Publishers.

Valderrama, J. C. (1981). The simultaneous analysis of total and phosphorus in natural waters. *Mar Chem*, *10*, 109–122.

Wright, B., Stanford, B. D., Reinert, A., Routt, J. C., Khan, S. J., & Debroux, J. F. (2014). Managing water quality impacts from drought on drinking water supplies. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, *63*(3), 179. doi:10.2166/aqua.2013.123

8. APÊNDICES

Fotografia 1 – URB1 – Zona Urbana em torno do Reservatório de Cruzeta

Fotografia 2 – URB2 – Zona Urbana com fonte de poluição por esgoto

Fotografia 3 – AGR1 – Área agrícola com plantação de tomate

Fotografia 4 – AGR2– Área agrícola com plantação de milho

Fotografia 5 –OLA– Olaria

Fotografia 6 – PEC – Criação de gado

Fotografia 7 – MN – Mata Nativa, área de referência