



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

JOÃO VIEIRA DE MORAIS NETO

ÁREAS DE SOLO EXPOSTO INTENSIFICAM O PROCESSO DE
EUTROFIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Natal - RN

2018

JOÃO VIEIRA DE MORAIS NETO

**ÁREAS DE SOLO EXPOSTO INTENSIFICAM O PROCESSO DE
EUTROFIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

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

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Angelini

Coorientadora: Dra. Fabiana Araújo

Natal-RN

2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Morais Neto, João Vieira de Moraes.

Áreas de solo exposto intensificam o processo de eutrofização no semiárido brasileiro / João Vieira de Moraes Neto. - 2018. 29 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Angelini.

Coorientadora: Dr.^a Fabiana Araújo.

1. Uso e ocupação do solo - Dissertação. 2. Bacia Hidrográfica - Dissertação. 3. Geoprocessamento - Dissertação. I. Angelini, Ronaldo. II. Araújo, Fabiana. III. Título.

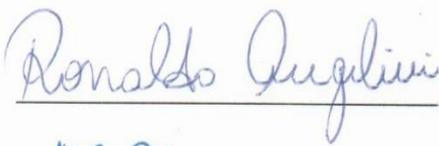
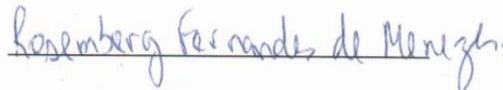
RN/UF/BCZM

CDU 556.18(813.2)

JOÃO VIEIRA DE MORAIS NETO**ÁREAS DE SOLO EXPOSTO INTENSIFICAM O PROCESSO DE
EUTROFIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação stricto sensu 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

RONALDO ANGELINI	PRESIDENTE	
FABIANA OLIVEIRA DE ARAÚJO SILVA	MEMBRO	
KARINA PATRÍCIA VIEIRA DA CUNHA	MEMBRO	
ROSEMBERG FERNANDES DE MENEZES	MEMBRO	

Natal, Abril de 2018

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me dado saúde, coragem e determinação para conclusão de mais essa etapa da minha carreira acadêmica.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – PpgES, bem como à todos os professores e funcionários, por todo conhecimento adquirido. À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa ofertada ao programa, da qual pude usufruir.

Agradeço a minha família que aguentou todo o estresse e estiveram sempre ao meu lado, Cátia Regina, Maryana Vieira, Davi Ferreira e Herbert Cavalcanti.

A minha namorada Hercília Borges que se mostra sempre uma parceira incentivadora e compreensiva em todas as minhas atividades, incluindo as acadêmicas.

Aos meus orientadores, Professores Dr. Ronaldo Angelini e Dra. Fabiana Araújo, sem a motivação e confiança de vocês eu não teria concluído mais esse desafio, nos momentos em que desanimei foram vocês que me mostraram a importância dessa pesquisa e me deram total suporte para eu concluir esta etapa, meus sinceros agradecimentos por tudo que vocês fizeram/fazem por mim. Ronaldo sempre ao meu lado, dando todo suporte material, e uma carga de energia positiva muito grande, é motivante ver seu prazer em fazer ciência e ajudar os outros a buscar a evolução, esse tempo juntos foi um prazer enorme pra mim. Fabiana começou como psicóloga enfiando na minha cabeça a relevância científica deste trabalho e terminou como uma amiga que muito me ajudou, como ajuda todos do LARHISA (Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental –UFRN).

Ao IDEMA pelo fornecimento dos dados de qualidade da água.

A professora Dra. Karina Patrícia, que foi muito importante para mim durante o período que passei sobre sua orientação, foi quando iniciei o estudo do semiárido potiguar, eram sempre muito prazerosos o convívio e as idas a campo.

Agradeço também aos professores de geoprocessamento Pedro Junior e Dr. Ricardo Amaral que sempre se mostraram dispostos a me ajudar.

Aos meus amigos da graduação que me aguentaram durante tanto tempo, Carla Virgínia, Andreza Guimarães, Rafael Souto, Tayane Vanderley, Carlos Alberto, Maynara entre outros.

Ao meu grupo do PPGES, Carolina Tavares, Alana Jade e Carlos Alberto, foram muitos momentos maravilhosos com vocês. O ano de 2016 foi muito intenso, aulas e trabalhos juntos, mas principalmente nossos momentos de conversas e confraternizações foram essenciais

naquele período. Apesar da distância natural tenho a amizade de vocês e vou carregá-los sempre em meu coração.

Sumário

Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas.....	X
Resumo.....	XI
Abstract	XII
1.Introdução.....	1
2. Material e Métodos.....	3
2.1. Área de Estudo.....	3
2.2. Dados de Qualidade da Água	4
2.3. Análise Morfométrica da Bacia de Drenagem	5
2.4. Análise da Cobertura Do Solo	5
2.5. Análises Estatísticas	5
3. Resultados	6
4. Discussão.....	12
5. Conclusão	14
6. Referências	15
7. Anexo	18

Lista de Figuras

- Figura 1. Processo de entrada e transporte de nutrientes aos ecossistemas aquáticos a partir de fontes difusas de poluição (adaptado, a partir de Carpenter et al., 1998). 2
- Figura 2 - Localização das 33 sub-bacias analisadas. Reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu (PIA): 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APM): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão. 3
- Figura 3 - Tipos de solo presentes nas bacias dos rios Piranhas-Açu (PIAC) e Apodi-Mossoró (APMO) no estado do Rio Grande do Norte..... 4
- Figura 4 - Distribuição das bacias no estado do Rio Grande do Norte após a classificação semi-automática supervisionada. Reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu (PIAC): 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão..... 6
- Figura 5- . Variação das classes de uso do solo das bacias. VDC=Vegetação densa; VES=Vegetação esparsa; SEX=Solo exposto; AGR=Agricultura; URB=Urbano; APMO=Apodi-Mossoró; PIAC=Piranhas-Açu 8
- Figura 6- Média anual de chuvas das trinta e três sub-bacias, sendo marcada a média geral das bacias PIAC e APMO. Reservatórios: 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão. 8
- Figura 7 - Relação entre a porcentagem de solo exposto nas bacias de drenagem com nitrogênio total e com fósforo total, respectivamente, para 33 reservatórios do estado do Rio Grande do Norte..... 9

Figura 8- Relação entre a porcentagem de solo exposto nas bacias de drenagem com nitrogênio total para os reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró estado do Rio Grande do Norte... 10

Figura 9- Análise de componentes principais entre os dados limnológicos. Reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu (PIA): 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Lucrécia; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão. 11

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultados finais das análises de geoprocessamento e inserção dos dados limnológicos das trinta e três sub-bacias analisadas. Uso do solo dos tipos: VDS-Vegetação Densa; VES-Vegetação Esparsa; SEX-Solo Exposto; AGR-Agricultura; URB-Urbano. As variáveis limnológicas dos tipos DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA- Clarofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Reservatórios: 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão. 7

Tabela 2- Valores dos coeficientes de correlações de Pearson entre os dados limnológicos dos 33 reservatórios e a porcentagem de cobertura do uso da terra das bacias dos reservatórios. ($p < 0,01$) foram marcadas em negrito. DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA- Clarofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) 9

Tabela 3 - Tabela de correlações entre os dados limnológicos dos reservatórios com os de uso da terra das bacias de drenagens analisadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, as correlações significativas ($p < 0,01$) foram marcadas em negrito. As variáveis limnológicas dos tipos: DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA- Clarofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$). 9

Tabela 4- Valores das Correlações de Pearson entre os dados limnológicos dos reservatórios com os de uso da terra das bacias de drenagens analisadas na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu. As variáveis limnológicas dos tipos: DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA- Clarofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) 10

Tabela 5 - Valores de correlação de Pearson entre os tipos de uso do solo com os resultados da PCA dos dados limnológicos para todos os reservatórios. as correlações significativas ($p < 0,01$) foram marcadas em negrito. PCA1=escores do eixo 1 da ACP; PCA2=escores do eixo 2 da ACP; VDS-Vegetação Densa; VES-Vegetação Esparsa; SEX-Solo Exposto; AGR-Agricultura; URB-Urbano. 11

ÁREAS DE SOLO EXPOSTO INTENSIFICAM O PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Resumo: A substituição da vegetação nativa por atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica, geralmente resulta no aumento do carreamento de nutrientes aos ecossistemas aquáticos, reduzindo a qualidade da água destes ambientes. A região semiárida do Nordeste brasileiro atende a esta regra e por possuir solos jovens, é ainda mais susceptível a erosão, o que pode agravar o problema. Identificar as variáveis que podem comprometer a qualidade da água de mananciais é de suma importância para a gestão das bacias, visando gerar políticas públicas de proteção aos mananciais hídricos. Este trabalho tem como objetivo avaliar o poder preditivo das variáveis ambientais de uso e ocupação do solo sobre as variáveis limnológicas de trinta e três reservatórios inseridos nas bacias dos rios Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró no semiárido brasileiro (Rio Grande do Norte – RN). A delimitação das sub-bacias, bem como as análises de uso e ocupação do solo foram realizadas através de ferramentas de geoprocessamento como Taudem e o plugin SCP aplicados no software Quantum Gis, separando as classes em: vegetação densa, vegetação esparsa, solo exposto, urbano, agricultura e água. Os dados de qualidade da água foram obtidos junto a um programa estadual de monitoramento de águas superficiais e as variáveis selecionadas foram: fósforo total, nitrogênio total, Demanda Bioquímica de Oxigênio e clorofila-a. Foram realizadas análises estatísticas de correlação de Pearson e Análise de Componentes Principais (PCA) entre os dados limnológicos e do uso do solo para o ano de 2009. Foram encontradas altas correlações positivas significativas ($p < 0,01$) entre as áreas de solo exposto com as variáveis limnológicas nitrogênio total e fósforo total. A PCA confeccionada mostrou que a relação entre o uso do solo e a qualidade da água do reservatório é mais pronunciada na bacia Apodi-Mossoró. Portanto, esses resultados evidenciam que a redução da porcentagem da vegetação nativa e o aumento das áreas de solo exposto tendem a piorar a qualidade da água pela intensificação do processo de eutrofização podendo ocasionar florações de cianobactérias, além do que segundo outros estudos nesta região aponta que estas áreas estão associadas as atividades agrícolas e de pecuária extensiva, e os tipos de solo presentes nas bacias também são variáveis fundamentais no entendimento do processo de enriquecimento dos corpos hídricos.

Palavras-Chave Uso e ocupação do solo, bacia hidrográfica, geoprocessamento, limnologia, classificação do solo.

EXPOSED SOIL AREAS INTENSIFY THE EUTROPHIZATION PROCESS IN THE BRAZILIAN SEMIARID

Abstract: The replacement of native vegetation by anthropic activities in a watershed usually results in the transport of nutrients to aquatic ecosystems, reducing the water quality of these environments. The semi-arid region of the Brazilian Northeast meets this rule and, because it has young soils, is even more susceptible to erosion, which can exacerbate the problem. Identifying the variables that can compromise the water quality of springs is of utmost importance for the management of the basins, aiming to generate public policies of protection to the water sources. The objective of this study was to evaluate the predictive power of the environmental variables of soil use and occupation on the limnological variables of thirty-three reservoirs inserted in the Piranhas-Açu and Apodi-Mossoró river basins in the Brazilian semi-arid region (Rio Grande do Norte - RN). The delimitation of the sub-basin, as well as the analyzes of land use and occupation were carried out using geoprocessing tools such as Taudem and the SCP plugin applied in the Quantum Gis software, classifying uses in: dense vegetation, sparse vegetation, exposed soil, urban, agriculture and water. The water quality data were obtained from a state program for monitoring surface water and the selected variables were: total phosphorus, total nitrogen, Biochemical Oxygen Demand and chlorophyll a. Statistical analyzes of Pearson correlation and Principal Component Analysis (PCA) were performed between limnological and soil use data for the year 2009. Significant positive correlations ($p < 0.01$) were found between the exposed soil areas with limnological variables total nitrogen and total phosphorus. The PCA made showed that the relationship between the use of the soil and the water quality of the reservoir is more pronounced in the Apodi-Mossoró basin. Therefore, these results show that the reduction of the native vegetation percentage and the increase of the exposed soil areas tend to worsen the water quality by intensifying the eutrophication process, which may lead to cyanobacteria blooms, and according to other studies in this region, these areas are associated with agricultural and extensive livestock activities, and the soil types present in the basins are also fundamental variables in the understanding of the process of enrichment of the water bodies.

Key Words: Land use, watershed, geoprocessing, limnological, soil classification

1. Introdução

A qualidade da água de um corpo hídrico está diretamente relacionada com o tipo de uso e ocupação do solo ao longo de sua sub-bacia (Von Sperling, 2005). O desenvolvimento de atividades humanas numa bacia, normalmente reduz a cobertura vegetal nativa substituindo-a por áreas impermeáveis ou sem proteção e provocando alteração no ciclo hidrológico natural. Dessa maneira, as alterações não se restringem aos ecossistemas terrestres mas se estendem aos sistemas hídricos superficiais ou subterrâneos (Mouri, 2015).

A poluição difusa advinda das atividades de agricultura e pecuária, que são as principais classes antrópicas de uso e ocupação do solo nas bacias de drenagem dos reservatórios do semiárido brasileiro, resultam no aumento da disponibilidade de nutrientes para os corpos d'água, provenientes do uso de fertilizantes e da decomposição das excretas animais (Taranu & Gregory-eaves, 2008; Res *et al.*, 1999; Carpenter *et al.*, 1998, Figura 1). Ainda, o pisoteamento realizado pelos animais causa a compactação superficial e aumento da densidade do solo, reduzindo a taxa de infiltração, a porosidade e a estabilidade de agregados, o que promove o aumento da erodibilidade (Islam & Weil, 2000). Isso faz com que o solo atue como fonte difusa de poluentes aos mananciais superficiais, aumentando o risco de assoreamento e eutrofização desses sistemas (Carpenter, S.R, Caraco, N. F., Correll, D. L. , Howarth, R. W., Sharpley, A. N., Smith, 1998).

Uma vez na coluna d'água, os nutrientes advindos da bacia são utilizados para produção primária ou depositados no sedimento do reservatório através de processos de precipitação e adsorção, podendo ser disponibilizados novamente através dos mecanismos de fertilização interna, retroalimentando o processo de eutrofização (Esteves, 2011), isto é, o enriquecimento dos corpos hídricos por nutrientes, podendo causar o crescimento desordenado e acentuado de algas.

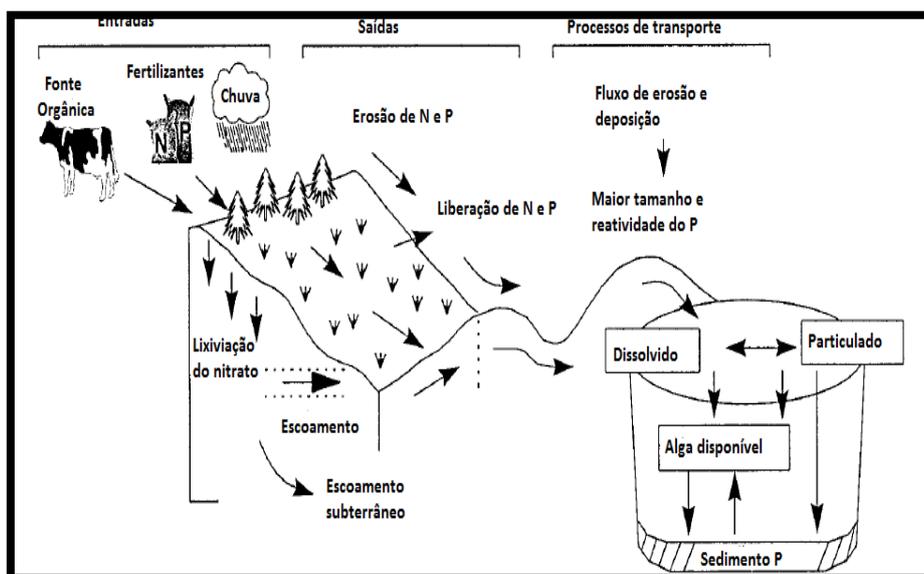


Figura 1. Processo de entrada e transporte de nutrientes aos ecossistemas aquáticos a partir de fontes difusas de poluição (adaptado, a partir de Carpenter et al., 1998).

Os eventos climáticos extremos também têm grande impacto principalmente em lagos rasos, que comuns no semiárido brasileiro, pois causam alterações no volume e consequentemente na profundidade do lago (Choi, 1998). Na região do semiárido são comuns eventos de chuvas torrenciais e de curta duração que, aliado a presença de solos rasos, mal estruturados e degradados, acarretam maior erosão do solo e aporte dos nutrientes, através do processo de escoamento intenso nessas áreas. Além disso, esta região está sujeita a longos períodos de escassez hídrica que intensificam os processos de eutrofização e floração de algas devido ao aumento da temperatura e a evaporação intensa que incrementa a densidade de nutrientes (Paerl & Huisman, 2008).

Os reservatórios no Estado do Rio Grande do Norte vêm sofrendo com a eutrofização e constantes florações de cianobactérias potencialmente tóxicas (Braga *et al.*, 2015) o que inviabiliza seus múltiplos usos. Além disso, a região semiárida brasileira é afetada pela pior seca dos últimos 60 anos (ANA, 2016), levando a uma situação de escassez hídrica de água de boa qualidade e consequentemente prejuízos sociais e econômicos para a região.

Dessa forma, o conhecimento e caracterização das classes de uso e ocupação do solo das bacias dos reservatórios serviria para embasar as propostas de manejo com o intuito de reduzir os possíveis efeitos negativos sobre a qualidade da água, buscando a preservação do ecossistema e oferecimento de água dentro dos padrões de potabilidade tendo em vista que esses reservatórios de nosso estudo são utilizados para abastecimento humano. Assim, o objetivo deste trabalho é entender se a redução da qualidade da água nestes ambientes pode estar sendo influenciada pelo uso do solo de suas sub-bacias. Nossa hipótese é que as bacias com maior porcentagem de atividades antrópicas apresentam pior qualidade da água em seus reservatórios.

2. Material e Métodos

2.1. Área de Estudo

Este trabalho abrange 33 sub-bacias inseridas nas duas maiores bacias hidrográficas presentes no estado do Rio Grande do Norte (bacias dos rios Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró, Figura 2). A região possui um clima descrito pela classificação de Köppen (2014) como do tipo BSw'h' (Estepe), caracterizados por ter precipitação anual inferior a 500mm e período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro e abril, além disso a evapotranspiração potencial é superior a precipitação.

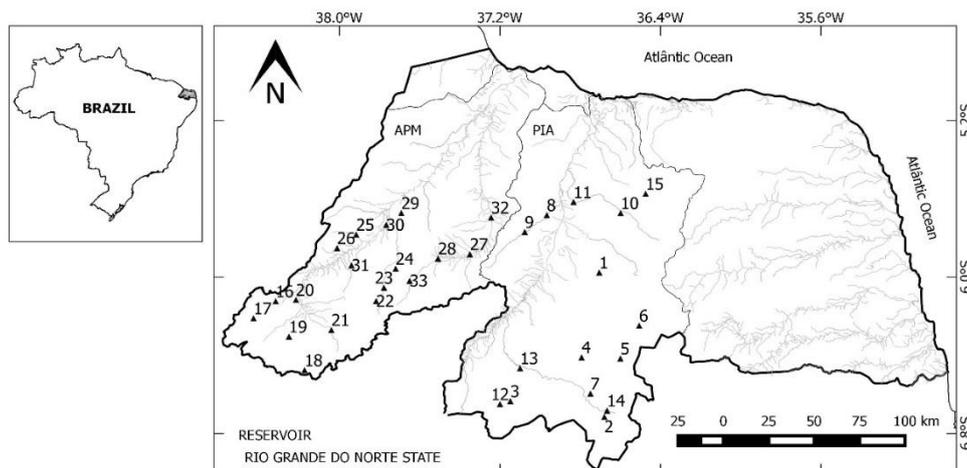


Figura 2 - Localização das 33 sub-bacias analisadas. Reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu (PIA): 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APM): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão.

Na região de estudo predomina os tipos de solo luvisolo crômico, neossolo litólico e argissolo vermelho-amarelo (Figura 3), que possuem características bem distintas e importantes para entendimento da dinâmica do processo de eutrofização nas sub-bacias do semiárido.

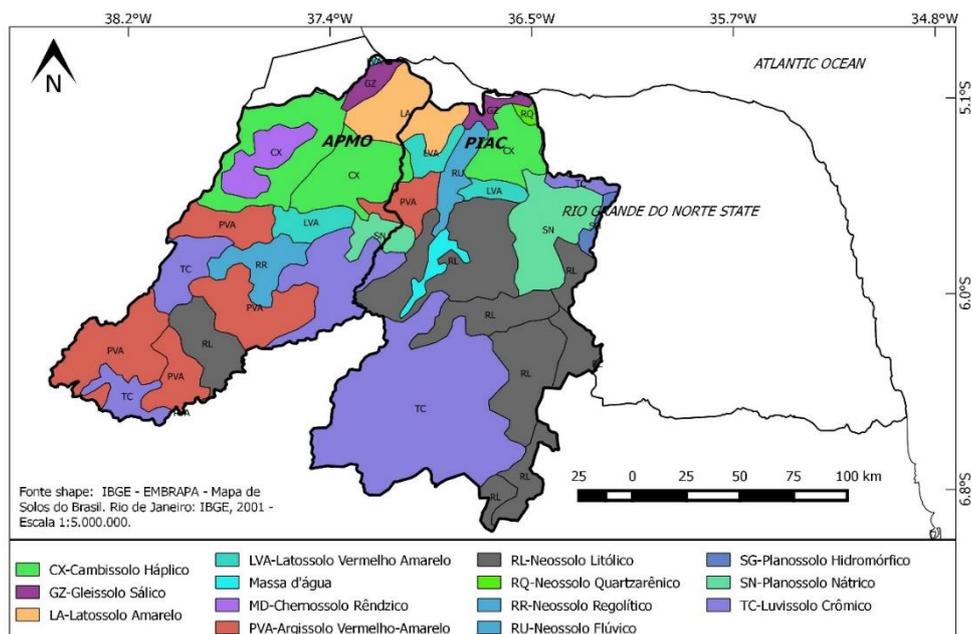


Figura 3 - Tipos de solo presentes nas bacias dos rios Piranhas-Açu (PIAC) e Apodi-Mossoró (APMO) no estado do Rio Grande do Norte

A formação vegetal da área é composta pela caatinga hiperxerófila, com abundância de cactáceas e plantas de porte baixo e espalhadas, além da caatinga subdesértica mais presente na bacia do rio Piranhas-Açu, com arbustos e árvores baixas, ralas e de xerofitismo mais acentuado. As principais espécies presentes nesse tipo de vegetação são: pereiro, faveleiro, facheiro, macambira, mandacaru, xique-xique e jurema-preta (IDEMA, 2012)

2.2. Dados de Qualidade da Água

Os dados de qualidade de água usados neste trabalho foram cedidos pelo IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente) referente a coleta de Abril de 2012, dos parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); nitrogênio total; fósforo total e clorofila-a. Estas amostragens estão dentro do Programa Estadual de Monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos do estado, “Programa Água Azul”, do Estado do Rio Grande do Norte.

Nestas amostragens a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foi realizada através do método DBO5, o Nitrogênio Total foi determinado pela Titulometria, enquanto o Fósforo Total pelo método ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) e a Clorofila-a por espectrofotometria.

Dentro do conjunto total de dados referente a coleta de Abril de 2012, foram selecionados os de 33 reservatórios (Figura 1), com capacidade de armazenamento superior a 10 milhões de metros cúbicos localizados em ambas as bacias, dado a importância destes reservatórios por serem utilizados para abastecimento humano.

2.3. Análise Morfométrica da Bacia de Drenagem

As delimitações das redes de drenagem dos reservatórios foram realizadas pelo complemento TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) aplicado no software de geoprocessamento QGIS, fazendo o uso de um MDE (Modelo digital de elevação) da área e do ponto de barramento do rio. Foram utilizadas imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), obtida no site da USGS (*United States Geological Survey*). A Tabela A1 do Anexo mostra a localização exata de cada barragem bem como a área das bacias analisadas.

O TauDEM, por meio de algoritmos específicos, corrige imperfeições no MDE, analisa a área de contribuição da bacia, em pontos determinados, estabelecendo, com base em parâmetros controlados, a geometria dos canais de fluxo. Os resultados são planos de informações vetoriais que são utilizados como base para a classificação do uso e ocupação do solo da área referida.

2.4. Análise da Cobertura Do Solo

A categorização da cobertura do solo da bacia de drenagem foi extraída a partir de imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat 5, que foram obtidas através do site da USGS. O período de análise foi escolhido com base na qualidade das imagens disponíveis, isto é, com menos interferência de nuvens para melhor precisão da caracterização. O pré-processamento das imagens, bem como a classificação supervisionada da bacia de drenagem, foram realizados através do complemento SCP (*Semi-Automatic Classification, Plugin*). Para os resultados obtidos foram utilizadas as imagens (*LT52150642009189CUB00 e LT52150642009276CUB00*) capturadas no dia 8 de julho de 2009.

Após correção geográfica e processamento das imagens, a classificação do uso e ocupação se inicia com a marcação no software Google Earth Pro das atividades existentes na bacia com base em interpretação visual. A transferência dos pontos selecionados para o QGIS facilita a classificação pixel a pixel das imagens. É contabilizada a porcentagem de cada categoria presente na bacia do reservatório, e as categorias foram classificadas em: vegetação densa, vegetação esparsa, solo exposto, água, agricultura e urbano.

2.5. Análises Estatísticas

Com os dois conjuntos principais de variáveis (limnológicas e uso do solo da bacia de drenagem) para cada sub-bacia, encontramos as intensidades das relações destes conjuntos através do coeficiente de correlação linear de Pearson, adotando o nível de significância $p < 0,01$. Posteriormente foram feitas as correlações entre os dois grupos mas desta vez separando por bacias, analisamos as bacias dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu separadamente.

Por fim, realizamos a análise de componentes principais (PCA) com as variáveis limnológicas, e posteriormente correlações de seus principais eixos (1 e 2) com os diferentes usos do solo em percentagem, ocorrência de chuvas e com as áreas das sub-bacias.

O objetivo das análises estatísticas é com a correlação de Pearson buscar entender e concluir o comportamento dos corpos hídricos com base na relação entre os dois grupos de dados. E também observar a diferença de comportamento das duas bacias hidrográficas separadamente através da PCA.

3. Resultados

A análise de uso e ocupação do solo (Figura 4) mostrou que a cobertura por vegetação densa é o que predomina nas bacias (Tabela 1). É possível identificar uma maior variação das classes de uso do solo na bacia Apodi-Mossoró, quando comparada com Piranhas-Açu, e a classe de solo exposto como um dos usos de maior variação (Figura 5).

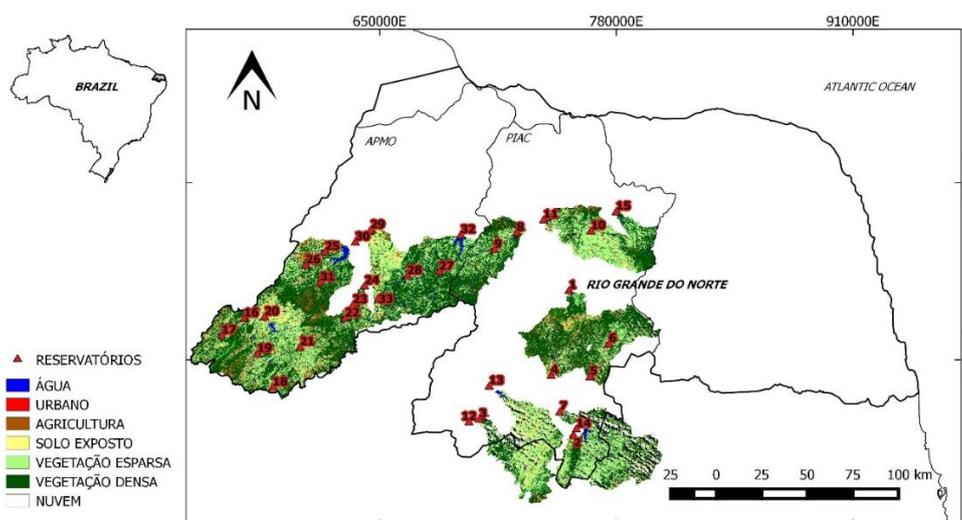


Figura 4 - Distribuição das bacias no estado do Rio Grande do Norte após a classificação semi-automática supervisionada. Reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu (PIAC): 1- Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão.

Tabela 1 - Resultados finais das análises de geoprocessamento e inserção dos dados limnológicos das trinta e três sub-bacias analisadas. Uso do solo dos tipos: VDS-Vegetação Densa; VES-Vegetação Esparsa; SEX-Solo Exposto; AGR-Agricultura; URB-Urbano. As variáveis limnológicas dos tipos DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA-Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Reservatórios: 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15-Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão.

Reservatório	VDS	VES	SEX	AGR	URB	DBO	NT	PT	CHLA	Bacia
1	67%	28%	1%	5%	0%	2.85	1.20	0.06	23.01	piac
2	44%	41%	13%	1%	1%	0.36	3.30	0.11	90.16	piac
3	58%	37%	4%	0%	0%	0.98	0.90	0.04	0.00	piac
4	63%	7%	15%	14%	1%	4.73	1.00	0.06	26.27	piac
5	63%	23%	4%	9%	1%	3.02	3.20	0.11	61.11	piac
6	64%	28%	4%	3%	1%	4.08	1.70	0.09	33.87	piac
7	62%	26%	12%	1%	0%	0.53	3.00	0.13	98.07	piac
8	65%	26%	5%	4%	0%	1.20	4.29	0.09	0.00	piac
9	60%	30%	8%	1%	1%	1.65	1.50	0.04	0.89	piac
10	56%	37%	6%	1%	0%	3.92	0.70	0.04	13.99	piac
11	31%	55%	8%	6%	0%	4.28	2.11	0.04	4.56	piac
12	51%	40%	9%	1%	0%	3.43	2.40	0.07	53.20	piac
13	20%	58%	17%	5%	0%	2.57	1.70	0.06	4.57	piac
14	40%	51%	6%	4%	0%	4.28	0.80	0.06	3.62	piac
15	63%	33%	3%	0%	0%	3.74	1.00	0.12	28.12	piac
16	53%	27%	5%	14%	0%	50.67	8.19	0.21	39.20	apmo
17	46%	5%	3%	44%	2%	0.72	4.04	0.10	52.00	apmo
18	70%	21%	8%	2%	0%	21.62	8.02	0.12	19.40	apmo
19	51%	29%	15%	4%	1%	2.32	9.84	0.15	42.90	apmo
20	45%	13%	12%	18%	12%	17.09	11.05	0.19	146.60	apmo
21	30%	22%	44%	3%	1%	33.01	15.70	0.33	121.90	apmo
22	67%	23%	1%	8%	1%	38.78	7.00	0.18	56.80	apmo
23	66%	24%	2%	7%	1%	4.81	4.14	0.12	36.80	apmo
24	56%	27%	15%	2%	0%	28.77	14.18	0.30	332.80	apmo
25	31%	36%	21%	12%	0%	0.89	15.05	0.15	273.50	apmo
26	34%	31%	16%	18%	2%	3.92	8.25	0.07	12.90	apmo
27	38%	45%	14%	3%	0%	1.69	7.39	0.06	11.90	apmo
28	51%	40%	9%	1%	0%	1.40	9.28	0.14	21.80	apmo
29	17%	45%	27%	7%	1%	4.06	16.19	0.14	11.50	apmo
30	38%	43%	9%	2%	8%	2.85	4.19	0.07	2.70	apmo
31	66%	14%	13%	6%	1%	3.92	5.96	0.10	5.20	apmo
32	70%	27%	2%	1%	0%	1.83	4.51	0.02	1.00	apmo
33	46%	19%	31%	2%	2%	1.96	18.08	0.15	146.10	apmo

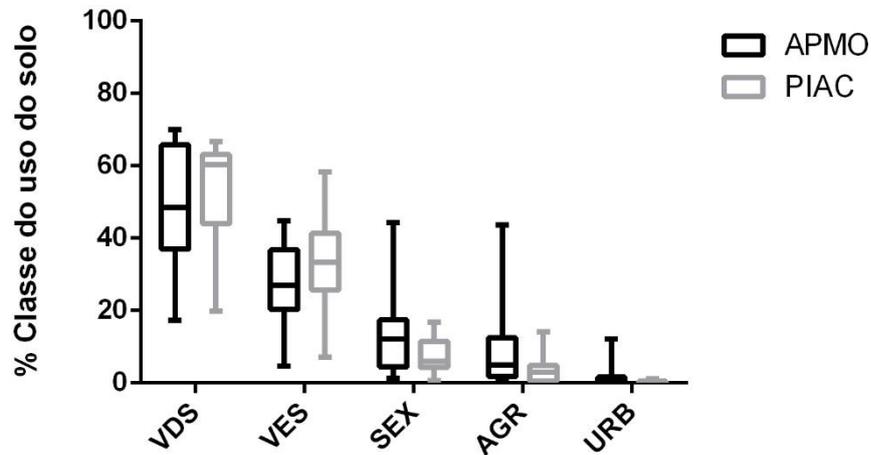


Figura 5- . Variação das classes de uso do solo das bacias. VDC=Vegetação densa; VES=Vegetação esparsa; SEX=Solo exposto; AGR=Agricultura; URB=Urbano; APMO=Apodi-Mossoró; PIAC=Piranhas-Açu

A Média anual de chuvas foi maior na bacia do rio Apodi-Mossoró (805mm anuais) quando comparada com a bacia do rio Piranhas-Açu (647mm anuais) (Figura 6).

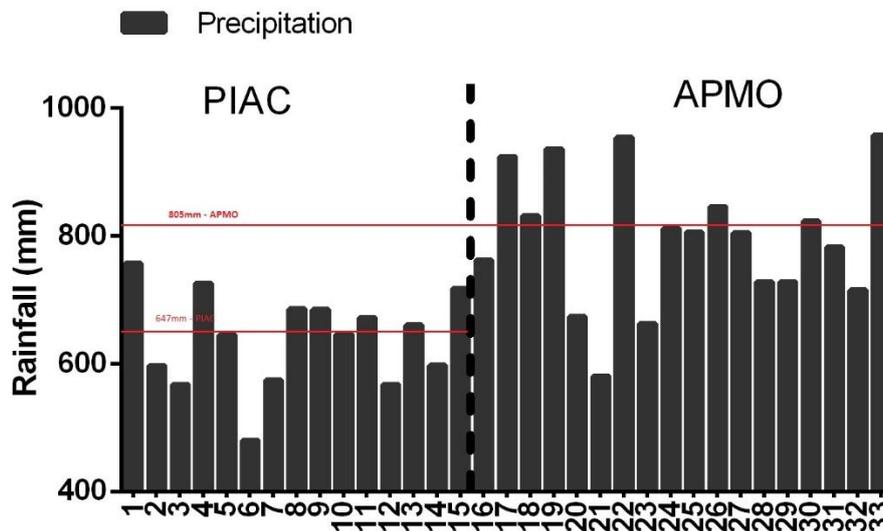


Figura 6- Média anual de chuvas das trinta e três sub-bacias, sendo marcada a média geral das bacias PIAC e APMO. Reservatórios: 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros;

21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Rodeador; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão.

Foram encontradas correlações significativas entre o solo exposto (SEX) e os parâmetros limnológicos nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) (Tabela 2; Figura 7). Quando as correlações são analisadas dentro das bacias vemos que elas são significativas apenas para a Bacia Apodi-Mossoró (Tabela 3, Figura 8) mas não para a Bacia Piranhas-Açú (Tabela 4).

Tabela 2- Valores dos coeficientes de correlações de Pearson entre os dados limnológicos dos 33 reservatórios e a porcentagem de cobertura do uso da terra das bacias dos reservatórios. ($p < 0,01$) foram marcadas em negrito. DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA-Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

USO	DBO	NT	PT	CHLA
Veg Densa	0.163	-0.396	-0.122	-0.122
Veg. Esparsa	-0.243	-0.177	-0.314	-0.222
Solo exposto	0.114	0.728	0.520	0.394
Agricultura	0.083	0.081	0.060	0.079
Urbano	0.072	0.170	0.146	0.124

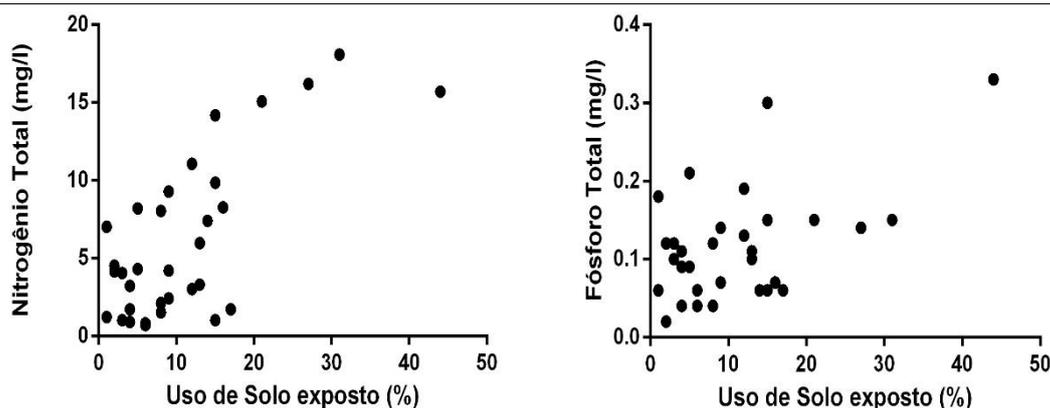


Figura 7 - Relação entre a porcentagem de solo exposto nas bacias de drenagem com nitrogênio total e com fósforo total, respectivamente, para 33 reservatórios do estado do Rio Grande do Norte.

Tabela 3 - Tabela de correlações entre os dados limnológicos dos reservatórios com os de uso da terra sub-bacias analisadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, as correlações significativas ($p < 0,01$) foram marcadas em negrito. As variáveis limnológicas dos tipos: DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA- Clarofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

USO	DBO	NT	PT	CHLA
Veg Densa	0.218	-0.545	-0.138	-0.146
Veg esparsa	-0.214	0.135	-0.205	-0.140
Solo Exposto	-0.012	0.829	0.490	0.338
Agricultura	-0.050	-0.239	-0.102	0.000
Urbano	-0.056	-0.102	-0.016	0.031

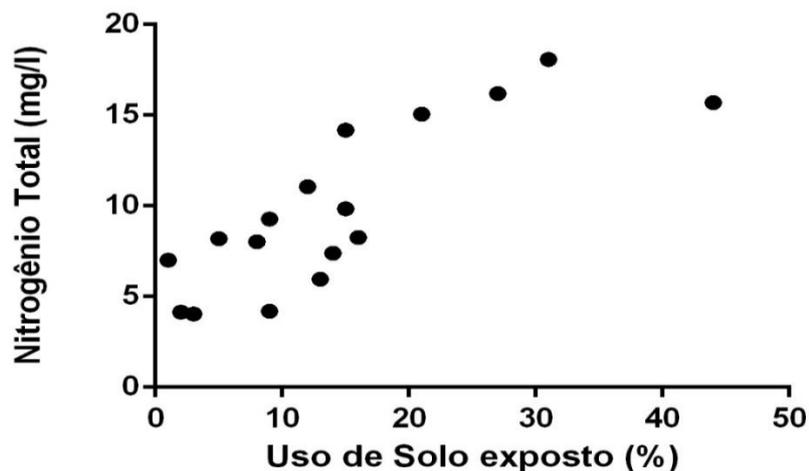


Figura 8- Relação entre a porcentagem de solo exposto nas bacias de drenagem com nitrogênio total para os reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró estado do Rio Grande do Norte.

Tabela 4- Valores das Correlações de Pearson entre os dados limnológicos dos reservatórios com os de uso da terra das bacias de drenagens analisadas na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu. As variáveis limnológicas dos tipos: DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L^{-1}); NT-Nitrogênio Total (mg.L^{-1}); PT-Fósforo Total (mg.L^{-1}); CHLA- Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

USO	DBO	NT	PT	CHLA
Veg Densa	-0.110	0.057	0.303	0.182
Veg Esparsa	0.023	-0.111	-0.281	-0.255
Solo Exposto	-0.130	0.124	-0.010	0.246
Agricultura	0.455	0.018	-0.137	-0.097
Urbano	0.153	0.076	0.127	0.220

A análise de componentes principais (PCA) permitiu constatar a diferença (Figura 9) entre as bacias, com os reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu apresentando pouca variação entre eles, e os reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró com maior variação influenciada tanto pelos eixos 1 (que explica 68% da variação dos dados) e recebe influência por fósforo e nitrogênio total, quanto pelo eixo 2 (20%) com influência da Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO) seguida da clorofila (CHLA).

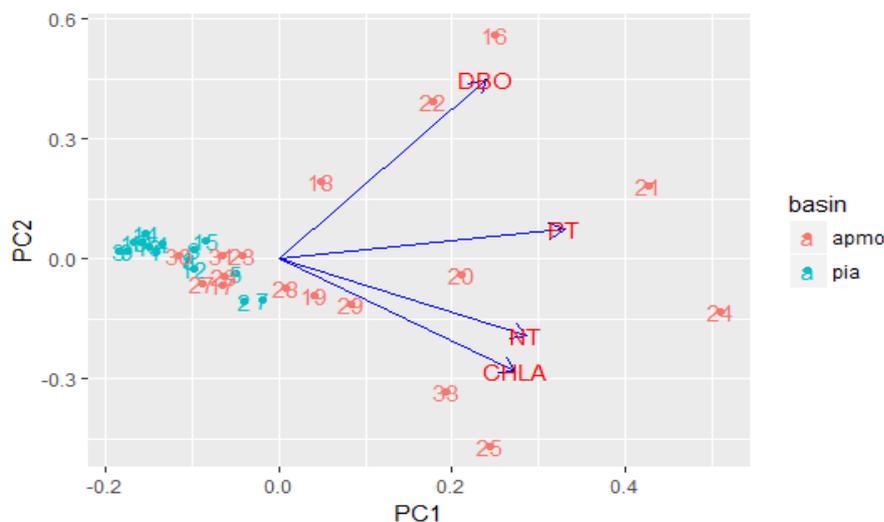


Figura 9- Análise de componentes principais entre os dados limnológicos. Reservatórios da bacia do rio Piranhas-Açu (PIA): 1-Rio da Pedra; 2-Caldeirão de Parelhas; 3-Carnaúba; 4-Cruzeta; 5-Gargalheiras; 6-Dourado; 7-Zangalheiras; 8-Mendubim; 9-Beldroega; 10-Novo Angicos; 11-Pataxós; 12-Santo Antônio; 13-Itans; 14-Boqueirão Parelhas; 15- Boqueirão Angicos. Reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (APMO): 16-Encanto; 17-Bonito; 18-Jesus, Maria, José; 19-Flexas; 20-Pau dos Ferros; 21-Pilões; 22-Lucrécia; 23-Lucrécia; 24-Brejo; 25-Malhada Vermelha; 26-Passagem; 27-Morcego; 28-Santo Antônio; 29-Apanha Peixe; 30-Santa Cruz; 31-Riacho da Cruz; 32-Umari; 33-Tourão.

A análise de correlação de Pearson entre as classes de uso do solo com os escores obtidos na PCA apresentou correlação significativa entre eixo 1 da PCA e “Solo Exposto” (Tabela 5), evidenciando os resultados mostrados na Figura 3.

Tabela 5 - Valores de correlação de Pearson entre os tipos de uso do solo com os resultados da PCA dos dados limnológicos para todos os reservatórios. as correlações significativas ($p < 0,01$) foram marcadas em negrito. PCA1=escores do eixo 1 da ACP; PCA2=escores do eixo 2 da ACP; VDS-Vegetação Densa; VES-Vegetação Esparsa; SEX-Solo Exposto; AGR-Agricultura; URB-Urbano.

	VDS	VES	SEX	AGR	URB
PCA1	-0.149	-0.307	0.537	0.077	0.150
PCA2	0.282	-0.074	-0.326	0.007	-0.050

4. Discussão

Os resultados do presente estudo mostram que existe uma relação positiva entre a percentagem de área solo exposto nas sub-bacias e qualidade de água dos respectivos reservatórios. Porém esta relação é diferente entre as grandes bacias sendo mais pronunciada na bacia Apodi-Mossoró. O produto das análises desenvolvidas neste estudo sugere que o aumento da área de solo exposto presente na bacia de drenagem, favorece o processo de eutrofização pelo aumento de áreas impermeáveis e conseqüentemente maior intensidade de escoamento superficial ao longo das sub-bacias, favorecendo a lavagem em áreas de atividades antrópicas, principalmente agricultura e pecuária, elevando as concentrações de nitrogênio total e fósforo total nos reservatórios.

As duas grandes bacias são diferenciadas na classificação do solo, fator importante no entendimento da dinâmica de drenagem. A bacia do rio Piranhas-Açu predomina o solo classificado como neossolo litólico e a bacia Apodi-Mossoró predomina o argissolo vermelho-amarelo. Segundo a nova classificação da EMBRAPA (2013), o neossolo litólico é caracterizado por ser um solo jovem, pouco evoluído geneticamente, baixa espessura, e alta atividade arenosa. Já o argissolo vermelho-amarelo tem por característica ser mais evoluído, alta espessura do solo, presença de horizonte b-textural, perceptível distinção entre os horizontes e maior atividade argilosa.

É possível que a bacia do rio Apodi-Mossoró, pela presença de argissolo vermelho-amarelo, tenha maior influência negativa na qualidade da água do reservatório, pois ele tem alta capacidade drenante, esta capacidade é prejudicada pela alteração das classes do uso solo, especialmente pelo aumento de áreas de solo exposto, sendo os reflexos na qualidade da água mais pronunciados nestes ambientes do que nas áreas cobertas por Neossolos Litólico, tendo em vista que estes já apresentam alto potencial de escoamento superficial natural. Além do tipo de solo, outros dois fatores podem explicar a forte relação nesta bacia: maior média anual de ocorrência de chuvas nestas sub-bacias inseridas na bacia do rio Apodi-Mossoró e maior predominância de atividades antrópicas nesta bacia quando comparada com a bacia do rio Piranhas-Açu.

O tipo de solo original, o uso da terra na bacia do reservatório e o regime de chuvas estão entre as características principais que determinam a vulnerabilidade de um reservatório à eutrofização (Figueiredo et al, 2007). Em nosso caso a baixa pluviosidade nesta região já é um fator de alta vulnerabilidade, que é corroborada com classes de solo com alto potencial de escoamento superficial, como nossos resultados mostraram, o uso da terra com áreas de solo exposto tende a aumentar ainda mais sua vulnerabilidade à eutrofização.

Além das áreas de solo exposto, como ficou destacado em nossos resultados, as atividades de agricultura e pecuária extensiva também podem influenciar a qualidade da água dos reservatórios (Carpenter et al, 1998), mas a identificação destas dependerá do período (chuvoso ou não) em que a captura da cobertura vegetal foi realizada (Batista e Santos, 2011). Em período seco a cobertura de solo exposto é normalmente similar as

áreas de agricultura e pecuária extensivas de rebanhos bovinos, caprino, equino e ovino (Lima e Moura, 2014). Alguns outros estudos realizados no semiárido brasileiro igualmente apontam estas duas atividades antrópicas como atividades implícitas nas áreas identificadas como solo exposto pela dificuldade no reconhecimento. Como foi o caso do estudo do uso e ocupação da bacia de drenagem do reservatório Passagem das Traíras no município de São José do Seridó, estado do Rio Grande do Norte, o qual mostrou que vegetação esparsa e solo exposto tiveram o maior percentual de uso do solo (Medeiros 2016), associando a estas áreas a atividade de pecuária extensiva devido suas características, apontando esta atividade antrópica como a principal responsável pela alteração da paisagem natural e como principal fator de degradação da qualidade da água do reservatório em questão.

A análise de uso e ocupação de toda a bacia de drenagem dos reservatórios do semiárido, como realizada em nosso estudo, não favorece a identificação da atividade agrícola devido esta atividade ser realizada em curtos períodos de tempo e, principalmente, as margens dos corpos hídricos. No momento da análise das imagens foi comum identificar atividade agrícola as margens dos cursos dos rios, muitas vezes ocupando as Áreas de Proteção Permanente (APP). Uma análise da zona ripária do reservatório Dourado na cidade de Currais Novos no Estado do Rio Grande do Norte constatou que este tipo de ocupação de área agrícola é a maior influenciadora da degradação da qualidade da água do reservatório (Oliveira, 2012). Semelhante a este, Ferreira (2015) analisando a zona ripária do reservatório Cruzeta, também no estado do Rio Grande do Norte, concluiu que as atividades de agricultura e pecuária identificadas são as principais fontes difusas de poluição do reservatório.

A presença de atividades agrícolas nas margens dos rios e ausência de zona ripária intensifica o processo de erosão e contribuição das atividades em toda a bacia, tendo em vista que a zona ripária é uma zona de proteção do curso d'água. A manutenção da vegetação ripária para redução da entrada de nutrientes e sedimentos no ambiente aquático e, portanto, prevenção contra redução da qualidade da água (Sweeney & Newbold, 2014; Karr & Schlosser, 1978) é condição vital para a qualidade de água de um corpo d'água.

Além da não uniformidade da atividade agrícola ao longo de toda bacia de drenagem, as imagens utilizadas em nosso estudo foram capturadas em julho de 2009 e pode ter dificultado ainda mais a identificação desta atividade, visto que o período chuvoso da região compreende os meses de fevereiro a abril, e são utilizadas nesta área culturas resistentes e de ciclo rápido, portanto, em julho as áreas de agricultura, bem como a de pecuária, ao longo da bacia podem ter sido classificadas como áreas de solo exposto.

Alguns estudos trazem a importância da atividade urbana na degradação dos reservatórios, Tu (2013) conclui que a urbanização é a classe de uso do solo que tem maior influência negativa sobre a qualidade da água do reservatório inserido em uma bacia predominantemente urbana. Wilson (2015) também mostra em bacias predominantemente com atividades agrícolas que o aumento de zonas urbanas igualmente se associa com a degradação da qualidade da água. Em nosso caso, porém, devido

presença desprezível desta atividade nas bacias estudadas, a atividade urbana não obteve relações significativas com a qualidade da água.

Não foram encontradas relações entre os parâmetros limnológicos com as áreas das sub-bacias nem com a ocorrência de chuvas nestas áreas.

5. Conclusão

Até onde nosso conhecimento e levantamento bibliográfico constataram, todos os trabalhos sobre a relação entre uso e ocupação do solo da bacia e qualidade de água de reservatórios foram feitos usando poucos reservatórios como os trabalhos citados anteriormente (Oliveira, 2012; Ferreira, 2015; Wilson, 2015; Tu 2013). Neste sentido nosso trabalho é pioneiro, pois usa a mesma técnica de avaliação do solo de 33 bacias e um mesmo conjunto de dados limnológicos realizado numa mesma época. Como todos os reservatórios estão sujeitos ao mesmo clima (semiárido) isto nos dá a possibilidade de concluir com bastante segurança que o aumento de áreas de solo exposto nesta região é a classe que se mostra mais prejudicial aos corpos d'água, não pela poluição causada por essa classe isolada, mas por favorecer a lavagem das atividades antrópicas realizadas ao longo das sub-bacias. Lembrando que as áreas identificadas como solo exposto podem estar associadas as atividades de agricultura e pecuária extensiva o que intensifica a degradação da qualidade de água. Além disso é necessário enfatizar que esta relação é mais clara em uma das bacias aqui estudada, isto é, o tipo de solo original também influencia na relação uso do solo e qualidade de água.

Contudo, é recomendável que as próximas investigações sejam associadas a períodos chuvosos e que também sejam avaliadas outras variáveis como potencial drenante do solo, declividade do relevo, além do vento (direção e intensidade) que talvez possa carrear o solo e seus nutrientes para os corpos d'água e prejudicar a qualidade da água deles.

6. Referências

- Alvares, A.C., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2014, Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/12/comeca-a-construcao-do-plano-de-seguranca-hidrica>. Acesso em: 19/02/2018
- Andrade, M.P., Ribeiro, C.B.M, Lima, R. N. S., 2015, Avaliação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul na primeira década do século XXI a partir de imagens MODIS – Land Cover. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB*, 1961–1968.
- Arbuckle, K.E., Downing, J. A., 2001, The influence of watershed land use on lake N : P in a predominantly agricultural landscape. *Limnol. Oceanogr*, 46(4), 970–975.
- Batista, J. L. O., & Santos, R. L., 2011, Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro : o caso de Teofilândia. *Revista de Geografia Norte Grande*, 49, 139–155.
- Braga, G. G, Becker, V, Oliveira, J.N.P, Junior, J. R. ., Bezerra, A.F.M, Torres, L. ., & Galvão, A.M.F, Mattos, A., 2015, Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 27(1), 15–23.
- Brasil, J, Attayde, J.L, Vasconcelos, F.R, Dantas, D.D.F, Huszar, V. L., 2015, Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. *Hydrobiologia*, 20.
- Carpenter, S.R, Caraco, N. F., Correll, D. L. , Howarth, R. W., Sharpley, A. N., Smith, V. W., 1998, Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(December 1997), 559–568.
- Choi, J. A. E. S., 1998, Lake ecosystem responses to rapid climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 49, 281–290.
- Coelho, V.H.R, Montenegro, S.M.G.L, Almeida, E.R.V.L, Neto, A.F, Moura, G. S.,

2014, Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 18(1), 64–72.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

Esteves, F.A., 1998 Fundamentos de limnologia. Interciência, 575p.

Ferreira, R.S., 2015. Qualidade da água de um reservatório e do solo da zona ripária sob diferentes usos na região semiárida do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Natal, 54p.(Dissertação de Mestrado)

Figueirêdo, M.C.B.T., Texeira, A.S., Araújo, L.F.P., Rosa, M. ., & Paulino, W.D., Mota, S., Araújo, J. C., 2007, Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 12(4), 399–409.

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio ambiente - Rio Grande do Norte – IDEMA (2012). Perfil do seu município. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/>. Acesso em 19 de fevereiro de 2018.

Islam, K. R., & Weil, R. R., 2000, Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 79(1), 9–16.

Karr, J.R., Schlosser, I. J., 1978, Water Resources and the Land-Water Interface. *Science*, 201, 229–234.

Medeiros, Caroline Elizabeth Braz Frago de Souza. (2016). Os impactos da qualidade da água e do solo de um manancial tropical do semiárido devido ao uso e ocupação e evento de seca extrema. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Natal, 94p.(Dissertação de Mestrado)

Mouri, G., 2015, Assessment of land cover relocation incorporating the effects of human activity in typical urban and rural catchments for the design of management policies. *Environmental Science and Policy*, 50, 74–87.

Oliveira, José Neuciano Pinheiro de. (2012). A influência da poluição difusa e do regime hidrológico peculiar do semiárido na qualidade da água de um reservatório tropical. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária - Universidade Federal do Rio

Grande do Norte; Natal, 99p. (Dissertação de Mestrado)

Paerl, H. W., & Huisman, J., 2008, Climate: Blooms Like It Hot. *Science*, 320, 57–58.

Panosso, R., Costa, I. A. S., Souza, N.R., Attayde, J.I., Cunha, S. R. S. C., & Gomes, F. C. F., 2007, Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Oecol. Bras*, 11(3), 433–449.

Sweeney, B.W., Newbold, J. D., 2014, Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality , habitat , and organisms : a literature review 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 561–584.

Taranu, Z.E., Gregory-eaves, I., 2008, Quantifying Relationships Among Phosphorus , Agriculture , and Lake Depth at an Inter-Regional Scale. *Ecosystems*, 11, 715–725.

Tu, J., 2013, Spatial variations in the relationships between land use and water quality across an urbanization gradient in the watersheds of northern Georgia, USA. *Environmental Management*, 51(1), 1–17.

Von Sperling, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol. 1. Editora UFMG, 1996

Wilson, C. O., 2015, Land use / land cover water quality nexus : quantifying anthropogenic influences on surface water quality. *Environ Monit Assess*, 187, 23.

7. Anexo

Tabela A1. Dados de dimensão e localização dos reservatórios.

Código	Nome	Bacia	Área sub-bacia (km²)	Latitude	Longitude
1	Açude Rio da Pedra	pia	133	754009	9338818
2	Açude Caldeirão Parelhas	pia	187	756481	9257134
3	Açude Carnaúba	pia	316	704705	9266204
4	Açude Cruzeta	pia	972	744090	9290837
5	Açude Gargalheiras	pia	2400	765475	9290111
6	Açude Dourado	pia	443	775935	9308697
7	Açude Zangalheiras	pia	155	748878	9270292
8	Açude Mendubim	pia	980	725198	9371406
9	Açude Beldroega	pia	548	712991	9361950
10	Açude Novo Angicos	pia	363	765967	9372420
11	Açude Pataxós	pia	1024	740003	9378723
12	Açude Santo Antônio	pia	180	698989	9264577
13	Açude Itans	pia	1152	710124	9284813
14	Açude Boqueirão Parelhas	pia	1448	757959	9260643
15	Boqueirão de Angicos	pia	317	779814	9383285
16	Açude Encanto	apm	498	575482	9323064
17	Açude Bonito II	apm	74	563245	9313425
18	Açude Jesus, Maria, José	apm	68	591336	9284041
19	Açude Flechas	apm	303	582782	9303039
20	Açude de Pau dos Ferros	apm	2899	586675	9323833
21	Açude de Pilões	apm	146	606163	9306787
22	Açude de Lucrecia	apm	112	630861	9323055
23	Açude Rodeador	apm	324	635204	9330601
24	Açude do Brejo	apm	99	641679	9341357
25	Açude Malhada Vermelha	apm	105	619941	9360635
26	Açude Passagem	apm	14	609404	9353057
27	Açude Morcego	apm	62	682667	9349426
28	Açude Santo Antônio	apm	173	665095	9347026
29	Açude Apanha Peixe	apm	580	644874	9372839
30	Barragem de Santa Cruz	apm	4369	636568	9366124
31	Açude Riacho da Cruz	apm	121	617328	9343315
32	Açude Barragem de Umari	apm	1454	694452	9370120
33	Açude Tourão - Patu	apm	103	649378	9334491