CÓDIGO 183 - CARGA POLUIDORA NA MICROBACIA URBANA LAGOAS DO NORTE, TERESINA, PIAUÍ

Ramon Marques Campelo[(1)]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).
Carlos Henrique da Costa Braúna[(2)]
Engenheiro Civil pela UFPI. Mestre e Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor efetivo da UFPI e chefe do Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental.
Carlos Ernando da Silva[(3)]
Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Pós-Doutor em Engenharia Sanitária pela UFMG. Professor efetivo da UFPI.

Endereço[(1)]**:** Avenida Pinel, 357 - Cabral - Teresina - PI - CEP: 64.000-650 - Brasil - Tel: (86) 99910-9478 - e-mail: ramonmcampelo@hotmail.com.

RESUMO

O presente trabalho calcula e analisa a carga poluidora de Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO) e de coliformes termotolerantes em uma microbacia hidrográfica urbana localizada em Teresina – PI. Inicialmente, os divisores topográficos da microbacia foram delimitados, sendo possível a caracterização da região em estudo quanto à aspectos demográficos. Em seguida, foram definidas as sub-bacias hidrográficas como base para definição dos pontos de coleta de amostra de água, para análises qualitativas em laboratório, e de medição de vazão. Os resultados possibilitaram a comparação das concentrações de poluentes com os limites legais estabelecidos e o cálculo da carga poluidora nos pontos analisados. Finalmente, foi constatada a importância do monitoramento da qualidade das águas de rios e lagos urbanos por meio do estudo da carga poluidora, além de observada situação de poluição ao longo da microbacia estudada.

PALAVRAS-CHAVE: microbacia hidrográfica; carga poluidora; poluição.

INTRODUÇÃO

Ao passo que o aumento populacional se acentua, a demanda por investimentos em infraestrutura de saneamento básico se eleva. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quase 85% dos brasileiros vivem em áreas urbanas. No Nordeste, esse percentual é de 73%. Já na cidade de Teresina - PI, mais de 94% dos teresinenses residem na zona urbana (IBGE, 2010). Enquanto isso, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2015, foram investidos cerca de R$ 12 bilhões em saneamento (SNIS, 2017). O valor faz parte de uma curva ascendente nos últimos anos, mas que representa menos de 0,21% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional no mesmo ano, evidenciando baixos investimentos em saneamento no Brasil (IBGE, 2017).

A alta taxa de crescimento populacional, a rápida urbanização e o baixo investimento em infraestrutura de saneamento resultam na carência de serviços de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de águas residuárias, drenagem pluvial e coleta e manejo dos resíduos sólidos. O déficit em serviços de tratamentos de efluentes, em especial, gera fortes impactos negativos sobre a qualidade das águas, principalmente nos centros urbanos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Segundo o último "Ranking do Saneamento" do Instituto Trata Brasil, dentre os 100 municípios brasileiros de maior população, Teresina é o oitavo com pior Índice de Atendimento Total de Esgoto, com apenas 19,96% do total de domicílios atendidos por rede de esgoto (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

A grande parcela da população que não tem acesso à rede coletora de esgotos domésticos necessita de outras maneiras para dar destino às águas residuárias, destacando-se o uso do sistema fossa/sumidouro. No pior dos cenários, a destinação final dos efluentes domésticos, muitas vezes, se dá por meio de ligações clandestinas das instalações prediais de esgoto sanitário à rede de drenagem pluvial da cidade, mais comumente nas sarjetas. Os sistemas de drenagem, que deveriam ser transportadores apenas das águas pluviais, carregam consigo, entretanto, não apenas os

efluentes destinados de maneira incorreta, mas também do escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, áreas em construção, depósitos de resíduos e outros (NEVES E TUCCI, 2012). Para Nuvolari (2011), o esgoto sanitário, quando lançado sem tratamento prévio nos corpos hídricos, dependendo da relação entre as vazões do esgoto lançado e do corpo receptor, pode causar sérios prejuízos à qualidade da água.

A região Norte de Teresina - PI é banhada pelas águas dos rios Poti e Parnaíba. Por ser uma região de confluência de dois grandes corpos hídricos e baixas altitudes, formaram-se lagoas naturais e artificiais (a partir de escavações de materiais para construção civil), que funcionam como amortecedores das águas pluviais. Em épocas de baixa pluviosidade anual, as lagoas têm seus níveis reduzidos, o que possibilita a ocupação irregular das margens pela população local. Em ocasiões de chuvas intensas, as lagoas transbordam, provocando inundações e sérios danos aos moradores (TERESINA, 2014). Entretanto, o principal problema observado nas lagoas é a intensa poluição decorrente da ocupação irregular de seus entornos, da falta de infraestrutura de coleta e transporte de esgoto sanitário, e da falta de educação ambiental quanto ao armazenamento e destinação dos resíduos sólidos.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva a realização de um estudo nas lagoas localizadas na região Norte de Teresina - PI. O objetivo principal da pesquisa é o cálculo de cargas poluidoras das lagoas, obtida por meio de valores de concentração da Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO), da concentração de bactérias do tipo coliformes e de valores de vazão nos pontos analisados.

OBJETIVOS

Para efetivação da pesquisa, foram propostos os seguintes objetivos: delimitar e caracterizar a bacia hidrográfica em estudo; definir os pontos de coleta de amostras de água das lagoas; quantificar as concentrações de matéria orgânica e de bactérias termotolerantes; medir as vazões escoadas; calcular as cargas poluidores de DBO e de coliformes; e, finalmente, relacionar os valores calculados com os índices pluviométricos da região.

METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa foi dividida em seis etapas principais: (1) Caracterização da área de estudo; (2) Definição dos pontos de coleta das amostras de água; (3) Coleta das amostras de água e análise laboratorial das amostras coletadas; (4) Cálculo da vazão; (5) Cálculo da Carga Poluidora; e (6) Estudo Pluviométrico.

A microbacia Lagoas do Norte (LDN), assim definida por Teresina (2014), está localizada na porção norte da capital piauiense, na confluência dos rios Poti e Parnaíba, onde se formam lagoas naturais. A microbacia pertence à bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, que é a segunda maior em extensão da região Nordeste brasileira. Assim como destacada no mapa (cor vermelha) da Figura 1, a LDN trata-se de uma bacia suscetível à inundação. A caracterização da microbacia LDN se deu através de pesquisas bibliográficas em livros, artigos, documentos oficiais do poder público, mapas, fotos e imagens de satélites disponibilizadas por *EngeSoft* (2013) e no software Google Earth, além de visitas ao local em estudo. Definiu-se os limites da microbacia LDN com base nas curvas de nível e nas cotas altimétricas de ruas e avenidas, as quais definem o sentido de escoamento dos sistemas de microdrenagem urbana (sarjetas), alterando a dinâmica natural do escoamento superficial e traçando novos caminhos e divisores topográficos de bacias urbanas. A base de dados foi disponibilizada em arquivo digital por *EngeSoft* (2013) e manipulada por meio do software AutoCAD. Realizou-se ainda uma análise da urbanização da microbacia em estudo por meio de um levantamento dos bairros existentes na região, conforme base de dados *EngeSoft* (2013) e o traçado dos limites da bacia obtido, possibilitando uma análise demográfica da microbacia ao utilizar-se os dados do último censo (IBGE, 2010) e das áreas dos bairros inseridos na microbacia.

Para a melhor compreensão dos níveis de concentração de poluentes encontrados nas lagoas, os pontos de coleta das amostras de água ensaiadas em laboratório foram definidos de acordo com o sentido do escoamento existente entre as mesmas, conforme esquema apresentado na Figura 2. Realizou-se também um estudo para se obter o traçado e o sentido de escoamento das sub-bacias da microbacia LDN por meio das curvas de nível e das cotas altimétricas disponibilizadas por EngeSoft (2013) e dos estudos realizados pro JB Engenharia (1999) apud Tucci (2014) e Tucci (2014). Além disso, a escolha dos pontos foi baseada na viabilidade do cálculo da vazão, a qual foi devidamente estabelecida por meio do estudo das ligações existentes entre as lagoas durante visitas técnicas.

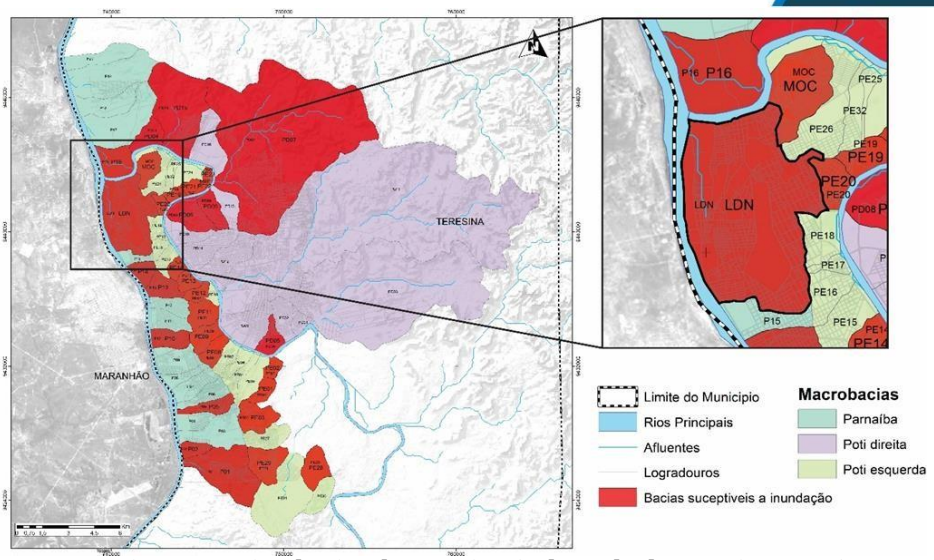


Figura 1: Microbacias de Teresina (Adaptado de Teresina, 2014)

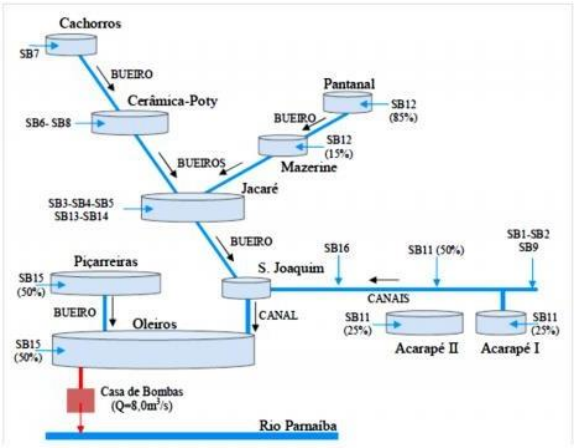


Figura 2: Esquema das ligações existentes entre as lagoas (Teresina, 2014)

Após a definição dos pontos de coleta, iniciou-se as atividades de coleta das amostras de água. De início, seguiu-se uma periodicidade mensal, de dezembro de 2017 a março de 2018. Ao passo que o período chuvoso começou a se acentuar, decidiu-se realizar as coletas com uma frequência quinzenal, de março a maio de 2018. As coletas foram realizadas de acordo com as diretrizes estabelecidas por BRASIL (2013). Logo após a coleta das amostras de água, foi prosseguido com os ensaios laboratoriais no laboratório de Saneamento da UFPI. Os parâmetros analisados estão listados na Tabela 1, a seguir, juntamente com sua metodologia analítica de ensaio, tendo como base o livro *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 1: Parâmetros e respectivos métodos de análise.

PARÂMETROS	MÉTODO	UNIDADE
Oxigênio dissolvido (campo)	Oxímetro	mg/L
Temperatura	2550	ºC
Turbidez	2130 B	NTU
Potencial Hidrogeniônico (pH)	4500	----------
Condutividade Elétrica	2510	µS/cm
Oxigênio dissolvido (laboratório)	4500-O C	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	5220 B	mg/L
Coliformes totais	9223 B	NPM/100 mL
Coliformes fecais	9223 B	NPM/100 mL
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	2540 B	mg/L

Conhecidas as características geométricas e material das ligações existentes entre as lagoas, foi possível a determinação das características hidráulicas das estruturas, o que possibilitou o uso das equações de escoamento livre da Hidráulica. Como as lagoas estão interligadas por meio de canais e bueiros, foi considerado o caso de um reservatório alimentando um conduto em escoamento livre e aplicou-se o conceito de escoamento crítico. Uma vez definida a seção de controle, a medição da altura da lâmina d'água nos canais e bueiros possibilitou a obtenção da profundidade crítica e consequentemente o cálculo da vazão, conforme equações desenvolvidas em PORTO (2006). A medição da lâmina d'água foi realizada com auxílio de uma régua metálica durante as atividades de coleta nos primeiros quatros pontos de coleta. No ponto P05, utilizou-se da régua de nível instalada nas proximidades da casa de bombas e das técnicas de instalação desta fornecidos por MPB Engenharia (2014).

As cargas poluidoras devido à concentração de matéria orgânica e de bactérias do tipo coliformes foram calculadas com base nos valores de vazão e concentrações dos poluentes encontrados, utilizando a equação 1:

Carga poluidora = Concentração de poluente x Vazão equação (1)

Para analisar os fenômenos de precipitação ocorridos no período de desenvolvimento deste estudo, observou-se a existência de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no bairro Mocambinho, zona Norte de Teresina. A estação é, portanto, próxima à área de drenagem da microbacia LDN, sendo os valores representativos para análise da dinâmica das águas na bacia. Ressalta-se que não houve ocorrência de falhas nos dados levantados de novembro de 2017 e maio de 2018.

RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 3 dispõe do traçado da microbacia LDN, obtido através do software *AutoCad*, o que resultou em 17.233,96 metros de perímetro e 11.407.177,95 metros quadrados de área, aproximadamente 1140 hectares. A Avenida Boa Esperança e a Rua Desembargador Flávio Furtado funcionam como diques de proteção contra enchentes dos rios Parnaíba e Poti, sendo limites topográficos da microbacia. O exutório da bacia se encontra na Casa de Bombas, de onde as águas escoadas na bacia destinam-se ao rio Parnaíba. Na Figura 3 também é ilustrada a delimitação e identificação das 10 lagoas existentes na microbacia LDN, assim como os dois canais principais de interligação entre as lagoas: os canais Padre Eduardo e do São Joaquim.

A microbacia LDN apresenta densa ocupação residencial (TERESINA, 2016) e a ocupação irregular das margens das lagoas existentes favorece diversos outros problemas, como: poluição das águas, erosão, proliferação de doenças transmissíveis pela água, distúrbio nos ecossistemas aquáticos, dentre outros. A Figura 4 apresenta o mais comum dos problemas evidenciados: a poluição dos corpos hídricos, onde (a) indica a poluição do corpo d'água causada pelo lançamento indevido de efluentes domésticos e pela má disposição de resíduos sólidos em canal a jusante da Lagoa do Jacaré, ligada à Lagoa do São Joaquim (b) por meio de quatro bueiros e (c) evidencia o lançamento irregular de efluentes líquidos por meio de galerias pluviais no final do canal Padre Eduardo, bairro São Joaquim, o qual é ligado à lagoa do São Joaquim através do canal de concreto mostrado em (d).

A população estimada que ocupa a microbacia LDN é estimada em 78532 pessoas (TERESINA, 2016), correspondendo a aproximadamente 68,86 habitantes por hectare, ou 6886 habitantes por quilômetro quadrado, o que corresponde a cerca de 9,64% da população da cidade de Teresina, que possui uma densidade habitacional de 584,94 habitantes por quilômetro quadrado. A densidade habitacional da bacia, portanto, alcança um valor onze vezes maior que a densidade do município, caracterizando-se, portanto, como uma área densamente ocupada. Neste cálculo não foram consideradas as lagoas existentes, que possuem grandes áreas superficiais e, se diminuídas das áreas dos bairros, acentuaria ainda mais o valor encontrado.

Através das curvas de nível e das declividades de ruas e avenidas e do estudo realizado por JB Engenharia (1999) apud TUCCI (2005), verificou-se que a bacia LDN possui quatro sub bacias principais. A primeira sub-bacia é formada pelas lagoas Cachorros, Cerâmica Poty e Jacaré. As lagoas do Pantanal e do Mazerine compõem a segunda sub-bacia principal. Já a terceira é formada pelas Lagoas do Cabrinha e do Lourival e pelo canal Padre Eduardo. Todos os três caminhos destinam suas águas para a Lagoa do São Joaquim, na quarta bacia, que está conectada à Lagoa do Oleiros, favorecendo o escoamento por toda a área de drenagem da microbacia LDN.

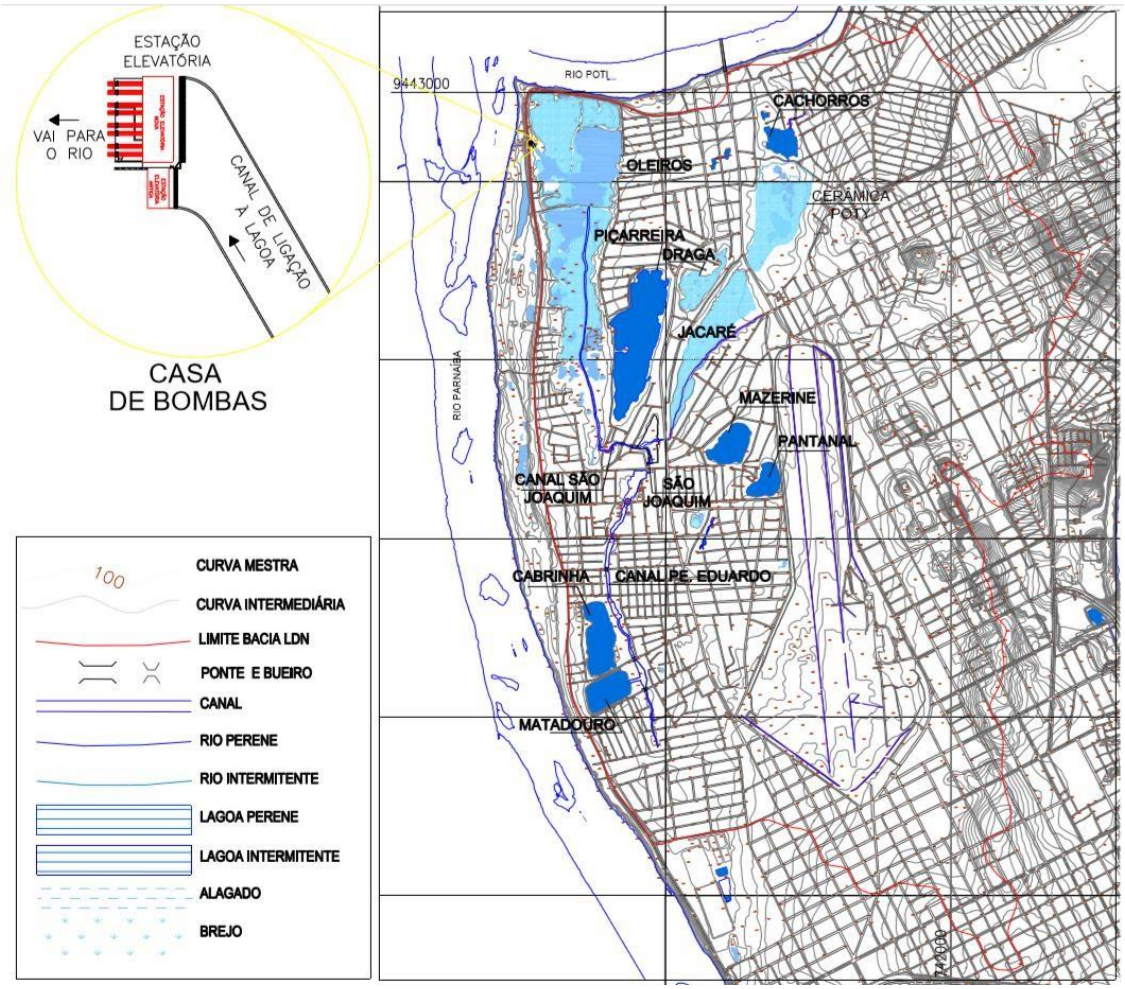


Figura 3: Traçado da microbacia LDN

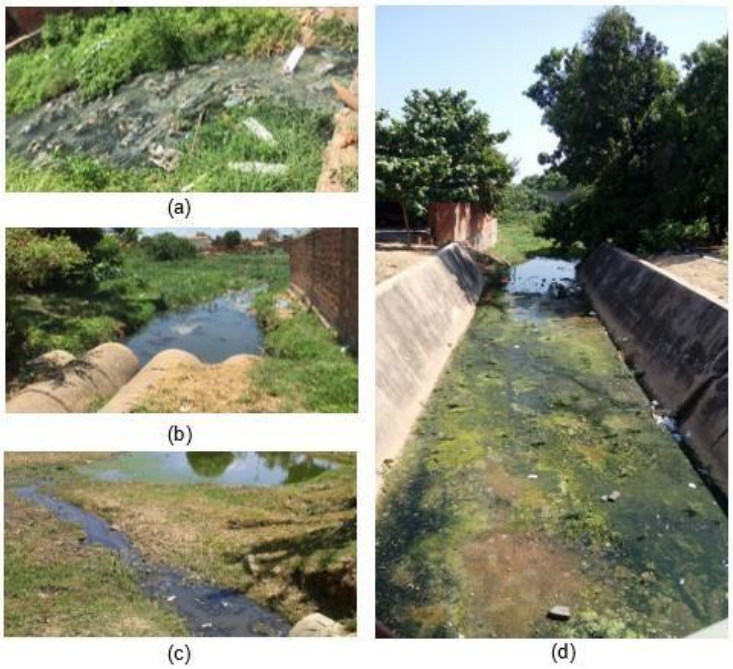


Figura 4: Problemas de poluição hídrica evidenciados na microbacia LDN

O ponto de coleta P-01 foi estabelecido a montante da ligação entre as Lagoas Cerâmica Poty e Jacaré, estando, portanto, no primeiro caminho d'água identificado. No segundo curso d'água está localizado o ponto P-02, a montante da ligação entre as Lagoas Mazerine e Jacaré. Já o terceiro ponto, P-03, está localizado a montante da ligação entre as Lagoas Jacaré e do São Joaquim. Este encontra-se a jusante dos primeiros dois pontos estabelecidos. O ponto P-04 está localizado a jusante do canal Padre Eduardo, estando, neste caso, no final do terceiro curso d´água identificado. Já o quinto e último ponto P-05 está localizado no exutório do microbacia LDN, no início do canal que liga a lagoa do Oleiros à Casa de Bombas. Na Figura 5 estão apontados os pontos de coleta.

O resumo dos resultados obtidos por meio das análises realizadas em laboratório está apresentado na Tabela 2, com ênfase nos valores médios, máximos, mínimos e no desvio padrão de cada ponto em relação aos parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados. Os números destacados correspondem aos valores mais significativos em relação a cada parâmetro analisado.



Figura 5: Esquema das ligações existentes entre as lagoas (Google, 2018)

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005, que classifica as lagoas existentes na bacia hidrográfica como classe II, e os resultados da estatística apresentada na Tabela 2 a seguir, observam-se que todos os pontos apresentaram pelo menos uma variável em discordância com os parâmetros estabelecidos pela resolução. Dentre eles, os mais prevalentes foram os coliformes fecais, que estiveram em desacordo em todos os pontos monitorados.

A temperatura apresentou variação de 25ºC a 35ºC nas amostras analisadas. Os valores de desvio padrão encontrados indicam pequena variação durante o período monitorado, estando estas variações diretamente relacionadas às condições de tempo observadas durante as coletas: ensolarado, parcialmente nublado e nublado.

Os valores de pH obtidos nas análises demonstraram, em geral, a alcalinidade dos corpos hídricos, estando, portanto, próximos de 7,0. O ponto P-02 apresentou os maiores valores encontrados, sendo superior a 9,0 nas duas primeiras coletas e na última, seguido do ponto P-04. Para Nuvolari (2011), os valores podem gerar prejuízos ao ecossistema aquático. O fenômeno estaria relacionado à diminuição nos níveis de CO_2 presente na água, o que pode associar-se ao consumo por microrganismos autótrofos, comum em ambientes eutrofizados. É válido ressaltar que os valores estariam em desacordo com o limite estabelecido pelo CONAMA para corpos hídricos de classe II.

Os valores de sólidos totais dissolvidos apresentaram-se acima do limite estabelecido pelo CONAMA apenas nos pontos P-01, P-03 e P-05 na primeira coleta, sendo máxima no último ponto. Os valores podem ser decorrentes da redução dos níveis das lagoas no período seco predominante até novembro, o que pode ter aumentado as concentrações de sólidos dissolvidos.

Os resultados obtidos para o parâmetro Turbidez apresentam valores inferiores ao estabelecido pelo CONAMA para corpos d'água de classe II. Destaca-se o ponto P-04 com os maiores valores encontrados, enquanto os demais pontos apresentam valores bem inferiores.

Tabela 2: Resultados dos parâmetros analisados.

PARÂMETROS	Valores	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05
Temperatura (ºC)	Média	28.4	30.1	28.3	**30.3**	29.6
	Máximo	30.0	**32.0**	30.0	**32.0**	**32.0**
	Mínimo	**25.0**	28.0	26.5	28.5	28.0
	Desvio Padrão	**1.8**	1.6	1.3	1.5	1.3
pH	Média	7.3	**8.4**	7.4	8.0	7.5
	Máximo	7.9	**9.6**	7.8	9.2	7.8
	Mínimo	**6.9**	7.1	7.1	7.4	7.2
	Desvio Padrão	0.3	**1.0**	0.2	0.6	0.3
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Média	367.8	372.5	**389.9**	256.8	341.3
	Máximo	525.0	423.0	580.0	454.0	**648.0**
	Mínimo	274.0	302.0	280.0	149.0	**104.0**
	Desvio Padrão	87.8	42.1	93.6	107.1	**175.6**
Condutividade (µs/cm)	Média	369.1	380.9	**390.4**	269.8	336.5
	Máximo	527.0	425.0	583.0	456.0	**649.0**
	Mínimo	273.0	319.0	291.0	160.8	**105.0**
	Desvio Padrão	87.2	35.9	92.9	101.4	**176.2**
Turbidez (UNT)	Média	14.0	24.8	15.2	**49.1**	12.4
	Máximo	42.3	54.1	31.5	**69.3**	22.4
	Mínimo	4.7	4.9	5.5	32.7	**4.6**
	Desvio Padrão	11.9	**18.5**	9.4	12.2	5.8
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Média	3.6	7.5	0.9	**8.1**	2.3
	Máximo	9.6	13.5	1.4	12.4	**14.4**
	Mínimo	0.2	0.9	0.2	2.7	**0.1**
	Desvio Padrão	3.47	4.77	0.44	3.16	**4.88**
Coliformes Totais (NPM/100mL)	Média	201774.3	96774.6	**1419105.7**	644070.0	45626.7
	Máximo	241960.0	241960.0	2419600.0	**3106200.0**	120980.0
	Mínimo	81640.0	17890.0	57940.0	17850.0	**9678.4**
	Desvio Padrão	69563.4	77517.9	987039.5	**1096063.1**	51657.7
Coliformes Fecais (NPM/100mL)	Média	19224.4	14273.3	**114175.0**	20198.8	3993.4
	Máximo	81640.0	92080.0	**496200.0**	111990.0	9678.4
	Mínimo	1320.0	1000.0	23500.0	**100.0**	299.2
	Desvio Padrão	26365.9	31520.1	**165781.8**	37773.5	3528.1
D.B.O. (mg/L)	Média	4.4	5.6	5.0	**7.13**	2.9
	Máximo	7.1	9.7	7.3	**13.38**	7.4
	Mínimo	2.3	2.5	2.6	2.41	**1.2**
	Desvio Padrão	1.7	2.5	1.7	**3.36**	2.0

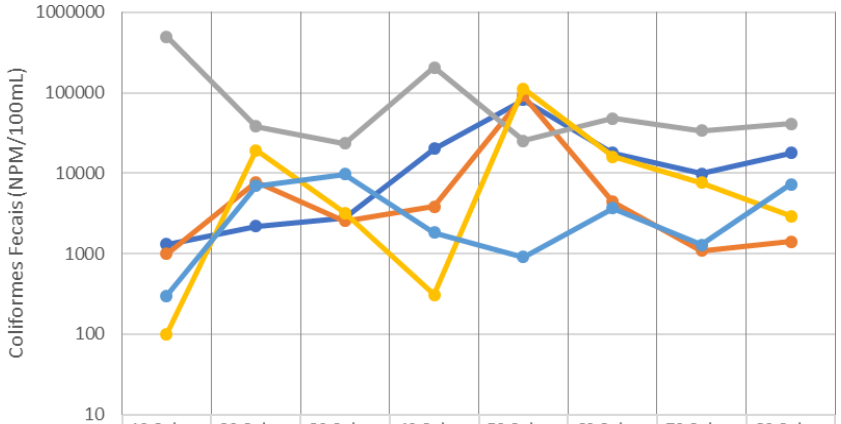
Dois dos pontos de coleta apresentaram valores médios satisfatórios no que fiz respeito a concentração mínima de oxigênio dissolvido presente na água de acordo a legislação: P-02 e P-04. Já os demais pontos, P-01, P-03 e P-05, apresentaram resultados mínimos muito baixos, chegando a 0,1 mg/L. O ponto crítico em termos de concentração de oxigênio dissolvido foi o P-03, apresentando valores muito baixos durante todo o período de monitoramento. Em contrapartida, conforme explicitado posteriormente, o ponto não apresentou resultados satisfatórios de concentração de matéria orgânica durante metade das coletas. Levando em conta os fortes odores sentidos nos entornos dos pontos e os resultados de oxigênio dissolvido e DBO, reflete-se sobre a possibilidade de condições anaeróbias de tratamento das águas à montante.

O ponto P-03 destaca-se com os maiores valores médios de coliformes totais e fecais. Os valores mínimos foram obtidos nos pontos P-05 e P-04, respectivamente para totais e fecais. Ressalta-se que na primeira coleta não foi realizada análise de coliformes totais devido a problemas técnicos em laboratório.

Os valores de coliformes totais obtidos são bastante elevados, variando de 96 mil a 1,4 milhão de microrganismos prováveis em 100 mililitros de amostra. Os valores correspondem ao máximo encontrado pela metodologia adotada, uma vez que as diluições usadas não foram suficientes para melhor caracterizar as amostras.

Os valores obtidos de coliformes fecais, também conhecidos como coliformes termotolerantes, apresentaram grande variação no decorrer das coletas. Todos os valores médios estão acima do padrão máximo estabelecido para classe II de enquadramento dos corpos hídricos. O resultado mínimo entre todos os pontos, que estaria de acordo com o valor legal, foi encontrado no ponto P-04. O gráfico da Figura 6 dispõe dos valores de coliformes fecais ao longo das coletas, com eixo plotado em escala logarítmica para melhor visualização dos dados.

O ponto P-01 apresentou valores ascendentes durante as três primeiras coletas, alcançando um pico de 81 mil prováveis microrganismos do tipo coliformes fecais a cada 100 mL na quinta coleta e reduzindo para valores inferiores a 20 mil posteriormente. Os resultados podem estar associados à ocupação humana das margens do corpo hídrico e à irregularidade e ineficácia dos sistemas de coleta e tratamento individual de seus efluentes. A elevada variação nos valores encontrados pode estar associada à contribuição pontual recebida da lagoa Cachorros, a qual não foi monitorada por este estudo, e à variação da pluviosidade.



	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	6ª Coleta	7ª Coleta	8ª Coleta
P1	1320	2210	2800	20140	81640	17890,00	9945,00	17850,00
P2	1000	7800	2560	3830	92080	4410,00	1100,00	1406,00
P3	496200	38400	23500	206400	25300	48100,00	34100,00	41400,00
P4	100	19365	3210	310	111990	16070,00	7590,00	2955,00
P5	299	6932	9678	1844	904	3688,80	1292,80	7308,00

Figura 6: Variação de coliformes fecais nos pontos analisados

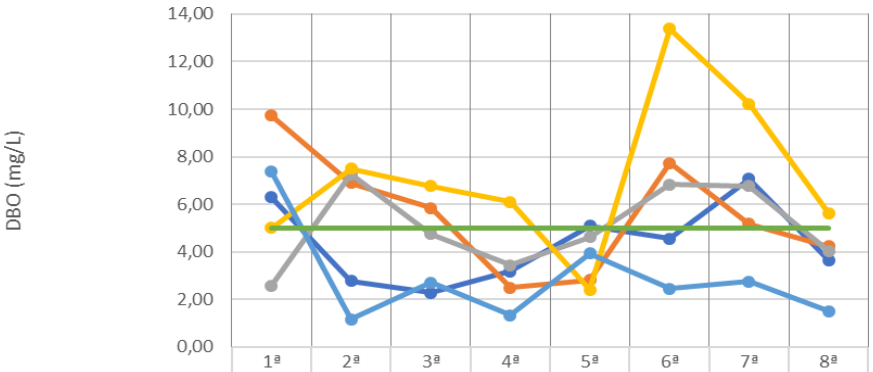
Os valores obtidos para o ponto P-02 estiveram acima do permitido para corpos hídricos de classe II durante todas as atividades de coleta, apresentando grandes oscilações no período de monitoramento. O ponto possui uma pequena área de drenagem superficial, se comparado aos demais, apresentando menores volumes de água escoados até as lagoas, mas com grandes contribuições de lançamentos de efluentes devido à alta taxa de ocupação e baixa taxa de cobertura por redes públicas de esgoto.

O ponto P-03 apresentou resultados alarmantes, destacando-se com os maiores valores de microrganismos prováveis por amostra durante grande parte do período de coletas. O valor máximo atingindo pelo ponto foi de quase 500 mil NPM/100mL, evidenciando problemas relacionados às altas taxas de ocupação do entorno das lagoas do Jacaré e a consequente destinação irregular de resíduos sólidos e efluentes líquidos ao longo da sua bacia de contribuição, conforme observado da Figura 4. É válido destacar também que o ponto possui elevada área de contribuição, estando a jusante dos dois primeiros pontos.

O valor mínimo de coliformes fecais, entre todos os pontos analisados, foi observado no ponto P-04. O dado é condizente com o fato de sua bacia de contribuição apresentar índices satisfatórios de cobertura de rede de esgotamento sanitário. Entretanto, na maioria das atividades de coleta os valores apresentaram-se elevados se comparados ao estabelecido pela legislação, o que refletiu no maior desvio padrão encontrado entre todos os pontos. Estes valores mais elevados podem ser reflexo do lançamento irregular de efluentes nas regiões da bacia ainda não cobertas por rede coletora ou nas regiões com rede coletora, mas sem a real efetivação das ligações domiciliares ao sistema. Vale ressaltar que nas proximidades do ponto, na sua área de drenagem superficial, estão localizados o Mercado Público Municipal do bairro Matadouro, podendo ser uma fonte pontual de poluentes biológicos.

.
Os valores médio, máximo e de desvio padrão mais baixos e satisfatórios foram encontrados no ponto P-05. Esperava-se, entretanto, que o ponto possuísse os piores valores uma vez que está a jusante de todos os outros pontos monitorados. Após a junção das águas provenientes dos primeiros quatro pontos de coleta, as águas escoam pela lagoa do Oleiros, que possui cerca de 1,69 quilômetros de extensão (distância em linha reta, do ponto mais a jusante do canal do São Joaquim ao ponto P-05, levantada com auxílio do *software GoogleEarth*) e recebe contribuição da lagoa da Piçarreira. A lagoa do Oleiros possui, portanto, grande área superficial, podendo contribuir com a diminuição das concentrações encontrados ao favorecer reações físico, químico e biológicas ao longo do escoamento. Entretanto, espera-se um melhor entendimento dos valores na análise das cargas poluidoras nos pontos de coleta, posteriormente descrita.

A análise da Demanda Bioquímica por Oxigênio apresentou resultados bastante dispersos, porém sem elevados desvios padrões. Os valores médios de três pontos apresentaram-se de acordo com o valor limite apresentado pela legislação. Os dados de concentração de DBO por ponto ao longo do período de coletas estão dispostos no Figura 7.



	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	6ª Coleta	7ª Coleta	8ª Coleta
P1	6,29	2,77	2,28	3,18	5,09	4,55	7,06	3,65
P2	9,74	6,90	5,85	2,51	2,82	7,74	5,17	4,23
P3	2,59	7,27	4,76	3,44	4,62	6,84	6,78	4,05
P4	5,01	7,51	6,78	6,11	2,41	13,38	10,23	5,63
P5	7,38	1,16	2,72	1,35	3,93	2,45	2,76	1,51
CONAMA (máximo)	5	5	5	5	5	5	5	5

Figura 7: Variação de DBO nos pontos analisados

As concentrações de DBO no ponto P-01 encontram-se abaixo do limite imposto pelo CONAMA para os corpos d'água de classe II em boa parte das coletas e possui pequeno valor de desvio padrão, atingindo um valor máximo de apenas 7,1 mg/L. O ponto manteve resultados satisfatórios durante boa parte das coletas.

Já o ponto P-02 apresentou valores insatisfatórios, ou seja, acima do estabelecido pela legislação, na maioria das coletas realizadas. O ponto apresentou uma concentração máxima de 9,7 mg/L na primeira coleta, podendo estar associada aos baixos níveis da lagoa no início do desenvolvimento da pesquisa, o que desfavoreceu a coleta em pontos mais profundos e afastados da margem da lagoa. Já nas coletas em se obteve valores mais satisfatório, as baixas concentrações poderiam estar associadas à diluição após chuvas mais intensas.

O ponto P-03 apresentou resultados satisfatórios, ou seja, inferiores a 5,0 mg/L em quatro das oito coletas realizadas, obtendo valor médio dentro do padrão legal e um máximo de 7,3 mg/L. Em contrapartida, o ponto recebe contribuições dos dois pontos anteriores, o que resultaria em valores mais elevados. Vale ressaltar que durante a maioria das coletas o ponto apresentou constante escoamento, podendo caracterizar um fenômeno de diluição das concentrações, fato a ser mais bem analisado nas análises de vazão e carga poluidora.

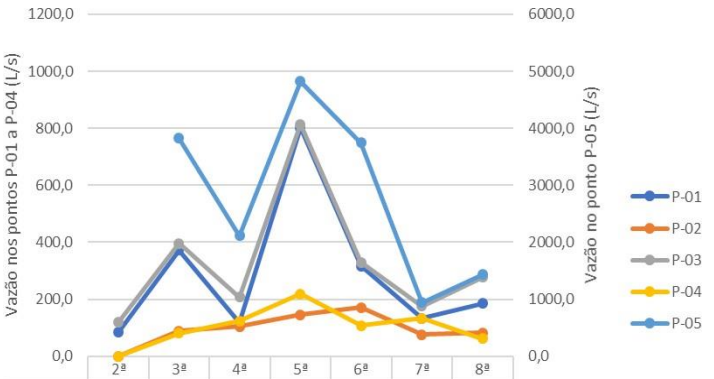
Os maiores valores médio, máximo e de desvio padrão foram obtidos no ponto P-04. A concentração de DBO variou de 2,41 mg/L a 13,38 mg/L entre a quinta e a sexta coletas. Com exceção do valor encontrado na quinta coleta, todos os outros mostraram-se superiores ao limite legal. Em paralelo aos resultados obtidos para os coliformes fecais, os valores mais elevados podem ser decorrentes das porções da sub bacia sem rede coletora ou de problemas

operacionais nas redes existentes. É válido também evidenciar a presença do Mercado Público como uma fonte de poluição pontual de matéria orgânica.

O ponto P-05 apresentou valor máximo de 7,4 mg/L na primeira coleta e manteve-se abaixo do limite legal nas demais coletas, apresentando o menor valor médio entre todos os pontos de monitoramento.

Observou-se que nos pontos P-01, P-03 e P-05, onde esperava-se valores mais elevados de concentração de DBO, os menores valores entre os pontos monitorados. As lagoas Cerâmica Poty, Jacaré e Oleiros, respectivamente, são os corpos hídricos localizados a montante de cada ponto mencionado e possuem grandes áreas superficiais, caracterizadas como zonas alagadas e de brejo, onde observa-se grandes áreas de cobertura vegetal. Para Salati (2003), áreas úmidas como brejos e zonas alagadiças constituem-se de sistemas naturais com a capacidade de autodepuração das águas por meio de plantas capazes de promover a retenção de substâncias presentes na água. Esses ecossistemas naturais, conhecidos como *wetlands*, são capazes de ficar parcialmente inundados durante todo o ano, e podem contribuir com o controle da qualidade das águas ao longo das lagoas.

Seguindo a metodologia do trabalho, o cálculo das vazões foi realizado por meio da aplicação hidráulica do conceito de escoamento livre crítico, valendo-se das estruturas de ligação existentes entre as lagoas, próximas aos pontos de coletas. Ressalta-se que o monitoramento da lâmina d'água nos canais e bueiros só começou a ser realizado a partir da segunda coleta, por problemas técnico-operacionais. No ponto P-05, entretanto, a medição só foi realizada a partir da terceira coleta. É valido destacar também que nos pontos P-02 e P-04 só houve escoamento a partir da quarta coleta, após maior ocorrência de chuvas na região. No gráfico da Figura 8 está representado a variação de vazão nos pontos de coleta, em litros por segundo. Ressalta-se que as maiores vazões foram encontradas no último ponto, exutório da bacia, e por se tratar de valores bem acima dos demais pontos, foi plotado no eixo vertical secundário do gráfico.



	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª
P-01	84,7	372,2	116,3	800,8	317,3	133,3	184,9
P-02	0,0	87,9	103,8	146,0	171,4	75,5	81,6
P-03	120,0	396,5	206,7	813,2	329,3	174,9	276,8
P-04	0,0	79,9	123,1	218,6	108,0	132,4	62,0
P-05		3828,1	2110,4	4825,0	3741,5	944,0	1435,9

Figura 8: Variação da vazão nos pontos analisados

Observou-se maiores resultados de vazão nos pontos P-01, P-03 e P-05, em que as áreas de drenagem das sub bacias são grandes. Os valores encontrados para o ponto P-02 foram coerentes com o fato de a sub bacia deste ponto não possuir grande área de escoamento e com o fato da lagoa do Mazerine, na qual o ponto está localizado, possuir grande área superficial e, consequentemente, uma boa capacidade de armazenamento dos volumes de água escoados. As vazões no ponto P-04 também se fazem coerentes com a sub bacia em que está inserido, uma vez que a mesma possui duas lagoas e um longo canal, favorecendo o amortecimento dos volumes escoados. Finalmente, os resultados do P-05 condizem com o fato do ponto estar localizado no exutório da bacia.

De posse dos dados de concentrações de poluentes e de vazão, calculou-se a carga poluidora. A Tabela 3 apresenta o resumo dos resultados para carga de coliformes fecais e carga de DBO. A primeira foi encontrada em número provável de microrganismos por segundo, ou seja, o número provável de bactérias do tipo coliformes termotolerantes que são carregados por segundo nas águas da microbacia LDN. Já a segunda carga calculada foi expressa em

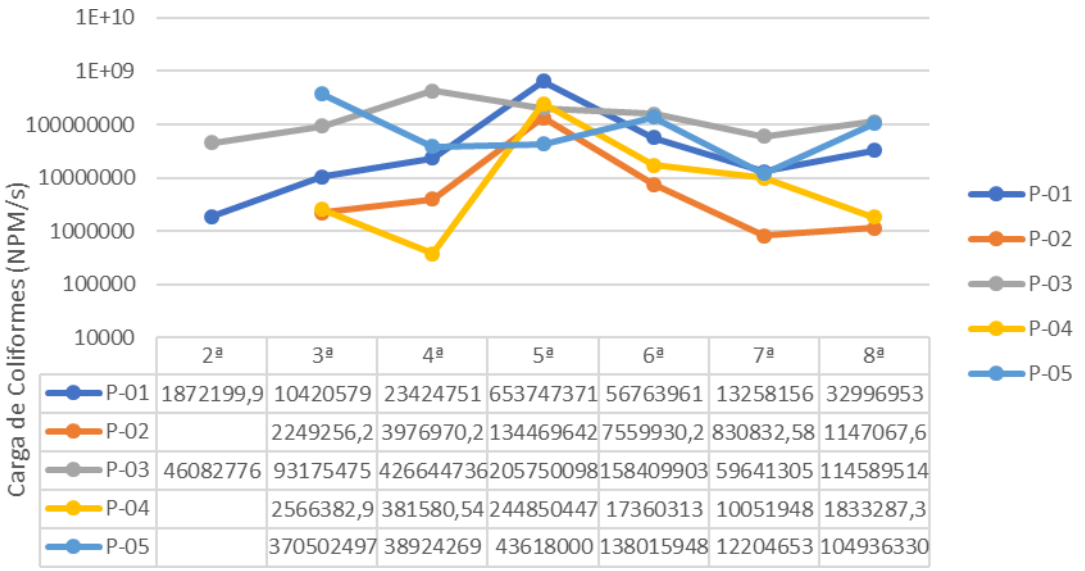
miligramas por segundo. Uma vez que as vazões nas estruturas de ligação entre as lagoas sofrem grande influência da intensidade das chuvas e do tempo de concentração das sub bacias, o que provoca grandes variações lâmina d'água, utilizou-se a unidade de tempo segundo.

Tabela 3: Resumo dos resultados de carga poluidora

PARÂMETROS	Valores	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05
Coliformes fecais (NPM/s)	Média	113211996	21461957	157756258.3	39577708.54	118033616.2
	Máximo	653747371.2	134469642	426644736	244850447.3	370502497.5
	Mínimo	1872199.939	830832.576	46082776.1	381580.54	12204652.87
	Desvio Padrão	239030845.5	53666422.9	130853865.8	97541817.32	132141674.5
D.B.O. (mg/L)	Média	1157.46	464.05	1684.16	710.23	7694.17
	Máximo	4079.08	1327.33	3760.78	1445.13	18978.77
	Mínimo	184.86	260.33	710.52	349.29	2175.26
	Desvio Padrão	1364.96	393.88	1068.42	461.65	6583.30

Ressalta-se que o monitoramento da carga poluidora nos pontos P-02 e P-04 só foi realizado a partir da terceira coleta, ou seja, a partir do mês de fevereiro, quando os níveis da lagoa do Mazerine e do canal Padre Eduardo haviam atingido a cota de ligação com as respectivas lagoas a jusante. O mesmo vale para o ponto P-05, uma vez que seus dados de vazão só foram monitorados a partir da terceira coleta.

A Figura 9 apresenta as variações temporais da carga poluidora de coliformes fecais, em número provável de microrganismos por segundo, plotado em escala logarítmica, para os pontos monitorados a partir da segunda e da terceira coleta.



	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª
P-01	1872199,9	10420579	23424751	653747371	56763961	13258156	32996953
P-02		2249256,2	3976970,2	134469642	7559930,2	830832,58	1147067,6
P-03	46082776	93175475	426644736	205750098	158409903	59641305	114589514
P-04		2566382,9	381580,54	244850447	17360313	10051948	1833287,3
P-05		370502497	38924269	43618000	138015948	12204653	104936330

Figura 9: Variação de carga poluidora de coliformes fecais

O ponto P-01 apresentou o valor máximo de carga poluidora entre os pontos analisados, o qual foi observado na quinta coleta, atingindo quase 654 milhões de bactérias por segundo. O ponto apresentou também o valor máximo de desvio padrão, em que se observou o mesmo comportamento obtido na concentração de coliformes termotolerantes: valores ascendentes durante as coletas iniciais, que foram reduzidos após a ocorrência do resultado máximo. Portanto, em concordância com os elevados valores de vazão encontrados, o ponto possui aspectos de poluição quanti e qualitativamente significativos.

Já o ponto P-02 obteve o menor valor médio de carga poluidora. O ponto apresentou também os menores valores máximos e de desvio padrão. Apesar dos valores de concentração de coliformes fecais terem sido acima do limite legal em todas as coletas neste ponto, os menores valores de vazão deram a este ponto, em geral, os índices mais

satisfatórios de carga poluidora entre os pontos monitorados. Os dados condizem com a área de drenagem da sub-bacia em que o ponto está localizado, sendo a menor entre os demais.

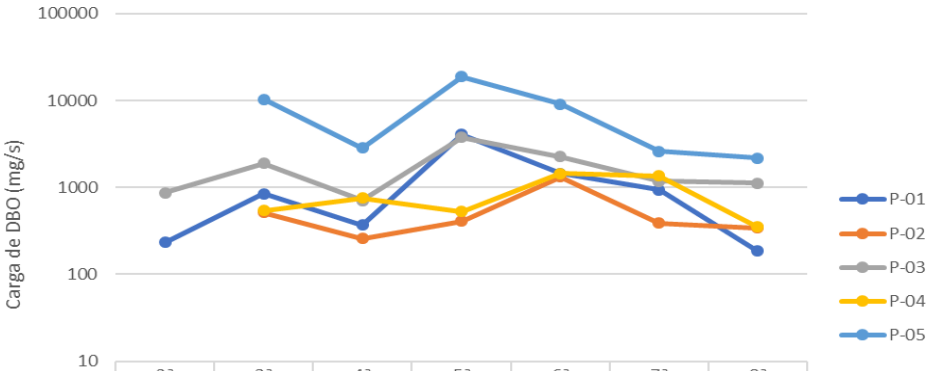
O maior valor médio foi obtido no ponto P-03, atingindo cerca de 158 milhões de coliformes termotolerantes por segundo. Os resultados alarmantes de concentração de coliformes encontrados neste ponto aliados às elevadas vazões de escoamento contribuíram para uma sua avaliação como pior carga poluidora da microbacia LDN durante cinco coletas. O fato pode ser justificado pela contribuição recebida dos dois pontos anteriores e de toda extensão da lagoa do Jacaré.

Em concordância com o fato de possuir uma sub-bacia com boa cobertura de rede coletora de esgoto, o ponto P-04 apresentou o menor resultado de carga poluidora de coliformes fecais assim como o segundo menor valor médio. Os números refletem numa boa avaliação da carga se comparados aos demais pontos. A região do P-04 também integra o Parque Lagoas do Norte, onde as lagoas possuem suas margens sem ocupação residencial irregular e os bairros adjacentes foram beneficiados com sistema de coleta de esgoto sanitário. Os resultados evidenciam possíveis falhas no sistema ou nas ligações domiciliares, e podem ser oriundos de contribuições pontuais, como pode ser o caso do mercado público, feiras e frigoríficos nas adjacências do ponto.

O ponto P-05 apresentou resultados mais preocupantes quanto à quantidade do que quanto à qualidade. Os valores mais satisfatórios de concentração de coliformes fecais, em relação aos demais pontos monitorados, podem ser justificados pelos elevados valores de vazão. Os maiores volumes de água estariam diluindo as concentrações de coliformes oriundas do escoamento por toda a bacia. Porém, isso não exclui a possibilidade de a diminuição nas concentrações estar associada à grande extensão da zona de vegetação alagada da lagoa do Oleiros.

É importante destacar que o ponto P-05 encontra-se no exutório da bacia, portanto, os valores de carga poluidora de coliformes encontrados correspondem ao que está sendo lançando diretamente no rio Parnaíba, sendo relevante a avaliação destes valores quanto à capacidade de auto depuração do rio, uma vez que este recebe contribuições dos efluentes tratados na ETE-Pirajá, à montante do ponto de descarga da casa de bombas e tem suas águas captadas para tratamento na ETA-Santa Maria da Codipi, à jusante.

Na Figura 10 está representado gráfico com as variações temporais da carga poluidora de DBO, em miligrama por segundo, plotado em escala logarítmica, para os pontos monitorados a partir da segunda e da terceira coleta.



	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª
P-01	234,90483	847,33398	369,91132	4079,0823	1444,818	941,29187	184,85688
P-02	0	513,72482	260,33206	411,40894	1327,3281	390,77011	344,75433
P-03	872,84721	1886,2346	710,51964	3760,778	2252,8249	1185,3371	1120,5943
P-04	0	541,83308	752,42164	527,80783	1445,1279	1355,1211	349,28621
P-05	0	10411,507	2841,8202	18978,765	9148,3108	2609,3741	2175,2597

Figura 10: Variação de carga poluidora de DBO

O ponto P-01 apresentou o menor valor de carga poluidora de DBO entre todos os pontos analisados. O ponto, em termos de qualidade, manteve sua concentração de matéria orgânica abaixo do limite legal, porém, quantitativamente apresentou valores significativos, uma vez que possui resultados elevados de vazão. O valor máximo observado no ponto foi de 4079,08 mg/s, o que, se considerado em 1 dia, escoaria uma massa poluidora de 14,68 kg de DBO.

A carga poluidora máxima encontrada no ponto P-02 corresponderia a 4,78 quilogramas se considerado um período diário. Porém, o valor médio resultante no ponto foi o menor entre todos os pontos analisados, assim como o menor desvio padrão. O ponto apresentou aspectos quantitativos reduzidos em relação aos demais, mas evidenciou-se qualitativamente insatisfatório, ou seja, superior ao limite legal, durante a maioria das coletas. O ponto, portanto, mostrou-se com os melhores resultados de carga poluidora de DBO dentre os pontos monitorados.

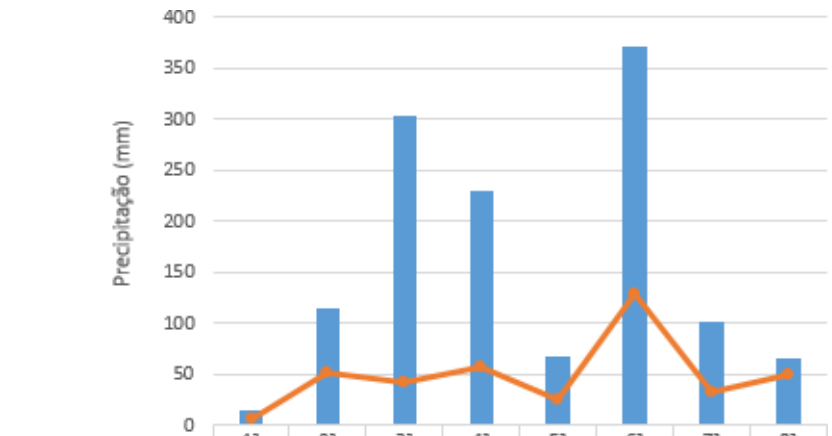
O ponto P-03 apresentou resultados quantitativamente elevados, evidenciando a diluição dos poluentes em maiores volumes de água. Tal fenômeno foi esperado quando se avaliou o ponto com aspectos qualitativos mais satisfatórios, ou seja, com as concentrações abaixo dos limites legais, em boa parte das coletas. O ponto está a jusante dos pontos P-01 e P-02, que possuem valores mais altos e baixos de carga, respectivamente, o que também representaria uma diluição nos valores de concentração. Ressalta-se, entretanto, que os valores de carga poluidora são elevados, chegando a um pico de 13,54 quilogramas de DBO por dia na quinta coleta.

Os aspectos qualitativos de matéria orgânica presente no ponto P-04 apresentaram-se fora do padrão legal estabelecido, mostrando-se insatisfatórios, mas as vazões mais baixas contribuíram para obtenção de menores valores de carga poluidora, assim como o ocorrido com a carga de coliformes. A análise evidenciou, assim como no ponto P-02, baixo valor de desvio padrão e um valor máximo correspondente a uma massa poluidora diária de 5,20 quilogramas de DBO. O valor é bem próximo do resultado encontrado para o segundo ponto, mas possui uma sub-bacia de drenagem com área bem maior e a manutenção nos valores estaria justificada por uma maior cobertura por sistemas de esgotamento sanitário na região do P-04.

Já no ponto P-05, observou-se os piores resultados (mais elevados) de valores médio, máximo e de desvio padrão. Conforme mencionado anteriormente, os valores são significativos e passivos de avaliação quanto à capacidade de autodepuração do rio Parnaíba. O valor máximo encontrado no ponto resultaria em massa orgânica de 68,32 quilogramas de DBO por dia durante as atividades da quinta coleta, quando a casa de bombas se encontrava acionada após intensos episódios de chuva.

As análises de carga poluidora de DBO e de coliformes fecais evidenciaram a importância do monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos. Pensar em qualidade da água (concentração de poluentes e nutrientes) não associadas com a quantidade (vazão de escoamento) pode mascarar alterações recorrentes em um corpo d'água.

No gráfico da Figura 11 estão dispostos os valores de chuva acumulada, em milímetros, entre as atividades de coleta de amostras de água e os valores de chuva máxima diárias para o mesmo intervalo de tempo. Ressalta-se que para a primeira coleta, considerou-se a chuva acumulada nos trinta dias antecedentes uma vez que as primeiras coletas tiveram periodicidade mensal.



	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª
Chuva Acumulada	14.6	113.7	303.6	230	67.2	372.2	100.3	65
Chuva máxima	6.3	50.8	42.3	57.1	25.4	128	32	49

Figura 11: Precipitação na microbacia LDN (Nov/17 – Maio/18)

O gráfico evidencia elevados fenômenos de chuva durante a atividade da pesquisa, o que afetou diretamente o escoamento superficial na bacia e possibilitou o fluxo de água por todo o sistema de drenagem, conectando as lagoas que estavam isoladas no período seco e possibilitando a difusão dos valores de concentração de poluentes ao longo dos corpos hídricos da microbacia em estudo.

Durante as atividades de coleta, observou-se que a dinâmica das vazões existentes nas estruturas de ligação entre as lagoas estaria diretamente relacionada à ocorrência de chuva nas horas antecedentes às atividades de coleta, evidenciando pequenos tempos de concentração nas microbacias, conforme constatado por JB Engenharia (1999) *apud* TUCCI (2014). Ressalta-se que as bacias secundárias traçadas por tal estudo se aproximam com as encontradas no presente trabalho, sendo condizente à dinâmica das vazões observadas durante as visitas ao local de estudo.

Diante do exposto, decidiu-se comparar os dados de carga poluidora de coliformes e de DBO com a chuva acumulada nas 24 horas antecedentes às atividades de coleta, conforme gráficos da Figura 12. Os gráficos estão plotados com dois eixos verticais, estando o eixo das cargas em escala logarítmica.

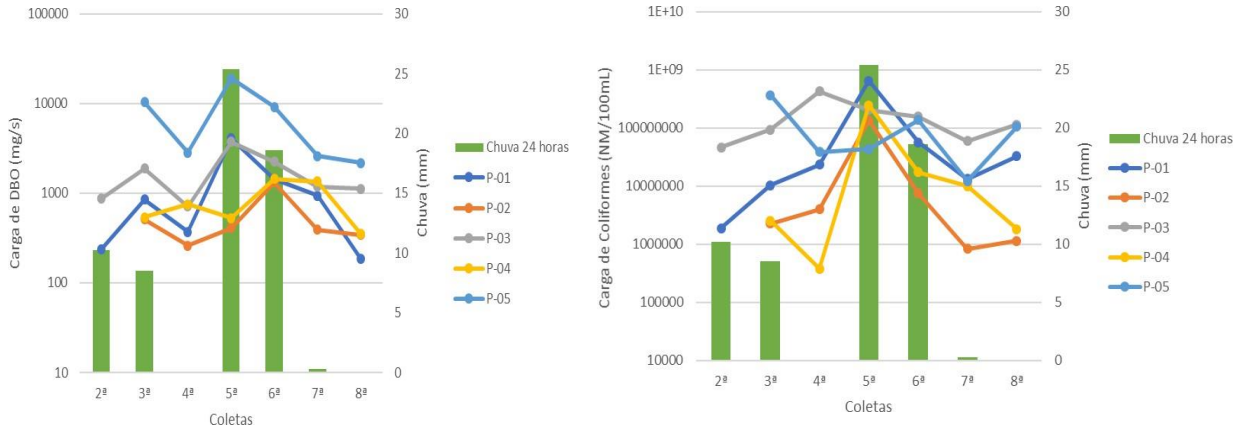


Figura 12: Cargas poluidoras x pluviosidade

Ambos os gráficos evidenciam forte influência das chuvas nos valores de carga poluidora encontradas, uma vez que quanto maior forem as alturas de chuvas, maiores serão as condições de escoamento ao longo de toda a microbacia LDN e maiores serão as massas de poluentes carreadas até o exutório da bacia, onde serão bombeados para o rio Parnaíba. A situação mais crítica foi observada na quinta coleta, onde observou-se uma precipitação acumulada de 25,4 milímetros nas 24 horas antecedentes à coleta (atingindo quase 40 milímetros, se observadas as últimas 72 horas), onde notou-se a elevação nos valores de carga poluidora.
Os valores demonstram forte disseminação dos valores de carga poluidora ao longo de toda a bacia e elevados índices de poluição nas lagoas, que podem estar associados tanto à ineficácia dos sistemas de esgotamento sanitário na região quanto à contribuição oriunda da poluição das ruas e avenidas por resíduos sólidos e outras impurezas que são carregados pelo escoamento superficial e destinado às lagoas em períodos de chuvas. Os resultados evidenciam a necessidade do ideal funcionamento e integração entre todos os setores do saneamento ambiental.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A microbacia LDN possui quatro sub-bacias principais, das quais três descarregam suas águas na lagoa do São Joaquim, favorecendo o escoamento ao longo da quarta sub-bacia, até o exutório. Tais observações nortearam a definição dos pontos de coletas, possibilitando uma análise setorizada das concentrações e cargas poluidoras encontradas ao longo da microbacia LDN e da descarga ao rio Parnaíba.
Os valores de concentração de poluentes encontrados, principalmente de coliformes fecais, se comparados com os limites legais estabelecidos pelos órgãos ambientais, apresentaram-se insatisfatórios na maioria dos pontos durante as coletas. Levando as vazões de escoamento, comprovou-se cargas poluidoras de coliformes

fecais bastante elevadas. Os piores valores foram registrados após fortes chuvas, o que evidencia a contaminação das águas por poluentes carregados pelo escoamento superficial nas ruas e avenidas da região pelas estruturas de microdrenagem.

As concentrações de DBO apresentaram-se satisfatórias, abaixo do valor limite estabelecido pela legislação ambiental em boa parte dos pontos durante as coletas. Em coleta realizada após períodos de chuva intensa, para o caso da DBO, evidenciou-se fenômenos de diluição, onde os resultados de concentração mostram-se inferiores ou iguais ao limite em todos os pontos monitorados. Destaca-se que o exutório da bacia apresentou os menores valores durante todo o período de monitoramento. Entretanto, a análise da carga poluidora mostrou o inverso, evidenciando os maiores valores de massa de DBO por intervalo tempo. É importante atentar-se aos elevados valores de carga poluidora que estão sendo lançados no rio Parnaíba, sendo relevante um estudo de capacidade de autodepuração deste.

O estudo destacou a importância do monitoramento de cargas poluidoras como melhor caracterizador de problemas de qualidade das águas de rios e lagos urbanos. Destaca-se a importância de todos os setores do saneamento funcionarem de maneira íntegra e sistêmica para a manutenção da qualidade ambiental das águas e ecossistemas aquáticos e melhoria na qualidade de vida da população, minimizando doenças transmitidas por águas contaminadas e melhorando o ambiente urbano.

A pesquisa evidenciou também que as lagoas possam estar absorvendo e auto depurando as cargas poluidoras lançadas no sistema. Suas elevadas áreas superficiais, assim como as baixas declividades e as características de vegetação alagada (*wetlands*) em algumas lagoas, estariam contribuindo com a ocorrência de fenômenos físico, químico e biológicos que contribuam com a degradação dos poluentes presentes nas águas. Ressalta-se que, muito embora as lagoas possam estar colaborando para evitar a poluição do rio Parnaíba, tal fato poderia impossibilitar outros usos aos quais estariam destinadas as lagoas, a exemplo da recreação.

Para a redução e prevenção dos problemas encontrados, faz-se necessário a implementação de medidas corretivas, a exemplo da implantação de novos trechos rede coletora de esgotamento sanitário, assim como manutenção e efetivação das ligações domiciliares nos sistemas já implantados, melhoria nos serviços de limpeza, armazenamento e coleta dos resíduos sólidos e realocação de população residentes em áreas irregulares e de risco. É relevante dar ênfase também a programas sociais de educação ambiental em busca de redução de impactos provocados ao meio ambiente local. Ressalta-se que o Programa Lagoas do Norte vem trazendo melhorias para a qualidade socioambiental da zona norte de Teresina.

Diante do exposto, este estudo mostra-se relevante diante dos resultados encontrados, evidenciando problemas causados pela falta de infraestrutura de saneamento e como a elevação de investimentos nesta área da engenharia possibilita a melhoria da qualidade de vida no meio urbano, unindo princípios sociais, ambientais e até econômicos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Além disso, o estudo oportuniza outras pesquisas na região diante da necessidade de maiores aprofundamentos que ajudem a melhor conhecer a dinâmica da qualidade e dos volumes das águas da microbacia Lagoas do Norte e buscar soluções para os problemas encontrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2012). Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. 2012. Brasília: ANA. 264 p.
2. *APHA - American Public Health Association. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington: *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation*, 2012. 1496p.
3. ARAÚJO, D. C. de, et al. *Multicriteria analysis applied to the management of urban pluvial waters*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 22, e18, 2017.
4. BRASIL. Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Manual prático de análise de água. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150p.
5. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente – Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de Março de 2005. Brasília, 2005.

6. ENGESOFT Engenharia e Consultoria Ltda. Mapeamento da área urbana de Teresina: Ortofotocarta e Levantamento Aerofotogramétrico. Teresina, 2013. Escala: 1:70000.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010). Censo demográfico. Brasília: IBGE.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE: Brasil em síntese. PIB – valores correntes – Brasil – 2010/2016. 2017. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/contas-nacionais/pib-valores-correntes.html>. Acesso em: 2 nov. 2017.
9. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estações automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> Acesso em 18 maio 2018.
10. INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento das 100 Maiores Cidades. 2017. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos-/ranking/2017/relatoriocompleto.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2017.
11. MPB Engenharia. Relatório de Instalação – Réguas de Medição. Consorcio Teresina Sustentável. Teresina, 2014.
12. NEVES, M.G.F.P. & TUCCI, C.E.M. (2008) Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Estudo de Caso. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, n. 13, p. 43-53.
13. NILSSON, C.; RENÖFÄLT, B. M. *Linking flow regime and water quality in rivers: a challenge to adaptive catchment management*. *Ecology and Society*, v. 13, n. 2, p. 1-20, 2008.
14. NUVOLARI, Ariovaldo (Coord.). Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2 ed. rev. São Paulo: Blucher, 2011.
15. PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica Básica. 4. ed. rev. São Carlos: EESC-UPS, 2006.
16. SALATTI, E. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. São Paulo, v65, n1/2, p. 113-116, jan./dez., 2003
17. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. (2017). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES. 212 p.
18. TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina. Teresina: Prefeitura de Teresina, 2010.
19. _____. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria de Planejamento e Coordenação. Programa de Melhoria da Qualidade de Vida e da Governança Municipal de Teresina: Relatório de Avaliação Ambiental e Social - RAAS. Teresina, 2014. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/wpcontent/uploads/-2016/01/RAAS-VERS%C3%83O-FINAL-18nov2014.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2017.
20. _____. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria de Planejamento e Coordenação. Programa Lagoas do Norte – Caracterização. 2015. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/pln-caracterizacao/>. Acesso em: 20 out. 2017.
21. _____. In. Teresina – Perfil dos Bairros – Regional – SDU Norte. 2016. Teresina, 2016. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/sdu-centronorte/> Acesso em: 02 mar 2018.
22. TUCCI, Carlos E. M. Água no Meio Urbano. Livro da Água Doce. Capítulo 14. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.
23. TUCCI, Carlos E. M. Drenagem Urbana. 1 ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1995. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.5).
24. TUCCI, C. E. M. e SOUZA, R. S. Controle de inundações e manutenção dos níveis das lagoas norte: simulações hidrológicas e hidráulicas dos cenários de inundações. Prefeitura Municipal de Teresina. Teresina, 2014.