



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**CONDIÇÕES DE OXIGENAÇÃO E DESOXIGENAÇÃO DO TRECHO
PERENIZADO DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

MYRLA OLIVEIRA DE FREITAS

POMBAL– PB

2016

MYRLA OLIVEIRA DE FREITAS

**CONDIÇÕES DE OXIGENAÇÃO E DESOXIGENAÇÃO DO TRECHO
PERENIZADO DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande como um dos requisitos de avaliação para obtenção do grau de BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira De Queiroz

POMBAL– PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- F866c Freitas, Myrlla Oliveira de.
Condições de oxigenação e desoxigenação do trecho perenizado do Rio Piancó-Piranhas-Açu / Myrlla Oliveira de Freitas. – Pombal, 2016.
30 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar.
"Orientação: Prof. Dr. Manoel Móises Ferreira de Queiroz".
Referências.
1. Engenharia Ambiental – Degradação Ambiental – Pombal/PB.
 2. Reaeração superficial. 3. Autodepuração. 4. Desoxigenação.
- I. Queiroz, Manoel Móises Ferreira de. II. Título.

CDU 62:504.5(043)

MYRLA OLIVEIRA DE FREITAS

**CONDIÇÕES DE OXIGENAÇÃO E DESOXIGENAÇÃO DO TRECHO
PERENIZADO DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do grau de BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL e aprovado em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

APROVADO EM 17/05/2016

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz

Orientador–UACTA/CCTA/UFCG

Prof. Dr^a. Jussara Silva Dantas

Examinador Interno – UACTA/CCTA/UFCG

Prof. Edilson Leite da Silva

Examinador Externo- CFP/UFCG

Pombal– PB

2016

A DEUS, à minha família, em especial aos meus pais, Gildasio (in memória) e Geralda, ao meu irmão João Paulo, e ao meu Tio Ribeiro (in memória), DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por Ser infinitamente Maravilhoso, por prover todas as soluções para todos os desafios que encontrei durante essa caminhada e em toda minha vida. Obrigada Deus!

A minha Mãe Geralda Paixão, por todo incentivo e apoio que me deu durante toda a minha vida, pelo amor incondicional, e por todo esforço para me fazer chegar até aqui. Obrigada minha Mainha, te amo.

Aos meus amados irmãos Múria, Mirdys, Mysia, Clívia, Roseânea, Walys, Alan Kleiton e João Paulo, pelo incentivo, força e amor. Quero agradecer em especial ao meu querido irmão caçula João Paulo, por todas as renúncias que fez para sonhar esse sonho junto comigo. Obrigada meu Janjão.

Aos meus sobrinhos Catarina, Pietro, Gleyse, Miguel, Tamires, Vitória, Eduarda, Thauí, Rhuan, Raycka, Guilherme e Geovana, por existirem e serem parte do combustível que me dá forças para seguir em frente.

A toda minha família, em especial meus tios queridos Francisco (Noinho), César, Antônio, Francisca (Neta), Márcia, Rita, José, Maria, Creuza e ao casal Gorete e Eurípedes, por tudo que fizeram e fazem por mim, muito obrigada!

Ao meu namorado Ataías, por ser, além de namorado, meu melhor amigo. Obrigada meu amor, pela compreensão, pelo amor, companheirismo, incentivo e por todo carinho. Amo você.

As amigas-irmãs e colegas de apto. Maria Izabel (Bebel), Daniela (Dani), Dory, Amanda e Líssia que foram minha família durante esses longos anos de graduação. Agradeço em especial a Bebel e Dani, pela amizade, apoio, companheirismo e afeto que construímos ao longo desses anos.

Aos amigos especiais que encontrei durante a graduação, Aline, Maria Juliana (Juh), Uigno, Kaio Vinicius e Valcemir, pela troca de conhecimento e por compartilharem comigo essa experiência maravilhosa.

Aos amigos queridos Jeruza e Everton por serem pessoas excepcionais, profissionais excelentes e por nunca se negarem a ajudar. Obrigada.

Aos amigos que foram fundamentais para realização dos trabalhos em campo, Jeferson, Alexandro, Laura, Brenda, Felipe, Kaio e Uigno, muito obrigada.

Ao meu estimado orientador Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz, pela orientação, dedicação, confiança, incentivo e todo aprendizado que me proporcionou através das disciplinas ministradas e durante a realização desse trabalho. Obrigada, professor.

A todos os professores que contribuíram com a minha formação, em especial aos professores Manoel Moisés Ferreira, Érica Cristine Medeiros, Virgínia de Fátima Bezerra, Helber Almeida, entre tantos outros.

Na pessoa do Prof. Dr. Evandro Franklin de Mesquita, quero agradecer a todos os meus queridos professores da Escola Agrotécnica do Cajueiro, por fazerem parte dessa conquista.

Aos meus mais que amigos, irmãos de outra mãe, Elcio Nunes, Elânio Batista, Hélio Andrade, Josevan Andrade, Joeliton Lima, Lunara Alves, Viviane Almeida e Edinete Nunes, por torcerem por mim e vibrarem com as minhas conquistas. Amo todos vocês.

Quero agradecer a família de Euzete (Epa) e Zeneide (Paraíba), por tudo que fizeram por mim. Muito obrigada!

Agradeço aos amigos, vizinhos, parentes e todos que direto ou indiretamente contribuíram para realização desse sonho. Obrigada!

LISTA DE SIGLAS

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial Hidrogeniônico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Zonas de Autodepuração.....	15
Figura 2- Progressão temporal da concentração e do déficit de Oxigênio.....	20
Figura 3- Localização do Rio Piancó-Piranhas-Açu.....	23
Figura 4- Localização dos pontos de coleta ao longo do trecho analisado.....	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. AUTODEPURAÇÃO.....	14
3.2. OXIGENAÇÃO E DESOXIGENAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS.....	15
3.2.1. A cinética da desoxigenação	15
3.2.2. Coeficiente de desoxigenação (K_1)	17
3.2.3. A cinética de reaeração.....	19
3.2.4. Coeficiente de reaeração superficial (K_2)	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
4.2 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	23
4.2.1 Determinação das características hidráulicas do rio	24
4.2.2 Monitoramento da qualidade da água	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

RESUMO

A capacidade autodepurativa de um rio está diretamente relacionada às concentrações de oxigênio dissolvido no mesmo. Para estabelecer a eficiência desse mecanismo é necessário conhecer os valores dos coeficientes de desoxigenação (K_1) e reaeração superficial (K_2) do corpo hídrico. O presente trabalho buscou quantificar esses coeficientes em um trecho do rio Piancó-Piranhas com o intuito de analisar a autodepuração do mesmo, uma vez que esse é alvo do lançamento de esgotos domésticos do município de Pombal-PB, no qual o trecho está inserido. Para isso foram realizadas campanhas amostrais nos períodos de janeiro a abril de 2016, a fim de determinar valores de oxigênio dissolvido, temperatura, DBO_5 , vazão e velocidade. Para determinação do K_2 foi utilizada a equação de O'Connor e Dobbins, e para determinação de K_1 foi utilizado o método estatístico não linear através da ferramenta Solver, do Excel. Os valores encontrados para os coeficientes confirmam a eficiência do processo autodepurativo do trecho estudado.

Palavras-chave: autodepuração, desoxigenação, reaeração superficial.

ABSTRACT

The autodepurativa capacity of a river is directly related to the concentration of dissolved oxygen in it. To establish the effectiveness of this mechanism is necessary to know the values of the deoxygenation coefficient (K_1) and superficial reaeration (K_2) of the water body. This study aimed to quantify these coefficients in a stretch of Piancó-Piranhas river in order to analyze the depuration of it, since this is the subject of the release of wastewater in the city of Pombal-PB, in which the passage is inserted. For this sample were conducted campaigns for the periods from January to April 2016, in order to determine values of dissolved oxygen, temperature, DBO_5 , flow and speed. To determine the K_2 was used the equation of O'Connor and Dobbins, and to determine K_1 was used nonlinear statistical method through the Solver tool, Excel. The values for the coefficients confirm the efficiency of the process autodepurativo the studied stretch

Keywords: autodepurativo, deoxygenation, superficial reaeration.

1. INTRODUÇÃO

Os corpos d'água, após a introdução de determinada quantidade de matéria orgânica, conseguem se recuperar através de meios naturais, porém essa capacidade é finita e depende das características do próprio corpo d'água, além de depender também da quantidade de matéria orgânica introduzida. Essa recuperação é denominada de autodepuração do corpo d'água (CORRÊIA, 2015).

Em termos matemáticos a autodepuração de um rio pode ser entendida como sendo o balanço entre a taxa de desoxigenação imposta pela oxigenação da matéria orgânica e a taxa de reaeração, da qual o fenômeno principal é a reoxigenação atmosférica, sendo o coeficiente de reaeração a variável associada à capacidade do meio em se oxigenar. O coeficiente de reaeração depende, fundamentalmente, da vazão do rio e de suas características geométricas.

O estudo da autodepuração dos corpos d'água é fundamental para determinar a capacidade do corpo hídrico de digerir a matéria orgânica presente, uma vez que estes são receptores de efluentes tratados e não tratados. Através dessa quantificação é possível determinar se o corpo receptor está conseguindo ou não digerir a carga orgânica a ele imposta, e com isso indicar medidas de controle de poluição e/ou contaminação caso seja necessário.

Os pesquisadores Streeter & Phelps (1925) estabeleceram as bases matemáticas da curva de oxigênio dissolvido em um curso d'água. A estrutura do modelo proposto por eles é clássica em estudos na área da engenharia ambiental, servindo de suporte para todos os outros modelos mais sofisticados que se sucederam (SPERLING, 1996).

Para uma melhor análise das condições autodepurativas de um rio é necessário conhecer suas condições de desoxigenação e reaeração superficial. Com isso pretende-se neste trabalho determinar os coeficientes de desoxigenação e reaeração, (K_1) e (K_2) respectivamente, a partir de equações empíricas presentes na literatura.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes de reaeração e desoxigenação em um trecho do Rio Piancó-Piranhas-Açu que compreende a jusante e a montante do ponto de lançamento de esgotos do município de Pombal.

2.2. Objetivos Específicos

- Quantificar valores de oxigênio dissolvido e temperatura em diferentes posições e níveis de profundidades;
- Realizar ensaios de Demanda Bioquímica de Oxigênio no tempo de 9 dias – DBO_9 , para o cálculo do coeficiente de desoxigenação (K_1) nos trechos selecionados;
- Determinar valores de coeficiente de desoxigenação (K_1);
- Determinar valores de coeficiente de oxigenação (K_2);
- Comparar os valores obtidos para K_1 e K_2 com as médias publicadas para outros sistemas hídricos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada a revisão bibliográfica que deu suporte ao desenvolvimento deste trabalho. Será apresentado um breve conceito do que venha a ser autodepuração, bem como se conduz os processos de oxigenação e desoxigenação em termos matemáticos e sua atuação na natureza do corpo hídrico.

3.1. Autodepuração

O conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H_2O . Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e a sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade das águas (VON SPERLING, 1996).

A entrada de matéria em um rio leva, indiretamente, ao consumo de oxigênio dissolvido. Isso ocorre em virtude da estabilização da matéria orgânica que ocorre graças às bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio dissolvido para sua respiração (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Von Sperling (2005), a autodepuração é um processo natural que está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após o lançamento de efluentes que causa alterações às condições naturais do corpo hídrico.

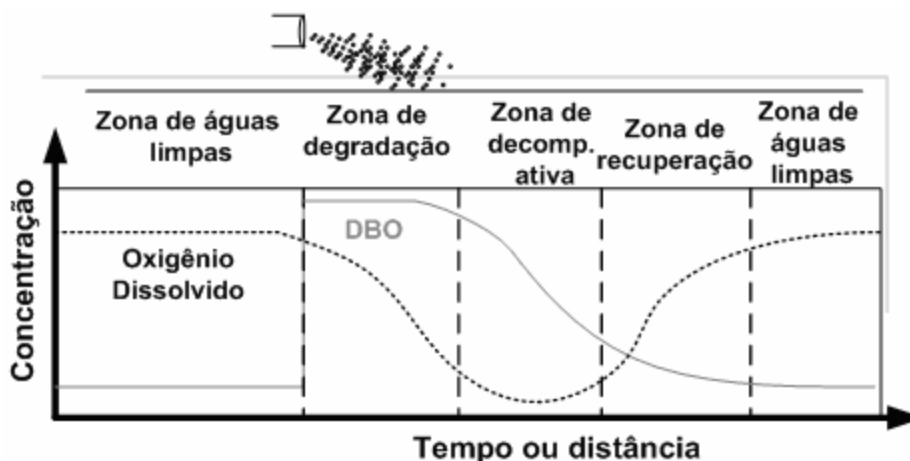
Os mecanismos naturais que interferem na capacidade de recuperação, ou autodepuração, dos rios são decorrentes de fatores físicos, químicos, bioquímicos e biológicos, nos quais se destacam: a velocidade das águas, a vazão, a morfologia do leito, a temperatura e a transparência da água, a quantidade de oxigênio dissolvido na água, à concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas e a quantidade de biomassa de microrganismos presente nos efluentes (BRAGA et al., 2005).

Dentre esses fatores o oxigênio dissolvido é considerado extremamente importante. Por ser um elemento essencial à vida aquática, a concentração do oxigênio dissolvido no meio tem sido utilizada para a determinação do estágio de

depuração dos rios, sendo seu teor expresso em concentrações quantificáveis e passíveis de modelagem matemática (VON SPERLING, 1996).

Assim, de acordo com a quantidade de oxigênio dissolvido, o fenômeno da autodepuração dos corpos d'água pode ser dividido em duas etapas: a decomposição e a recuperação (BRAGA et al., 2005), onde a decomposição é o consumo de oxigênio e a recuperação é a introdução deste no corpo d'água. De acordo com Von Sperling (1996) a recuperação é influenciada pelas características hidráulicas do curso de água, e a partir dessas duas etapas é possível quatro zonas de sucessão, como mostra a Figura 1, as quais descrevem todo o processo autodepurativo ao longo do rio, após o lançamento da carga de poluição.

Figura 1- Principais zonas de autodepuração.



Fonte: Braga et al., 2002.

Para a quantificação do impacto de lançamento de efluentes no corpo hídrico, Von Sperling (1996) afirma que existem modelos matemáticos simplificados que descrevem o fenômeno da autodepuração, que levam em conta o balanço de oxigênio dissolvido e as características hidráulicas do rio.

3.2. Oxigenação e Desoxigenação de Corpos Hídricos

3.2.1. A cinética da desoxigenação

Segundo Von Sperling (1996), o principal efeito ecológico advindo da poluição orgânica em curso d'água é a diminuição dos teores de oxigênio dissolvido. O

principal parâmetro utilizado na cinética de desoxigenação é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que tem por finalidade medir a quantidade de oxigênio consumida no meio. Geralmente, utiliza-se o conceito de DBO padrão ($DBO_5^{20^\circ C}$) que é a DBO expressa após o quinto dia de incubação à temperatura constante de $20^\circ C$. Porém, para melhor caracterização das condições de desoxigenação, é necessário avaliar o consumo de oxigênio em diferentes dias. Matematicamente, a cinética da desoxigenação se dá em uma reação de primeira ordem, ou seja, a taxa de mudança da concentração de uma substância é proporcional à primeira potência da concentração, onde a equação de progressão é expressa na forma diferencial:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 \cdot L \quad \text{Eq.(1)}$$

Em que:

L = Concentração de DBO remanescente (mg/L);

t = tempo (dia);

K_1 = Coeficiente de desoxigenação.

A Equação 1 mostra que a taxa de oxidação de matéria orgânica (dL/dt) é proporcional à matéria orgânica ainda remanescente (L), em um tempo t qualquer. Sendo assim, quanto maior for a concentração de DBO, mais rápido ocorrerá o processo de desoxigenação.

Ao integrar a equação 1, entre os limites $L=L_0$ e $L= L_t$, e $t = 0$ e $t = t$, temos a seguinte equação:

$$L = L_0 \cdot e^{-K_1 \cdot t} \quad \text{Eq.(2)}$$

Em que:

L = DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg/L);

L_0 = DBO remanescente em $t = 0$ (mg/L)

Para obter a DBO exercida em um tempo t qualquer (oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica num dado instante), basta obter a diferença entre

a DBO remanescente em t=0 e a DBO remanescente em t qualquer. A Equação 3 expressa essa diferença:

$$y = L_0(1 - e^{-K_1 t}) \quad \text{Eq.(3)}$$

Em que:

y = DBO exercida em um tempo t (mg/L). Note-se que $y = L_0 - L$;

L_0 = DBO remanescente, em t = 0.

3.2.2. Coeficiente de desoxigenação (K_1)

Sperling (1996, p.154), afirma que “o valor do coeficiente de desoxigenação (K_1) depende das características da matéria orgânica, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras”. Este ainda afirma que efluentes tratados apresentam uma taxa de degradação mais lenta devido à remoção da matéria orgânica mais assimilável pelo tratamento no qual o efluente foi submetido, restando a parcela que não se estabilizou durante o tratamento.

A tabela a seguir mostra valores médios de K_1 obtidos em laboratório:

Tabela 1-Valores típicos de K_1 a 20 °C

Origem	K_1 (dia ⁻¹)
Esgoto bruto concentrado	0,35-0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40
Efluente primário	0,30-0,40
Efluente secundário	0,12-0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08-0,20

Fonte: Von Sperling (1996) adaptado de Fair et al (1973) e Arceivala (1981).

Almeida (2013), em sua pesquisa sobre as condições de oxigenação e desoxigenação de um rio no município de Uberlândia, reportou valores de K_1 determinados por Chin (2006) e Gray (2004), como descritos nas tabelas 2 e 3 a seguir:

Tabela 2- Valores típicos de K_1 a 20 °C (CHIN, 2006).

Tipo de Água	$K_1(\text{dia}^{-1})$
Água residuária não tratada	0,35-0,70
Água residuária tratada	0,10-0,35
Rio poluído	0,10-0,25
Rio não poluído	<0,005

Fonte: Almeida (2013)

Tabela 3- Valores típicos de K_1 a 20°C (GRAY, 2004).

Corpo d'água	$K_1(\text{dia}^{-1})$
Rios de baixa poluição	0,04-0,08
Efluentes tratados biologicamente	0,06-0,10
Efluentes tratados parcialmente	0,12-0,22
Resíduos não tratados	0,15-0,28

Fonte: Almeida (2013)

Segundo Sperling (1996), existem processos matemáticos e estatísticos usados para determinação do coeficiente de desoxigenação (K_1) a partir de análises laboratoriais em amostras de água. Os dados de entrada para utilização de tais métodos são valores de DBO exercidos há vários dias como 1, 2, 3, 4 e 5 ou 1, 3, 5, 7 e 9 ou mais dias. Para obtenção de K_1 a partir de métodos estatísticos, deve-se ter valores de t e $DBO(y)$, em duas colunas e, no módulo de regressão não linear entrar com a Equação 3, solicitando a estimativa dos parâmetros L_0 e K_1 . Para tal procedimento pode-se utilizar a ferramenta Solver, do Excel. Em sua obra, Sperling ainda cita os seguintes métodos para determinação de K_1 :

- Método dos mínimos quadrados, de Reed-Therriault;
- Método da inclinação, de Thomas (1937);
- Método dos momentos, de Moore, Thomas e Snow (1950);
- Método de Thomas (Metcalf & Eddy, 1981);
- Método da diferença de logaritmos, de Fair (1936).

3.2.3. A cinética de reaeração

De acordo com Sperling (1996), quando a água entra em contato um gás, ocorre uma contínua transferência de moléculas da fase gasosa para a fase líquida e vice-versa. Quando a concentração de solubilidade na fase líquida é atingida ocorre um equilíbrio no processo de transferências das moléculas chamado de concentração de saturação do gás na fase líquida. Caso haja algum consumo dos gás dissolvido na fase líquida, o fluxo de transferência ocorre no sentido gás-líquido, com o intuito de restabelecer o equilíbrio. A partir daí tem-se o conceito de reaeração atmosférica. Durante o processo de estabilização da matéria orgânica ocorre um maior consumo de oxigênio dissolvido, o que faz com que esse fique abaixo da saturação. Devido a esse fenômeno, há uma maior passagem do oxigênio atmosférico para a massa líquida. Esse processo caracteriza a cinética da reaeração.

Segundo Penteado (2009), assim como a cinética da desoxigenação, a cinética da reaeração também pode ser descrita como uma reação de primeira ordem, como mostra a equação 4:

$$\frac{dD}{dt} = -K_2 \cdot D \quad \text{Eq.(4)}$$

Em que:

D = Déficit de oxigênio dissolvido, ou seja, diferença entre concentração de saturação (C_s) e a concentração de oxigênio (mg/L) existente em um tempo t (C);

t = Tempo (dia);

K_2 = Coeficiente de reaeração (dia^{-1}).

A Equação 4 mostra que a taxa de absorção de oxigênio é diretamente proporcional ao déficit existente. Sendo assim, quanto maior o déficit, maior será a taxa de transferência de oxigênio. Integrando a referida equação com os limites $D = D_0$ e $t = 0$, obtemos a Equação 5:

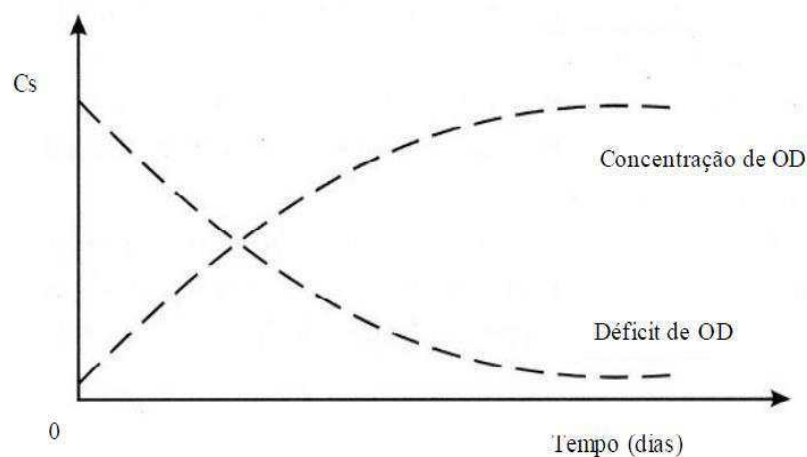
$$D = D_0 \cdot e^{-K_2 t} \quad \text{Eq.(5)}$$

Em que:

D_0 = Déficit de oxigênio inicial (mg/L).

A figura 3 ilustra a progressão temporal da concentração e do déficit de oxigênio dissolvido na massa líquida:

Figura 2-Progressão temporal da concentração e do déficit de OD.



Fonte: Von Sperling, (1996).

3.2.4. Coeficiente de reaeração superficial (K_2)

As características geométricas do rio e sua profundidade são fatores determinantes para obtenção do coeficiente de reaeração superficial. Segundo ALMEIDA (2013), corpos d'água de baixa profundidade e alta velocidade apresentam valores elevados de K_2 , já corpos d'água que apresentam altas profundidades e baixa velocidade apresentam valores menores de K_2 .

Existem vários métodos para determinação do coeficiente de reaeração, entre eles, podemos citar o balanço de oxigênio dissolvido, uso de traçadores inertes, análise da produtividade de oxigênio entre outros. Além da empregabilidade de métodos, outra forma de obter valores de K_2 é através de valores pré-estabelecidos pela literatura como apresenta a Tabela 4:

Tabela 4-Valores típicos de K_2 a 20°C (Fair et al. 1973; Arceivala, 1981)

Corpo d'água	$K_2(\text{dia}^{-1})$	
	Profundo	Raso
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagarosos, grandes rios	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	>1,15	>1,61

Fonte: Von Sperling (1996).

Outra forma para estimar valores de K_2 é a utilização de equações empíricas que estabelecem a relação dos coeficientes de reaeração com as características hidráulicas do curso do rio ou com a vazão do mesmo. A Tabela 5 apresenta as equações que relacionam K_2 com a profundidade e a velocidade d'água:

Tabela 5- Equações empíricas para determinação de K_2 .

Pesquisador	Modelo	Faixa de aplicabilidade
		$0,6 \text{ m} \leq H < 4,0 \text{ m}$
O'Connor e Dobbins (1958)	$K_2 = 3,93 \cdot v^{0,5} \cdot H^{1,5}$	$0,05 \text{ m/s} \leq v < 0,8 \text{ m/s}$
		$0,6 \text{ m} \leq H < 4,0 \text{ m}$
Churchill et al. (1962)	$K_2 = 5,0 \cdot v^{0,97} \cdot H^{1,67}$	$0,8 \text{ m/s} \leq v < 1,5 \text{ m/s}$
		$0,1 \text{ m} \leq H < 6,0 \text{ m}$
Owens et al. (1964)	$K_2 = 5,3 \cdot v^{0,67} \cdot H^{1,85}$	$0,05 \text{ m/s} \leq v < 1,5 \text{ m/s}$

Fonte: Sperling, (1996). Em que: v = velocidade do curso d'água (m/s), H = altura da lâmina d'água (m).

Outras equações empíricas foram desenvolvidas posteriormente. Essas levam em consideração outros parâmetros. As tabelas a seguir mostram respectivamente as equações de Tsvoglou & Wallace (1972) que determinam K_2 utilizando a

declividade como parâmetro e as equações de Melching & Flores (1999) que usa como parâmetros a vazão, a largura do rio e a altura da lâmina de água:

Tabela 6-Equações de Tzivoglou e Wallace, 1972.

Curso d'água	Modelo	Faixa de aplicabilidade
Rios pequenos	$K_2 = 31,6.v.i$	Q entre 0,03 e 0,3 m ³ /s
Rios médios	$K_2 = 15,4.v.i$	Q entre 0,03 e 8,5 m ³ /s

Fonte: Almeida, 2013. Em que: v = velocidade (m/s); i = declividade do curso (m/Km)

Tabela 7-Equações de Melching e Flores (1999) para determinação de K_2 .

Curso d'água	Vazão (m ³ /s)	Modelo
Rios com poços e corredeiras	Q < 0,556 m ³ /s	$K_2 = 517. (v.i)^{0,524} . Q^{-242}$
	Q > <0,556 m ³ /s	$K_2 = 596. (v.i)^{0,528} . Q^{-136}$
Rios com controle de canal	Q < 0,556 m ³ /s	$K_2 = 88. (v.i)^{0,313} . Q^{-353}$
	Q > <0,556 m ³ /s	$K_2 = 142. (v.i)^{0,333} . H^{0,660} . B^{-243}$

Fonte: Almeida, 2013. Em que: v = velocidade (m/s); i = declividade do curso (m/Km); Q = vazão do rio (m³/s); B a largura do rio (m); H a altura da lâmina d'água (m)

Almeida (2013), em estudo sobre condições de oxigenação e desoxigenação de um trecho do Rio Uberabinha (MG) estimou valores de K_2 em diferentes pontos e em vários meses do ano através da aplicação de algumas equações empíricas supracitadas. Para a equação de O'Connor e Dobbins (1958) o autor encontrou valores entre 0,99 a 1,07 dia⁻¹. Para a equação de Melching e Flores (1999) os valores encontrados variam de 1,76 a 2,27 dia⁻¹. Para a equação de Owens et al. (1964) os valores variaram de 20,17 a 42,19 dia⁻¹. A relevante diferença entre os valores está relacionada à diferença das condições hidráulicas dos diferentes pontos analisadas e a diferença nos parâmetros adotados pelas equações.

Barros et al. (2011) estimou valores para o coeficiente de reaeração em um trecho do rio Turvo Sujo (MG) em distintos períodos através de vários métodos, entre eles a aplicação das equações empíricas de O'Connor e Dobbins (1958) e

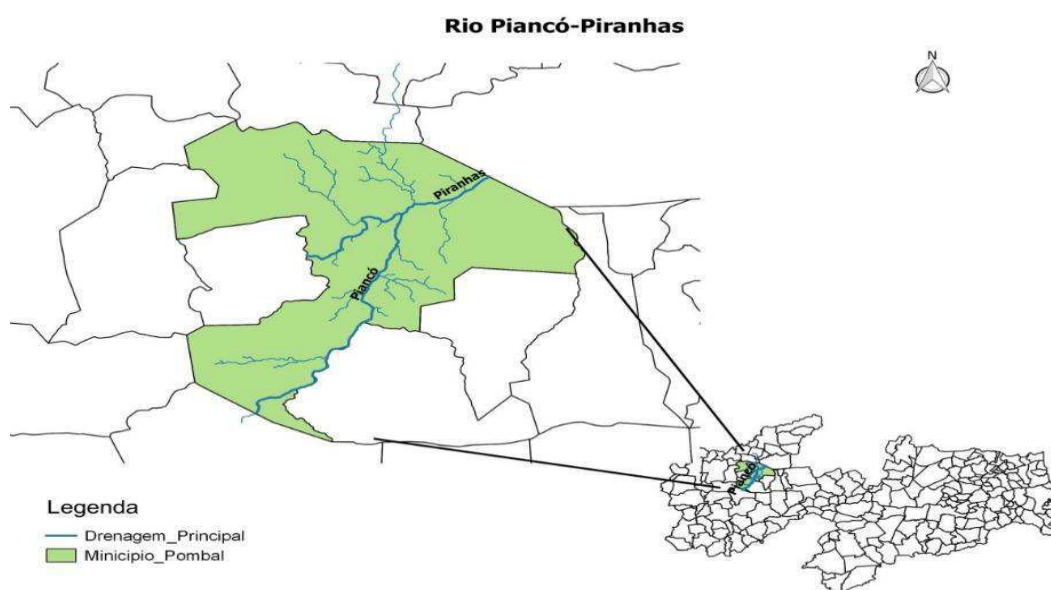
Owens et al. (1964), onde encontrou valores de K_2 variando de 4,97 a 6,64 dia^{-1} e 8,32 a 11,34 dia^{-1} , respectivamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Descrição da Área de Estudo

Este estudo foi realizado em um trecho do rio Piancó-Piranhas-Açu, no município de Pombal-PB, que pertence à bacia do rio Piancó, situada no Nordeste do Brasil, pertencente ao território dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba e possui uma área total de drenagem de 43.681,50 Km^2 . A figura 3 ilustra a localização do rio no município de Pombal-PB.

Figura 3- Localização do Rio Piancó-Piranhas-Açu no município de Pombal



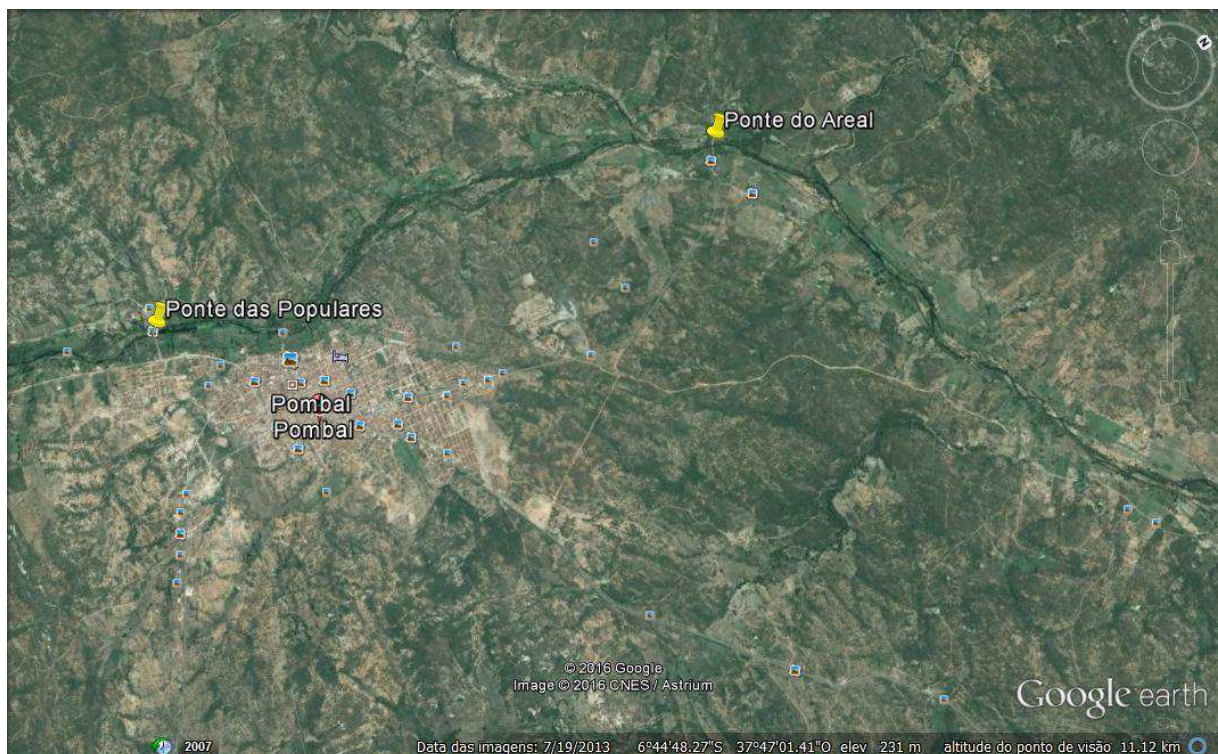
Fonte: a autora.

4.2 Etapas Metodológicas

Para avaliar a autodepuração do trecho perenizado do rio Piancó foram determinadas as variáveis de entrada do modelo Streeter & Phelps. Para isso, determinaram-se as características hidráulicas e foram realizadas análises físico-

químicas da água deste trecho do rio. Foram delimitados dois pontos de amostragem para determinação e quantificação dos parâmetros requeridos. Os pontos escolhidos foram antes e depois do ponto do lançamento de efluentes não tratados, respectivamente. A figura 4 indica a localização destes pontos dentro da área da bacia.

Figura 4 - Localização dos pontos de coleta ao longo do trecho analisado.



Fonte: Google Earth

4.2.1 Determinação das características hidráulicas do rio

A batimetria foi realizada medindo-se a largura total da seção transversal do rio e, a cada 2 m, obteve-se a profundidade, com esse procedimento pôde-se calcular as áreas parciais (para cada profundidade) e, pela soma delas, a área total da seção.

Para calcular a velocidade do fluxo de água mediu-se uma distância de 4 metros e em seguida, posicionou-se um corpo flutuante no marco zero;

cronometrou-se o tempo para que o corpo percorresse toda a distância. O procedimento foi realizado em triplicata e foi calculada a média dos valores obtidos. A equação a seguir mostra como a velocidade foi obtida:

$$V_m = \frac{d}{t} \quad \text{Eq.(6)}$$

Em que:

V_m = Velocidade média da água (m/s);

d = Distância (m);

t = Tempo (s)

A vazão foi determinada a partir dos dados obtidos de área e velocidade. A equação a seguir descreve o procedimento:

$$Q = A \cdot v_m \quad \text{Eq.(7)}$$

Em que:

Q = Vazão (m³/s)

4.2.2 Monitoramento da qualidade da água

As amostras de água foram coletadas em frascos de polipropileno, boca larga, com tampa plástica, bem ajustada, capacidade de 300 ml, previamente esterilizados e condicionadas adequadamente. A coleta foi realizada em pontos medianos em relação à largura do corpo hídrico e contrários ao seu fluxo.

Os parâmetros analisados foram: temperatura da água, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), verificados *in lócus* utilizando o equipamento portátil SENSO DIRECT 150, e DBO₅ que foi determinada no Laboratório de Hidrologia da UFCG/CCTA seguindo as recomendações

metodológicas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, publicação da American Public Health Association (APHA, 1998).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão descritos os resultados obtidos a partir das campanhas realizadas. Serão apresentados valores médios de oxigênio dissolvido, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, pH. Além desses serão apresentados os valores para coeficientes de desoxigenação (K_1) e oxigenação (K_2), valores de vazão, profundidade e velocidade média do curso d'água para os dois pontos que foram adotados para realização de todas as análises supracitadas.

A tabela 8 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros de qualidade da água observados nos meses de Janeiro/2016 à Abril/2016.

Tabela 8 - Valores encontrados para Parâmetros Analisados.

Campanhas	T °C	OD mg/L	DBO ₅ mg/L	pH
Jan/2016	30,7*	12,7	1,5	8,06
Fev/2016	27,8**	10,5	0,6	8,17
Mar/2016	31,7*	11,00	1,2	7,9
Abr/2016	31,1**	7,5	0,1	8,47

Fonte: Autora. * Dados referentes aos mesmos pontos de coleta (Janeiro e Março). ** Dados referentes aos mesmos pontos de coleta (Fevereiro e Abril).

De acordo com o manual da CETESB (2014), as variações de temperatura estão ligadas ao regime climático da região onde o corpo hídrico está inserido, além disso, pode apresentar variações sazonal e diurna. A temperatura manteve variação entre 30,7°C a 31,7°C nos meses de janeiro, março e abril, e nos mês de fevereiro apresentou uma temperatura pouco menos elevada provavelmente devido ao

horário de coleta. Condições usuais de temperatura aumentam a taxa de reaeração do corpo hídrico, o que favorece o processo de oxigenação do meio, já valores elevados fora da faixa usual desfavorece a solubilidade dos gases como oxigênio dissolvido, o que interfere diretamente no processo de autodepuração do rio. Os valores encontrados estão dentro da faixa normal de temperatura para a região onde o corpo hídrico estudado se encontra.

O oxigênio dissolvido é um parâmetro fundamental para quantificação dos efeitos causados pela poluição das águas superficiais. Em condições de quantidade suficiente de OD em rios, tem-se o equilíbrio natural do meio aquático. Sua solubilidade varia em relação à temperatura e altitude. Os valores obtidos mostram condições normais e suficientes de OD, mesmo no ponto posterior ao lançamento de esgoto.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pode ser entendida como sendo a quantidade de oxigênio consumida durante um determinado tempo, sob uma temperatura de incubação específica. De acordo com Alves (2009), quanto maior a DBO maior o grau de poluição das águas. Os valores obtidos para DBO_5 mostraram-se dentro do padrão estabelecido pela resolução CONAMA nº 357 para rios de água doce que é inferior a 5 mg/L.

Segundo Sperling (1996), o potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons de hidrogênio no meio, o que pode indicar a condição de acidez do mesmo. Os valores encontrados para este parâmetro estão dentro da faixa aceitável estabelecida pela resolução CONAMA nº 357 para rios de água doce que está entre 6,0 a 9,0. Libânio (2005), afirma que um intervalo de pH entre 6,0 e 8,5, em água naturais de superfície, é ideal para manutenção da vida aquática.

Para a determinação do coeficiente de reaeração foi adotada a equação de O'Connor e Dobbins (1958) devido às condições de altura da e velocidade que se enquadraram apenas na faixa de aplicabilidade da referida equação. A tabela 9 mostra os valores obtidos para K_2 :

Tabela 9-Valores de K_2 para o trecho analisado

Campanhas	T(°C)	v(m/s)	H(m)	$K_2(\text{dia}^{-1})$	OD(mg/L)
Jan/2016	30,7	0,2429	0,66	3,4285	12,7
Fev/2016	27,8	0,1813	0,84	2,0630	10,5
Mar/2016	31,7	0,2553	1,46	1,0683	11
Abr/2016	31,1	0,2228	1,55	0,9173	7,5

Os valores de K_2 mostraram-se decrescentes ao longo dos meses para os dois pontos analisados. Esse decaimento pode está associado ao aumento do nível da água, pois o processo de reaeração superficial se torna mais lento em ambientes aquáticos cuja profundidade é mais elevada.

O coeficiente de desoxigenação (K_1) foi determinado com auxílio da ferramenta Solver, a partir da equação 10, tendo como dados de entrada os valores de DBO obtidos em laboratórios e os seus respectivos tempos de incubação.

Tabela 10-Valores de K_1 para o trecho analisado

Campanhas	T(°C)	DBO ₅ mg/L	$K_1(\text{dia}^{-1})$	OD mg/L
Jan/2016	30,7*	1,5	0,068307	12,7
Fev/2016	27,8**	0,6	0,12475	10,5
Mar/2016	31,7*	1,2	0,129587	11
Abr/2016	31,1**	0,9	0,08879	7,5

Os valores de coeficiente de desoxigenação obtidos a partir da interação pelo Solver, mostram-se coerentes em relação às condições gerais de uso do rio. Segundo Almeida (2013), valores 0,04 a 0,08 são típicos para rios não poluídos, e valores entre 0,08 a 0,20 são típicos de rios com água limpa. Os valores de K_1 apresentaram a mesma variação nos diferentes meses analisados para os dois pontos estudados. Essa diferença não indicou condições de desequilíbrio do corpo

hídrico, e pode estar associada à frequência de precipitações ao longo dos 4 meses de estudo, que foi mais acentuada nos meses de janeiro e abril.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores estimados para os coeficientes de desoxigenação através da interação da ferramenta Solver mostram-se satisfatórios e coerentes com os valores presentes na literatura, variando de 0,06 a 0,12, o que indica baixo grau de poluição.

A estimativa dos valores dos coeficientes de reaeração superficial apresentou resultados condizentes com os tabelados para as condições de altura (H) e velocidade (v) similares às obtidas nesse estudo, variando de 0,9 a 3,4.

Os valores de oxigênio dissolvidos medidos ao longo do trecho sugerem condições de equilíbrio do meio aquático e, conseqüentemente, uma grande eficiência no processo de autodepuração do rio estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. S. M. **Condições de oxigenação e desoxigenação de um trecho do rio Uberabinha no município de Uberlândia.** Dissertação de Mestrado. Uberlândia: UFU, 2013.

ALVES, E. C. R. F. **Monitoramento quali-quantitativo da bacia hidrográfica do Rio Coxipó- MT:** Uma ferramenta para implementação da Gestão Participativa dos Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Cuiabá: UFMT, 2009.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater.** 20th ed. Washington: American Public Health Association. 1998.

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; ASTONI, D. Balanço de oxigênio no Rio Turvo Sujo-MG em diferentes épocas do ano. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v-19, n.1, p.72-80. 2011.

BRAGA, B. et. al. **Introdução à engenharia ambiental.** São. Paulo: Prentice Hall - 1ª edição, 2002.

BRAGA, B. et. al. **Introdução à engenharia ambiental.** São. Paulo: Prentice Hall - 2ª edição, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade.** Apêndice D. Série Relatórios. São Paulo, 2014. 46p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 375 de 17 de março de 2005.** Brasília - DF. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> > Acesso em 04 de abril de 2016.

CORRÊIA, T. S.; ARAÚJO, R. R.; SILVA, M. A. Capacidade autodepurativa do Córrego do Limoeiro após lançamento de efluente tratado. **XI Fórum Ambiental da Alta Paulista.** São Paulo, v. 11, n. 6, p. 310-325,2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas, SP: Editora Átomo, 2005.

NUNES, D. G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do rio Turvo Sujo.** Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV: 2008.

PENTEADO, E. D. **Modelagem da qualidade da água do rio Monjinho utilizando o modelo QUAL2E: ênfase em matéria orgânica.** Trabalho de Conclusão de Curso. São Carlos, UFSC, 2009.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: UFMG. 3. ed., v. 1, 452 p. 1996.