

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**LAURA CAROLINA CRUZ DINIZ**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CHORUME PRODUZIDO PELO  
ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE DE PONTA GROSSA NA  
QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO CARÁ-CARÁ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2016**

**LAURA CAROLINA CRUZ DINIZ**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CHORUME PRODUZIDO PELO  
ATERRO SANITÁRIO DA CIDADE DE PONTA GROSSA NA  
QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO CARÁ-CARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Química, do Departamento  
Acadêmico de Engenharia Química, da  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ciro Maurício  
Zimmermann

**PONTA GROSSA**

**2016**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Avaliação do impacto do chorume produzido pelo aterro sanitário da cidade de Ponta Grossa na qualidade das águas da bacia do Rio Cará-cará

por

Laura Carolina Cruz Diniz

Monografia apresentada no dia 08 de novembro de 2016 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

---

---

Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Ciro Maurício Zimmermann  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Priscilla dos Santos Gaschi Leite  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente, estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e da minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus, que possibilitou que todas essas experiências fossem vividas, abençoadas, finalizadas e, principalmente por tornar esse sonho possível. Agradeço também a minha família, que esteve presente todo o tempo dando força, suporte e motivação para enfrentar esta longa e difícil caminhada e, acima de tudo, por nunca me deixar desistir. Deixo a vocês aqui toda a minha imensa gratidão.

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Ciro Maurício Zimmermann, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória e também por toda dedicação, paciência, suporte e ensinamentos que me fizeram chegar à reta final. Agradeço também aos meus amigos, amigos que a universidade me deu e os quais levarei para o resto da minha vida, que me apoiaram durante todo este tempo e que dividi momentos de alegrias e tristezas.

Por fim, agradeço a todos os que me forneceram suporte e aprendizados, e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

DINIZ, Laura Carolina. **Avaliação do chorume produzido pelo aterro sanitário da cidade de Ponta Grossa na qualidade das águas da bacia do Rio Cará-cará.** 2016. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

Atualmente, uma das principais causas dos impactos ambientais está relacionada aos resíduos sólidos gerados pela sociedade que, em fase de decomposição produzem um líquido escuro composto por alta carga poluidora de matéria orgânica e metais pesados, denominado por chorume. O aterro sanitário do município de Ponta Grossa é responsável pelo tratamento dado ao chorume produzido pelo mesmo, lançando-o em seguida no solo, onde atinge um afluente da bacia hidrográfica do Rio Cará-cará, conhecido como Arroio Modelo. A falta de informação e pesquisa dos níveis de comprometimento em que essas águas estão submetidas traz a necessidade de análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do corpo receptor, sendo possível avaliar o estado de conservação da bacia. Nesse contexto, o objetivo geral foi avaliar o impacto causado pelo chorume na qualidade das águas da bacia do Rio Cará-cará, por meio do uso de ferramentas estatísticas e ambientais, medindo o Índice de Qualidade das Águas (IQA) e comparando-o aos valores estabelecidos pela legislação vigente CONAMA 357/05, que relaciona a classificação dos corpos hídricos e o enquadramento das águas de acordo com o uso em que podem ser empregadas. Foram selecionados três pontos para estudo e os resultados obtidos se apresentaram em desconformidade com a legislação atual vigente para rios de classe 2, que é o caso da bacia em questão, classificada nessa categoria por órgão regulamentador competente. Notou-se o comprometimento das águas principalmente no ponto selecionado próximo ao aterro sanitário, local que recebe primeiramente o chorume proveniente do aterro e o qual obteve os resultados mais significativos se comparado com os demais, colocando em risco a saúde da população ribeirinha, em relação a doenças vinculadas ao corpo hídrico. Os demais pontos monitorados apresentaram uma melhora devido ao processo natural de autodepuração do rio, porém as águas continuam comprometidas e não sendo apropriadas para o abastecimento público, caso não haja um tratamento adequado. Com isso, as análises comprovam que há falhas no tratamento dado ao chorume formado no aterro, sendo possível alertar a comunidade e sensibilizar os gestores no sentido de buscar ações que visam reduzir os índices de contaminação.

**Palavras-chave:** Aterro Sanitário. Chorume. Rio Cará-cará. CONAMA 357/05. Índice de Qualidade das Águas (IQA).

## ABSTRACT

DINIZ, Laura Carolina. **Evaluation of the impact of leachate, produced by landfill of the city of Ponta Grossa, in the quality of water in the basin of the Cará-cará River.** 2016. 68p. Final Year Project (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2016.

Nowadays, one of the main causes of environmental impacts is related to solid residuals generated by society and, this residuals, in decomposing phase produce a dark liquid which is mainly composed by a high amount of polluting organic material and heavy metals, called leachate. The landfill of Ponta Grossa, Paraná is responsible for treatment of the leachate produced by itself, throwing it on the soil where it reaches a tributary of river Cará-Cará hydrographic basin, known as Arroio Modelo. The absence of information and research of commitment levels which these waters are submitted brings the need for an analysis of physic-chemical and microbiological parameters of the receiver body, which makes possible to evaluate the conservation status of the basin. Having this background, the main goal was to appraise the impact caused by the leachate on the water quality in basin of Cará-cará river by using statistics and environmental tools, measuring the Water Quality Index (WQI) and correlating it to the values established by current legislation, CONAMA 357/05, that relates the classification of water bodies and the environment of water according to the use that can be employed. Three points were selected for the study and the results showed a contravention of the current legislation for rivers that belong to category 2, which is the case of the basin, that was previously classified in this category for the appropriate regulatory agency. The water condition was mainly critical on point selected next to the landfill, first area to receive the leachate coming out of the landfill and, at this point, the results were the most significant compared to the other points, endangering the health of local populations, for example, with diseases related to the body water. The other points monitored indicated an improvement due to the natural process of self-purification of the river but the water is still not indicated for public supply if there is no appropriated treatment. Thus, the analysis demonstrates that there are flaws in the treatment given to the leachate in the landfill, which makes possible to alert the community and sensitize managers to pursue actions focused at reducing infections rates.

**Keywords:** Landfill. Leachate. Cará-cará River. CONAMA 357/05. Water Quality Index (WQI).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de um aterro sanitário .....	23
Figura 2 – Lixão do Botuquara, 1995 .....	24
Figura 3 – Construção da célula sanitária do Aterro do Botuquara, em 2007 .....	25
Figura 4 – Extensão da área do Pré-Assentamento Emiliano Zapata.....	28
Figura 5 – Exemplo do formato de um gráfico box-plot.....	29
Figura 6 – Mapa esquemático com os pontos 1 e 2, no Arroio Modelo.....	36
Figura 7 – Mapa esquemático do ponto 3, no Rio Cará-cará .....	37
Figura 8 – Parâmetros aquáticos determinados nos três pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Cará-cará, durante o período de amostragem .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas de ponderação e categoria da qualidade das águas .....	31
Tabela 2 – Parâmetros e pesos relativos do IQA .....	53
Tabela 3 – Valores de IQA calculados para o ponto 1 .....	54
Tabela 4 – Valores de IQA calculados para o ponto 2 .....	55
Tabela 5 – Valores de IQA calculados para o ponto 3 .....	55
Tabela 6 – Valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos durante coleta mensal nos três pontos de amostragem .....	68

## LISTA DE SIGLAS

APHA	American Public Health Association
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FT	Fósforo Total
HNO <sub>3</sub>	Ácido Nítrico
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICZ	Instituto de Metais Não Ferrosos
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQR	Índice de Qualidade do Aterro Sanitário
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MST	Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra
NMP	Número Mais Provável
N(NH <sub>3</sub> )	Nitrogênio Amoniacal
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NSF	National Sanitation Foundation
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
OMS	Organização Mundial da Saúde
OD	Oxigênio Dissolvido
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de Polivinila
SO <sub>3</sub>	Trióxido de Enxofre
WQI	Water Quality Index

## LISTA DE ACRÔNIMOS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
COAMB	Coletânea em Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SUDERAHSA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 ÁGUAS URBANAS .....	15
2.2 CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE .....	16
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS E SUA DESTINAÇÃO FINAL .....	17
2.4 CHORUME .....	18
2.4.1 Metais Pesados .....	20
2.5 ATERROS SANITÁRIOS .....	21
2.5.1 Aterro Sanitário do Município de Ponta Grossa .....	23
2.6 COMUNIDADE EMILIANO ZAPATA.....	26
2.7 FERRAMENTAS DE ANÁLISE .....	28
2.7.1 Gráfico Box-Plot.....	28
2.7.2 Índice de Qualidade das Águas .....	29
2.7.2.1 Oxigênio Dissolvido.....	31
2.7.2.2 Coliformes Fecais .....	32
2.7.2.3 Potencial Hidrogeniônico .....	32
2.7.2.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	32
2.7.2.5 Temperatura da Água .....	33
2.7.2.6 Nitrogênio Total.....	33
2.7.2.7 Fósforo Total.....	34
2.7.2.8 Turbidez .....	35
2.7.2.9 Sólidos Totais.....	35
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
3.1 MATERIAIS.....	36
3.1.1 Pontos de Amostragem .....	36
3.1.2 Limpeza dos Materiais .....	37
3.1.3 Coleta e Tratamento das Amostras .....	38
3.2 MÉTODOS.....	39
3.2.1 Sólidos Totais .....	39
3.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	39
3.2.3 Nitrogênio Total Kjeldahl.....	40
3.2.4 Nitrogênio Amoniacal.....	40
3.2.5 Fósforo Total.....	40
3.2.6 Coliformes Fecais .....	40

3.2.7 Demanda Química de Oxigênio, Surfactantes e Nitrogênio de Nitrato .....	41
3.2.8 Metais Pesados .....	41
3.2.9 Análise de Dados.....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS .....	43
4.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS .....	52
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE A - Tabela dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados durante o período coleta, nos três pontos de amostragem.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das principais causas dos impactos ambientais está relacionada aos resíduos gerados pela sociedade. Com o crescimento desordenado da população causando maior demanda no consumo, a sociedade tem produzido quantidades significativas de resíduos sólidos, onde muitos deles recebem tratamento inadequado ou acabam tendo uma disposição final incorreta, prejudicando o meio ambiente e seus recursos naturais.

Os resíduos em fase de decomposição dispostos em lixões ou aterros são constituídos de substâncias orgânicas e inorgânicas que, após a percolação da água por esses resíduos, é formado um líquido escuro e de odor desagradável, conhecido como chorume ou lixiviado. O chorume é proveniente da decomposição da matéria orgânica e possui altas concentrações de sólidos suspensos e metais pesados originados da degradação de substâncias metabolizadas, como os carboidratos, proteínas e gorduras.

A composição do chorume é muito variável e depende desde as condições pluviométricas locais, até o tempo de disposição ou características do próprio lixo. Por apresentar substâncias altamente solúveis, esse líquido pode contaminar águas superficiais e caso haja infiltração no solo, há a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas próximas aos locais de sua formação, comprometendo a qualidade e utilização dessas águas.

Na cidade de Ponta Grossa, o primeiro depósito de resíduos sólidos urbanos ocorreu em 1969, na forma de lixão a céu aberto, sem nenhum controle sobre seus aspectos e impactos ambientais. Havia forte risco de contaminação de rios e arroios causada pelo lixão e como não era realizado o controle do material que entrava no depósito, havia a presença de resíduos industriais e hospitalares, aumentando os níveis de contaminação.

No ano de 2001, o lixão transformou-se em aterro controlado, conhecido como Aterro do Botuquara, devido à cobertura dos resíduos com terra, implantação de rede para drenagem do chorume e construção de poços de monitoramento. Porém, os resíduos ainda estavam em contato com o solo, resultando em contaminação. Alguns anos depois houve a construção de células sanitárias, contendo manta impermeabilizante e condições ideais de um aterro sanitário, diminuindo os riscos de contaminação pelo chorume no solo e nas águas

subterrâneas. Hoje em dia, o Aterro do Botuquara possui um sistema de tratamento que consiste de três lagoas de estabilização em série, onde o chorume é submetido à degradação microbiológica que, após passar pela última lagoa, é lançado no solo e atinge um arroio afluente do Rio Cará-cará.

O lançamento de chorume ao recurso hídrico deve atender obrigatoriamente aos padrões do seu corpo receptor, bem como as legislações vigentes. De modo a garantir e fiscalizar a integridade do meio ambiente e da saúde humana, existem órgãos fiscalizadores que cobram padrões limitantes de descarga de determinados compostos no corpo hídrico, onde os principais são a Resolução CONAMA 357/05 e a Resolução CONAMA 430/11, que estabelecem normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente.

Visando identificar a contaminação do chorume produzido pelo aterro sanitário de Ponta Grossa nas águas da bacia do Rio Cará-cará, o presente trabalho realiza um diagnóstico da qualidade dessas águas permitindo identificar potenciais contaminantes e o nível de comprometimento em que as águas estão submetidas. As análises físico-químicas e microbiológicas da bacia urbana possibilitam a visualização e quantificação dos parâmetros associados à sua qualidade, além de verificar se os mesmos atendem as resoluções ambientais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O despejo de lixo sem controle no Aterro do Botuquara durante muitos anos pode ter sido fonte de contaminação da bacia do Rio Cará-cará. Não há informações e pesquisas a respeito da qualidade e dos níveis de contaminação química e microbiológica em que essas águas estão submetidas, tornando ineficientes as ações que visam reduzir qualquer potencial poluidor. Além disso, existe uma comunidade de aproximadamente 150 famílias que habitam ao redor da bacia, onde muitas delas ainda não possuem acesso à água potável, podendo estar consumindo essas águas direta ou indiretamente.

O monitoramento e controle da qualidade das águas do corpo receptor permitem a análise do estado de conservação da bacia, bem como identificar qual o impacto que o chorume está causando em suas águas. Com isso, é possível avaliar se o consumo dessas águas está impactando na vida e saúde das famílias, além de

poder alertar e sensibilizar os gestores no sentido de buscar ações de redução da poluição e melhorias no sistema de tratamento dado ao aterro sanitário, pois se as águas estiverem comprometidas, pode significar que o chorume produzido pelo aterro não está recebendo o tratamento adequado. Buscar ações e melhorias irá resultar no aumento dos níveis de qualidade das águas e na proteção das populações ribeirinhas de doenças vinculadas ao corpo hídrico.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto poluente do chorume produzido pelo aterro sanitário de Ponta Grossa sobre a bacia do Rio Cará-cará.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer pontos de monitoramento para avaliação da poluição das águas da bacia do Rio Cará-cará.
- Analisar a qualidade das águas por meio de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, durante um período de cinco meses, com coletas mensais.
- Utilizar ferramentas estatísticas de análise ambiental para avaliação dos pontos críticos de contaminação da bacia do Rio Cará-cará.
- Classificar a qualidade dos afluentes analisados por meio do uso de ferramentas ambientais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ÁGUAS URBANAS

A água é um recurso natural de grande valor econômico, ambiental e social, que possui fundamental importância para os seres vivos e ecossistemas de nosso planeta. De acordo com Mota (1995), o desenvolvimento econômico e social de um país está diretamente relacionado à água de boa qualidade e na capacidade de conservação de seus mananciais.

Durante milhares de anos acreditou-se que a água era infinita devido a sua abundância na natureza. Atualmente, a má utilização desse recurso e a crescente poluição urbana e industrial, são alguns dos motivos que contribuem para a menor disponibilidade dos recursos hídricos, sendo a sua escassez, desencadeada principalmente pelo crescimento desordenado da população (RIANÇO, 2011).

O crescimento populacional seguido da urbanização acelerada levou para as cidades uma quantidade significativa de pessoas, resultando em uma crise do ambiente urbano em razão de efluentes sem tratamento e da poluição do ar. Essa densificação da população elevou os níveis de poluição doméstica e industrial, onde as condições ambientais se agravaram, resultando na poluição do ar e sonora, contaminação das águas subterrâneas, desenvolvimento de doenças, além de dificuldades na gestão dos resíduos sólidos e degradação dos recursos hídricos (TUCCI, 1997; FERNANDES; VIEIRA, 2008).

Tucci (2008) afirma que as águas urbanas englobam o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, drenagem urbana e gestão de sólidos totais, tendo como principais objetivos a saúde e a preservação do meio ambiente. A quantificação de poluentes que estão presentes nos corpos d'água é um elemento fundamental para qualquer ação que tenha como finalidade a conservação e o uso sustentável da água.

Os impactos resultantes da poluição no meio aquático dependem do tipo de poluente introduzido, de sua trajetória e do uso que se faz dos corpos de água. Os poluentes podem ser inseridos nesse meio através de fontes denominadas pontuais ou difusas. As pontuais são inseridas por lançamentos individualizados, como os que ocorrem no despejo de esgotos sanitários ou de efluentes industriais e podem

ser facilmente identificadas. As fontes difusas não possuem um ponto de lançamento específico e ocorrem nas margens dos rios, como as substâncias resultantes de campos agrícolas. Além disso, essas fontes não se originam de um ponto preciso de geração, como é o caso da drenagem urbana (BRAGA et al., 2005).

## 2.2 CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). Foi instituído pela Lei nº 6.938 em 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 99.274 de 1990. O principal instrumento do Conselho são suas Resoluções, que estabelecem normas, critérios e padrões relativos ao controle e a manutenção da qualidade do meio ambiente, visando o uso racional dos recursos ambientais em território brasileiro (CONAMA, 2012).

A Resolução CONAMA nº 357 instituída em 2005, é a atualização mais recente da Resolução CONAMA nº 20 de 1986, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos hídricos, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes. Os parâmetros químicos, físico-químicos e microbiológicos indicam o nível de qualidade da água e as classificam de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução. Para cada substância em determinada classe, há limites individuais determinados por esses padrões de qualidade (CONAMA, 2005).

A Resolução CONAMA nº 430 instituída em 2011, dispõe de propostas complementares à Resolução CONAMA 357/05, sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. A Resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores. O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deve estar de acordo com esta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário (CONAMA, 2011).

### 2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS E SUA DESTINAÇÃO FINAL

São considerados resíduos sólidos todos e quaisquer materiais resultantes de atividades humanas, podendo ser aproveitados para sua reciclagem ou reutilização. A denominação de “resíduo sólido” é usada para substituir o termo “lixo” e podem ser encontrados no estado sólido ou semi-sólido. Esses resíduos são provenientes de residências, indústrias, hospitais, comércio, serviços de limpeza urbana ou até mesmo da agricultura, sendo seu principal componente a matéria orgânica. Contudo, faz parte dos resíduos sólidos uma grande variedade de materiais recicláveis, sendo eles: papéis, vidros, plásticos, metais, entre outros (SIGNIFICADOS, 2016).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída no Brasil pela Lei nº 12.305 em 2010, dispõe da função de disciplinar a gestão dos resíduos sólidos, bem como determinar diretrizes relativas à gestão integrada e o gerenciamento desses resíduos. Essa Lei faz distinção entre o lixo que pode ser reciclado ou reaproveitado e o lixo perigoso, incentivando a coleta seletiva e a reciclagem em todos os municípios brasileiros (PNRS, 2010).

A destinação mais adequada para os resíduos sólidos é o aterro sanitário, onde o lixo é depositado de maneira planejada. Existem também, os aterros controlados, onde o lixo é depositado com critérios menos rígidos, mas com procedimentos obrigatórios. Já os lixões são considerados o sistema de destinação final do lixo fortemente prejudicial à saúde ambiental e humana, pois não possuem nenhum tipo de controle, seja no tipo de resíduo recebido ou nas medidas de segurança necessárias para evitar emissões de poluentes ao meio ambiente (LEITE; BERNARDES; SEBASTIÃO, 2004).

Atualmente, a maior parte dos problemas ambientais está relacionada aos resíduos sólidos gerados pela sociedade moderna e consumista. Com o fortalecimento do processo industrial, junto ao crescimento da população e à consequente demanda por bens de consumo, o homem tem produzido quantidades extremas de resíduos sólidos sem conhecimento de sua eliminação correta, incapaz de não gerar prejuízos para si mesmo e para o meio ambiente (LEITE; BERNARDES; SEBASTIÃO, 2004).

A disposição final dos resíduos sólidos constitui sérios problemas. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, 50,8% dos municípios

brasileiros ainda possuem lixões como método de disposição final dos resíduos, 22,5% são aterros controlados e 27,7% fazem a disposição em aterros sanitários (IBGE, 2010).

Em diversos países os resíduos sólidos urbanos são incinerados, podendo gerar energia além de reduzir o seu volume (BAIRD, 2002). Porém, aqueles que são inutilizáveis devem ser despejados em aterros sanitários, devido à alta concentração de metais pesados e outras substâncias perigosas presentes em sua composição. Quando dispostos, a estabilização dos resíduos sólidos urbanos ocorre através de etapas biológicas, sendo as principais a fase de degradação aeróbica e a fase de degradação anaeróbica (HO; CHOW, 2008; LU et al., 1985 apud COSTA; WIESINIESKI, 2013).

Durante o processo de decomposição dos resíduos, a umidade de constituição dos diferentes materiais que sobram, associada à umidade natural dos resíduos e a água resultante da chuva, formam o lixiviado (BIDONE, 1999; CASTILHO, 2003). Esse lixiviado, também conhecido por chorume, possui elevada carga de poluentes e ao entrar em contato com o solo ou com os corpos d'água, pode modificar suas características químicas e biológicas (LEITE; BERNARDES; SEBASTIÃO, 2004).

A contaminação dos solos, das águas superficiais e subterrâneas é decorrente da disposição inadequada dos resíduos, que além de causar contaminação, ocasionam na proliferação de doenças, influenciando de forma negativa na qualidade ambiental e na saúde da população (LEITE; BERNARDES; SEBASTIÃO, 2004).

## 2.4 CHORUME

O chorume, também conhecido como lixiviado ou percolado, é um líquido escuro e de odor nauseante gerado da decomposição dos resíduos depositados em aterros, possuindo altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos. Sua composição físico-química é variável e depende de fatores como o tempo de disposição, condições pluviométricas locais, características do próprio lixo e da influência da temperatura. Este percolado contém altas concentrações de sólidos

suspensos, metais pesados e compostos orgânicos decorrentes da degradação de substâncias que são metabolizadas, como por exemplo, carboidratos, proteínas e gorduras (BERTAZZOLI; PELEGRINI, 2002).

Devido ao alto nível de toxicidade e compostos solúveis que o chorume possui, o mesmo necessita de tratamento antes de ser lançado, pois pode contaminar as águas do subsolo nas proximidades do aterro. Quanto maior o tempo que a matéria orgânica fica aterrada, mais o chorume se torna complexo do ponto de vista da composição química e seu tratamento necessita de tecnologias mais avançadas para que atenda os parâmetros necessários e seja então, lançado nos corpos hídricos (PGIRS, 2013).

O chorume percolado pelo leito do aterro contamina o solo conforme as suas condutividades hidráulicas, contaminando principalmente os lençóis freáticos. No caso das contaminações das águas subterrâneas, não existe nenhuma possibilidade de autodepuração, sendo que a atenuação da contaminação só ocorre pela diluição. Nesses casos, e devido às altas concentrações de matéria orgânica, amônia e sais, os usos dos poços freáticos na área de influência dos lixões ou aterros, podem ficar totalmente inviabilizados (PASCHOALATO, 2000).

De acordo com Moraes, Sirtori e Peralta-Zamora (2006), no Brasil a forma de tratamento mais comum é de natureza biológica. O sistema de tratamento do lixiviado gerado no Aterro do Botuquara, em Ponta Grossa/PR, consiste de três lagoas de estabilização em série, onde o chorume é submetido à degradação microbiológica e, após passar pela terceira lagoa é lançado no solo, atingindo então, um arroio afluente do Rio Cará-cará.

O Instituto Ambiental do Paraná (IAP), uma entidade autárquica que foi criada para proteger, preservar, conservar, controlar e recuperar o patrimônio ambiental do estado impõe um sistema de tratamento adequado para o chorume que deve ser adotado pelos aterros sanitários. A especificação imposta diz que:

Deverá ser previsto um sistema de coleta e recirculação de chorume, com a finalidade de preservar o lençol freático de qualquer contaminação, por menor que venha a ser. O sistema a ser projetado deverá ser constituído de drenos de brita (inclusive geotêxtil e dreno flexível), implantados no fundo da vala, além de rede de tubos em PVC, que levarão o chorume drenado até um poço de captação, para armazenamento provisório do mesmo (IAP, 2016, p. 23).

Contudo, o sistema adequado de tratamento para o chorume ainda não é empregado no aterro sanitário do município de Ponta Grossa.

#### 2.4.1 Metais Pesados

O metal, do grego antigo *métalon* é um elemento químico caracterizado pela sua boa condutividade elétrica e pelo seu calor, apresentando uma cor prateada ou amarelada e uma dureza elevada. O metal é considerado altamente tóxico e, em determinadas quantidades torna-se prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente (ALVES, 2016).

Os metais pesados são elementos químicos de alto peso atômico e quando lançados no solo, na água ou no ar, podem ser absorvidos por vegetais e animais, provocando intoxicações na cadeia alimentar e doenças graves. Entre os mais perigosos e mais impactantes ao meio ambiente, destacam-se o cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn). Os problemas encontrados por esses metais são inúmeros. Além de prejudicar o meio ambiente, influenciam negativamente na vida humana. É cada vez maior o número de pessoas infectadas com doenças e problemas provenientes desses elementos, onde geralmente, atingem vários órgãos (PENSAMENTO VERDE, 2013).

O cádmio é um metal pesado que produz efeitos tóxicos nos organismos vivos, mesmo em concentrações muito pequenas. Normalmente a concentração de cádmio em águas não poluídas é inferior a  $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$  e sua descarga ao meio ambiente geralmente é por meio da queima de combustíveis fósseis e por descarte incorreto de baterias. As principais fontes de exposição ao cádmio são via oral e por inalação. A ingestão de alimentos ou água contendo altas concentrações de cádmio causa irritação no estômago, levando ao vômito, diarreia e, até a morte. As pessoas expostas por inalação são, principalmente, as fumantes, uma vez que esse elemento está presente na composição do cigarro (CETESB, 2009; CAPRONI, 2016).

O cobre, quando em excesso, é considerado o metal mais tóxico para o ser humano e animais. Sua concentração em águas naturais deve ser inferior a  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , uma vez que, acima desse valor torna-se letal para peixes e outros seres aquáticos. Suas principais fontes para o meio ambiente são por meio de lançamento

de efluentes e usos agrícolas do cobre, podendo causar intoxicações ao homem, com lesões no fígado (CETESB, 2009).

O cromo pode existir sob diferentes formas de oxidação e sua principal fonte para o meio ambiente é por processos industriais, onde o cromo IV é produzido e pode afetar o sistema imunológico dos seres humanos. Isso ocorre quando esgotos de indústrias não recebem o tratamento adequado e são despejados em leitos de rios, acabando por contaminar quem ingere as águas desses locais. O limite máximo de cromo permitido em águas potáveis é até  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ , acima desse valor o elemento torna-se tóxico e cancerígeno (CETESB, 2009; ALVES, 2016).

O níquel é um metal pesado considerado tóxico ao ser humano se ingerido em doses elevadas. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda um valor máximo permitido em águas potáveis de  $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$  e, sua maior contribuição antropogênica para o meio ambiente é por meio da queima de combustíveis, mineração e fabricação de alimentos. A principal fonte de exposição para a população é o consumo de água e alimentos e o efeito adverso mais comum da exposição ao níquel em quantidades elevadas é uma reação alérgica. Outros efeitos tóxicos do níquel são irritações gástricas e dermatites nos indivíduos mais sensíveis (CETESB, 2009).

O zinco é parte da natureza e está presente naturalmente no ar, água e solo. É transportado ao meio ambiente como resultado de processos naturais de erosão, incêndios de florestas, efluentes industriais e atividades biológicas. O limite máximo de zinco permitido em águas potáveis é de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  e só se torna prejudicial a saúde quando ingerido em doses muito elevadas, podendo acumular-se em outros tecidos do organismo humano. Para os animais, a deficiência de zinco pode resultar no atraso do crescimento (CETESB, 2009; ICZ, 2016).

## 2.5 ATERROS SANITÁRIOS

A utilização de aterros sanitários é uma técnica de disposição dos resíduos sólidos no solo, criada para evitar danos ou riscos à saúde e à segurança da população, minimizando os impactos ambientais. Esta técnica utiliza princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao

menor volume, cobrindo-os com uma camada de terra ao final do processo (IPT, 1995).

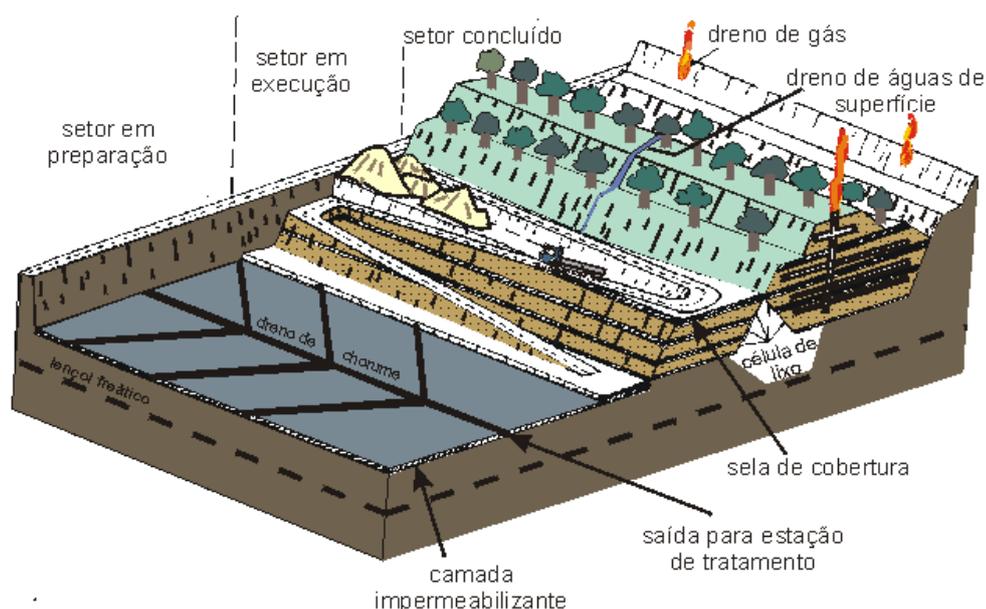
A configuração dos aterros sanitários geralmente consiste em: setor de preparação, setor de execução e setor concluído. Alguns aterros desenvolvem esses setores simultaneamente, sendo que os aterros de menor porte desenvolvem cada setor por vez (UNESP/IGCE, 2016).

Na preparação da área são realizados a impermeabilização e o nivelamento do terreno, as vias de circulação, além das obras de drenagem para captação do chorume para que, em seguida o mesmo seja encaminhado ao tratamento. As áreas limitadas do aterro devem apresentar uma cerca viva para evitar ou diminuir a proliferação de odores e a poluição visual. No setor de execução os resíduos sólidos são separados de acordo com suas características e depositados separadamente. Antes de serem depositados, os mesmos são pesados, com a finalidade de acompanhamento da capacidade de suporte do aterro. Os resíduos que produzem o chorume são geralmente revestidos por uma camada selante (UNESP/IGCE, 2016).

Após atingir a capacidade de disposição dos resíduos em um setor do aterro, este setor é revegetado e então os resíduos são depositados em outro. Os gases produzidos pela decomposição do lixo podem ser queimados ou tratados e o chorume deve ser captado. Isso deve ocorrer durante os trabalhos de disposição e após a conclusão de um setor. É necessário também serem realizadas obras de drenagem das águas pluviais (UNESP/IGCE, 2016).

Os setores concluídos devem ser monitorados continuamente para avaliar as obras de captação do chorume e de drenagem das águas, além de avaliar o sistema de queima dos gases e a eficiência dos trabalhos de revegetação. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), as técnicas de monitoramento utilizadas são: piezometria, poços de monitoramento, inclinômetro, marcos superficiais e controle de vazão (IPT, 1995). A figura 1 ilustra o esquema de um aterro sanitário.

**Figura 1 – Esquema de um aterro sanitário**



**Fonte: Proin/Capes e Unesp/IGCE (1999).**

### 2.5.1 Aterro Sanitário do Município de Ponta Grossa

Em 1930 construiu-se a Represa do Botuquara, onde suas águas de boa qualidade abasteceram a cidade de Ponta Grossa durante 30 anos, sendo a mesma desativada na década de 60. A caixa de distribuição de água era situada onde hoje é o aterro sanitário da cidade, de onde partiam os encanamentos passando pela fazenda Modelo, localizada próximo ao aterro, indo em direção ao centro da cidade (WALDMANN, 2013).

A implantação do depósito de resíduos sólidos urbanos na cidade de Ponta Grossa ocorreu em 1969. O método de disposição final era o lixão, conhecido como Lixão do Botuquara, ou seja, havia apenas o descarte dos resíduos, ficando a céu aberto. Sua localização situava a 11 quilômetros da sede do município, apresentando topografia e tamanho adequado. A coleta e a remoção eram realizadas pela Prefeitura Municipal de Ponta Grossa, sendo depois o serviço terceirizado. Na época havia forte risco de contaminação de arroios, contato com vetores e animais presentes, ocorrência de autocombustão decorrente da presença de metano, além do problema social devido à presença de catadores de materiais recicláveis (MROSK et al., 1992). O Lixão do Botuquara em 1995 pode ser visualizado na figura 2.

**Figura 2 – Lixão do Botuquara, 1995**



**Fonte: PMGIRS (2008).**

Não era feito nenhum tipo de controle do material que entrava no lixão, sem classificação de sua periculosidade, contendo resíduos industriais e hospitalares, ignorando assim os riscos do potencial contaminante. Estes fatos são decorrentes da inexistência de leis ambientais específicas em 1969, uma vez que sua regulamentação ocorreu posteriormente (PONTA GROSSA AMBIENTAL, 2002). Em 1995, a empresa responsável pelo serviço de coleta de resíduos domésticos de Ponta Grossa, começou a investir na adequação do lixão municipal, com pequenas ações de tratamento, como compactação dos resíduos e cobertura do lixo (PGIRS, 2013).

No ano de 2001 a empresa terceirizada responsável pela coleta de lixo na época, passou a transformar o lixão em aterro controlado, ou seja, o lixo era coberto por uma camada de terra. Foram construídos 26 drenos de chorume e 5 poços de monitoramento de água subterrânea, além de 3 lagoas de contenção de chorume, porém ainda havia contaminação, devido aos resíduos permanecerem em contato com o solo (PONTA GROSSA AMBIENTAL, 2002). Esse foi um processo de aperfeiçoamento progressivo da área de disposição de lixo da cidade, operando na faixa de transição entre o lixão e o aterro sanitário (PGIRS, 2013).

Entre os anos de 2005 e 2006 o aterro passou a receber somente resíduos urbanos e industriais não perigosos. Os resíduos industriais perigosos foram proibidos, e a área reservada para a disposição dos resíduos industriais foi desativada, assim como a vala de resíduos de serviços de saúde (PGIRS, 2013).

Em 2005 construiu-se a primeira célula sanitária do Aterro do Botuquara, contendo manta impermeabilizante, drenagem de gás e de chorume e instalação de novos poços de monitoramento, sendo essas, condições de um aterro sanitário que visa minimizar os riscos de contaminação do solo e da água subterrânea causada pelo chorume. Em 2007 foi instalada uma segunda célula sanitária, construída de acordo com as normas de engenharia, contendo impermeabilização, drenos de gás e de chorume (PMGIRS, 2008). Sua construção pode ser observada na figura 3.

**Figura 3 – Construção da célula sanitária do Aterro do Botuquara, em 2007**



**Fonte: PMGIRS (2008).**

O Aterro do Botuquara é considerado um passivo ambiental significativo em Ponta Grossa e apesar de já terem sido tomadas medidas para diminuir os impactos ambientais, os impactos causados nos anos anteriores não foram apagados totalmente. A deposição de lixos durante 47 anos no aterro de Ponta Grossa pode ser fonte de contaminação de bacias hidrográficas, inclusive das bacias do Rio Cará-cará, já que o mesmo possui afluentes próximos ao aterro (PGIRS, 2013).

Em 2013 realizou-se uma avaliação da área de disposição final dos resíduos, obedecendo aos critérios da CETESB. O valor do IQR (Índice de Qualidade do Aterro Sanitário) determinado foi de 4,7, correspondendo a condições inadequadas do aterro (PGIRS, 2013).

A bacia hidrográfica do Rio Cará-cará está localizada na parte central do município de Ponta Grossa/PR, abrangendo a porção leste e sudeste do perímetro urbano da cidade e parte da área rural do município. O Rio é afluente da bacia hidrográfica do Rio Tibagi e apresenta uma área de 102,18 km<sup>2</sup> (GODOY et al., 1994 apud FREITAS; CARVALHO, 2007). O Rio Cará-cará apresenta uma rede de drenagem densa e possui um afluente em sua margem esquerda denominado Arroio

Modelo, que recebe em suas nascentes todo o chorume produzido pelo aterro sanitário de Ponta Grossa.

De acordo com o Instituto das Águas do Paraná, todos os rios do município de Ponta Grossa – exceto o Arroio Ronda – são classificados como rios de classe 2 desde 1997, seguindo os parâmetros do CONAMA 357/05. A Resolução estabelece 4 classes de rio, cada um destinado para uma finalidade. Sendo assim, a bacia hidrográfica do Rio Cará-cará deve estar dentro dos limites estabelecidos para um rio de classe 2, onde suas águas podem ser destinadas para o abastecimento humano, após receber tratamento convencional. O quadro 1 apresenta os limites para um rio de classe 2, com parâmetros físico-químicos e microbiológicos, assim como os usos que se destinam (CONAMA, 2005).

**Quadro 1 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos para rios de classe 2**

Parâmetro	Res. CONAMA 357/05 Classe 2	Águas destinadas
Oxigênio Dissolvido	Acima de 5,0 mg.L <sup>-1</sup>	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca.
DBO <sub>5</sub>	Até 5,0 mg.L <sup>-1</sup>	
Coliformes Fecais	Até 1000 NMP/100 mL	
Turbidez	Até 100 UNT	
Nitrogênio Amoniacal	Até 3,7 mg.L <sup>-1</sup> N para pH ≤ 7,5	
Nitrogênio de Nitrato	Até 10 mg.L <sup>-1</sup> N	
Fósforo Total	Até 0,05 mg.L <sup>-1</sup>	
Sólidos Totais	Até 500 mg.L <sup>-1</sup>	
pH	6,0 – 9,0	
Cádmio	Até 0,001 mg.L <sup>-1</sup>	
Cobre	Até 0,01 mg.L <sup>-1</sup>	
Cromo	Até 0,05 mg.L <sup>-1</sup>	
Níquel	Até 0,025 mg.L <sup>-1</sup>	
Zinco	Até 0,18 mg.L <sup>-1</sup>	

Fonte: CONAMA (2005).

## 2.6 COMUNIDADE EMILIANO ZAPATA

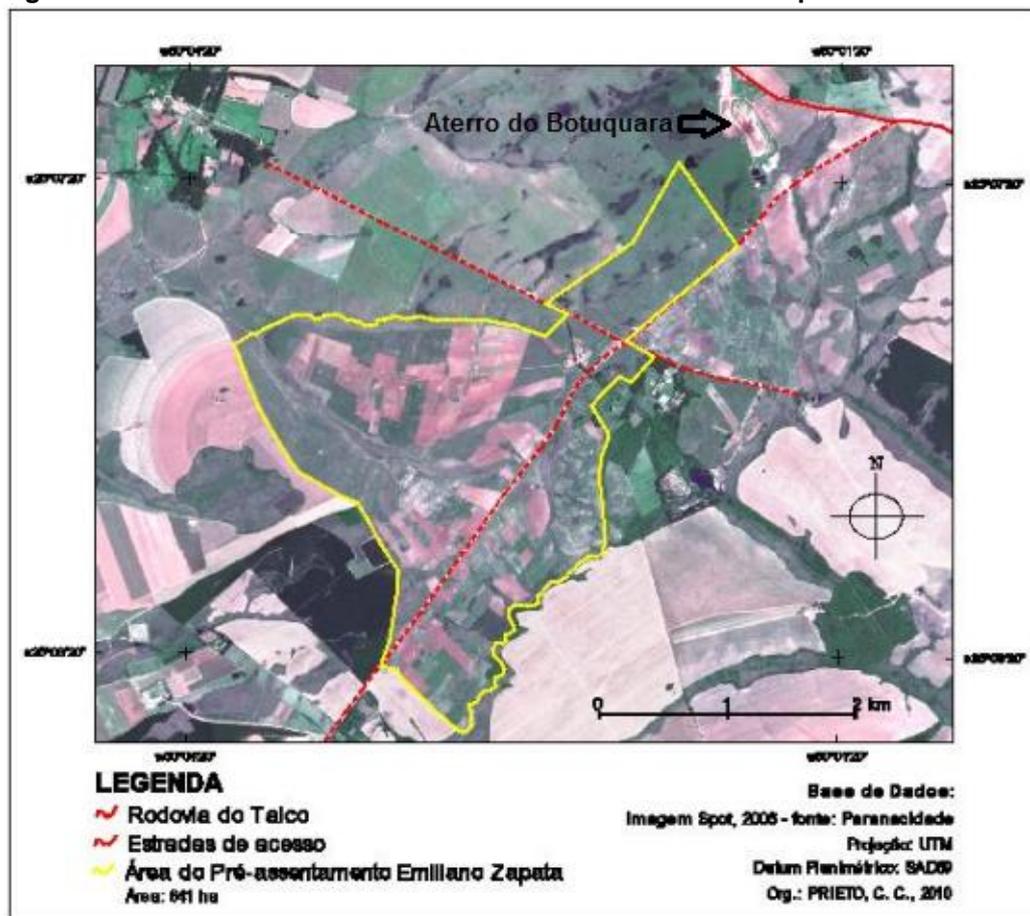
A Comunidade Emiliano Zapata constitui-se em um pré-assentamento situado na cidade de Ponta Grossa e está localizada no interior de uma Fazenda da

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a cerca de 12 quilômetros da sede do município. Esta área que possui 3600 hectares foi ocupada em maio de 2003 por aproximadamente 150 famílias que compunham o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), oriundas de cidades dos Campos Gerais e da região de Curitiba (FEDEL; PEREIRA; VALADÃO, 2013).

A fase de pré-assentamento da Comunidade Emiliano Zapata tem durado anos e mesmo que as famílias já estejam morando e produzindo neste local há 13 anos, os trâmites burocráticos do governo impedem sua consolidação legal. Desta forma, o acesso pelas famílias a maior parte das políticas públicas destinadas aos assentamentos e agricultura familiar é restrito (FEDEL; PEREIRA; VALADÃO, 2013).

Em 2015, houve uma reivindicação feita pelos representantes da Comunidade Emiliano Zapata devido à falta de água potável para cerca de 50 famílias desde o ano de 2003. Outra preocupação citada pelos representantes é a contaminação das águas subterrâneas e o mau cheiro provocado pelo Aterro do Botuquara localizado próximo a comunidade. A grande problemática é que se a qualidade das águas está comprometida, o consumo das famílias ali assentadas está sendo fortemente prejudicado (PORTAL COMUNITÁRIO, 2015). A extensão da área do pré-assentamento pode ser observada na figura 4.

Figura 4 – Extensão da área do Pré-Assentamento Emiliano Zapata



Fonte: Engelmann (2011).

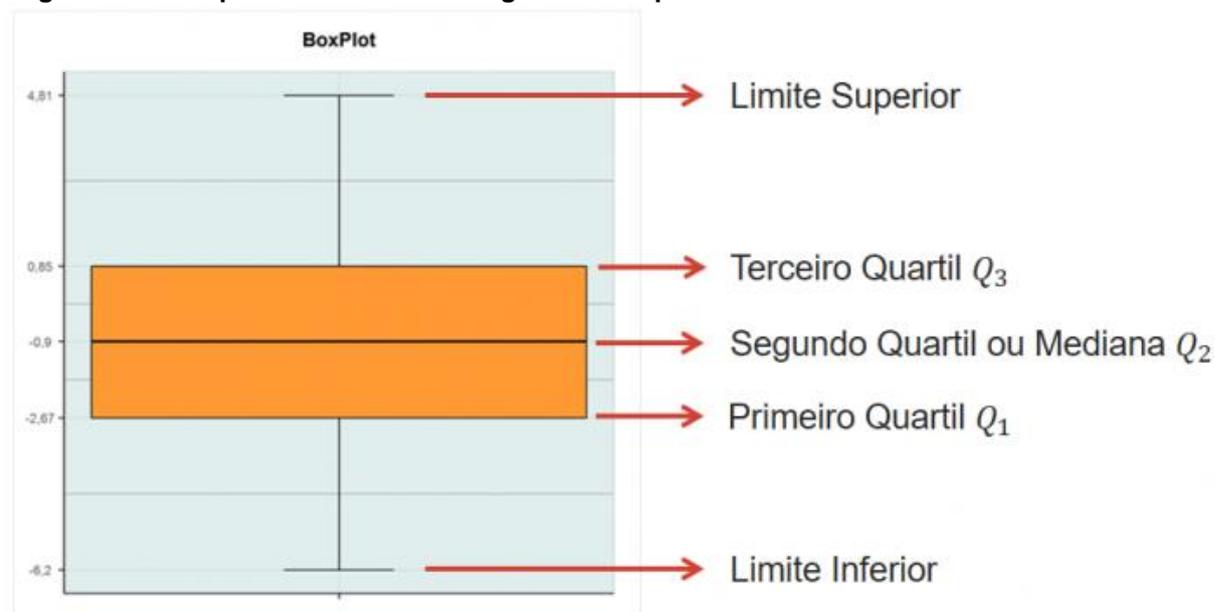
## 2.7 FERRAMENTAS DE ANÁLISE

### 2.7.1 Gráfico Box-Plot

O box-plot, também conhecido como “gráfico de caixa”, é um gráfico estatístico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados, podendo ser utilizado também, para uma comparação visual entre dois ou mais grupos. O box-plot é formado pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. As hastes inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior. O limite inferior é calculado por  $Q_1 - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1)$  e o limite superior é calculado por  $Q_3 + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1)$ , onde Q representa os quartis. Os pontos fora desses limites são considerados valores discrepantes, também chamados de

outliers e são denotados por asterisco. Outro fator importante é a diferença entre os quartis ( $Q_3 - Q_1$ ), que mede a variabilidade dos dados (RIEPEER, 2012). A figura 5, a seguir, representa um exemplo de gráfico box-plot.

**Figura 5 – Exemplo do formato de um gráfico box-plot**



**Fonte: Portal Action (2016).**

O centro da distribuição é indicado pela linha da mediana. A dispersão é representada pela altura do retângulo ( $Q_3 - Q_1$ ). O retângulo contém 50% dos valores do conjunto de dados. A posição da linha mediana no centro do retângulo informa uma distribuição simétrica. Se a mediana é próxima de  $Q_1$ , então, os dados são positivamente assimétricos. Se a mediana é próxima de  $Q_3$  os dados são negativamente assimétricos (PETENATE, 2013).

## 2.7.2 Índice de Qualidade das Águas

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é um indicador que tem como finalidade facilitar a interpretação das informações de qualidade da água de forma abrangente e benéfica (CETESB, 1997). Esse índice foi desenvolvido por meio de pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de água, que selecionaram variáveis que refletem, principalmente, na contaminação dos corpos hídricos

ocasionada pelo lançamento de chorume e esgotos domésticos. Atualmente é utilizado para classificar os rios de acordo com seu uso (CETESB, 2005).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice, conforme a equação 1 (CETESB, 2013).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

$IQA$  é o Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

$q_i$  representa a qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e;

$w_i$  é o peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, como mostra a equação 2.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

Sendo  $n$  o número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

De acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), o IQA incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público. Os parâmetros que constituem o IQA são: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, fósforo total, nitrogênio total, turbidez e sólidos totais (CETESB, 2013).

Depois de efetuado o cálculo, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, conforme representado na tabela 1.

**Tabela 1 – Faixas de ponderação e categoria da qualidade das águas**

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

**Fonte: CETESB (2013).**

A seguir serão apresentados os nove parâmetros considerados mais relevantes para os especialistas que desenvolveram o IQA e a importância que cada um deles exerce no meio ambiente e na preservação da vida aquática.

#### 2.7.2.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é essencial para a preservação da vida aquática, pois os seres que habitam nas águas, como por exemplo, os peixes, necessitam de sua existência para respirar. As águas poluídas possuem baixa concentração de oxigênio dissolvido devido ao mesmo ser consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. Já as águas límpidas possuem concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ , exceto se houverem condições naturais que causem baixos valores desse parâmetro (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

Quando o oxigênio dissolvido está ausente, possibilita o crescimento de organismos anaeróbios, os quais liberam substâncias que conferem odor, sabor e aspecto indesejável à água (BRAGA et al., 2005). As águas eutrofizadas, ou seja, ricas em nutrientes, podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ , condição conhecida como supersaturação. Isto ocorre na maioria das vezes em corpos hídricos que o excessivo crescimento das algas faz com que durante a fotossíntese, os valores de oxigênio fiquem mais elevados. Por outro lado, quando não ocorre fotossíntese (durante a noite), a respiração dos organismos faz com que as concentrações de oxigênio diminuam a ponto de causar a morte dos peixes (CETESB, 2009).

### 2.7.2.2 Coliformes Fecais

As bactérias coliformes habitam no intestino de animais de sangue quente e sua presença na água é decorrente de poluição por esgotos domésticos. Estas bactérias não são patogênicas, porém sua presença em grandes quantidades indica a possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis por transmitir doenças de veiculação hídrica, tais como disenteria bacilar, febre tifóide e cólera (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

### 2.7.2.3 Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) refere-se a medida de acidez ou alcalinidade de uma solução. A água pura a 25°C assume pH neutro que equivale a 7,0, sendo que variações abaixo deste valor indicam meios ácidos e acima, meios alcalinos (BRAGA et al., 2005).

Este parâmetro interfere no metabolismo de diversas espécies aquáticas, portanto, a Resolução CONAMA nº 357 estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6,0 e 9,0. Alterações no pH podem causar o aumento no efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos habitantes dos corpos hídricos, tais como os metais pesados (CETESB, 2009).

### 2.7.2.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A demanda bioquímica de oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água por meio da decomposição microbiana aeróbia. A medição convencional da quantidade de oxigênio consumido é realizada sob temperatura de 20°C durante um período de 5 dias, sendo denotada por “DBO<sub>5,20</sub>”, ou apenas “DBO<sub>5</sub>” (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

Valores elevados de DBO<sub>5</sub> na água são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. Sua presença

em grande quantidade na água ocasiona na diminuição dos valores de oxigênio dissolvido, provocando a morte de seres aquáticos (CETESB, 2009).

#### 2.7.2.5 Temperatura da Água

A temperatura da água é influenciada por diversos fatores, tais como a latitude, longitude, período do dia, estação do ano, vazão e profundidade do curso d'água. Os despejos industriais e de usinas termoelétricas caracterizam um aumento da temperatura, bem como o lançamento de efluentes, causando impactos significativos nos corpos hídricos. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que ocasiona em mudanças no crescimento e reprodução desses organismos (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

#### 2.7.2.6 Nitrogênio Total

O nitrogênio na água pode ocorrer nas seguintes formas: nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Podem-se associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre suas formas. Nas zonas de autodepuração natural em rios há a presença desses nitrogênios, sendo que a zona de degradação possui nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e nas análises destacarem-se as formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo, se prevalecerem nitrito e nitrato conclui-se que as descargas de efluentes se encontram distantes (CETESB, 2009).

Os nitratos são tóxicos aos seres humanos, e em altas concentrações causam uma doença chamada meta-hemoglobinemia infantil, sendo letal para as crianças. Os compostos de nitrogênio, em processos biológicos, são considerados nutrientes, portanto, seu lançamento em grandes quantidades nos corpos hídricos, junto com outros nutrientes, causa um processo conhecido como eutrofização da água, ou seja, o crescimento excessivo de algas, podendo prejudicar a recreação e

preservação da vida aquática, assim como o abastecimento público (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

As fontes de nitrogênio para os corpos d'água decorrem do lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais. Em áreas urbanas, a drenagem de águas pluviais é considerada uma fonte de nitrogênio, assim como a percolação da água das chuvas em solos contendo fertilizantes em áreas agrícolas. Também ocorre a fixação biológica do nitrogênio atmosférico nos corpos hídricos causados por algas e bactérias (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

A Resolução CONAMA nº 357 estabelece como limites para nitrogênio amoniacal, os valores de  $3,7 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$  para pH igual ou menor que 7,5, até  $0,5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$  para pH acima de 8,5 e, para nitrato e nitrito, os valores de  $10 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$  e  $1,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ , respectivamente. A Resolução estabelece também que para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar  $1,27 \text{ mg.L}^{-1}$  para ambientes lênticos (ambiente que se refere a água parada, com movimento lento ou estagnado) e  $2,18 \text{ mg.L}^{-1}$  para ambientes lóticos (ambiente relativo a água continentais moventes), na vazão de referência (CONAMA, 2005).

#### 2.7.2.7 Fósforo Total

O fósforo total (FT) compreende o fósforo orgânico, presente em substâncias orgânicas, e o fósforo mineral, sob a forma de fosfatos (BRAGA et al., 2002). O fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas, assim como o nitrogênio.

Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, devido à presença de detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. Os dejetos industriais também são fontes de fósforos, sendo as principais: indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água (CETESB, 2009).

#### 2.7.2.8 Turbidez

A turbidez representa o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada por sólidos em suspensão, tais como: silte, areia, argila, algas, detritos, entre outros. A presença destas partículas em suspensão no meio pode ocasionar o agravamento da poluição. Devido a turbidez limitar a penetração de raios solares através da água, a realização da fotossíntese é restringida, que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio. Além disso, a alta turbidez afeta a preservação da vida aquática, bem como as atividades de recreação (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

A principal fonte que ocasiona a turbidez é a erosão dos solos, pois em época de chuvas as águas pluviais trazem materiais sólidos para os corpos hídricos. Outras fontes de turbidez são as atividades de mineração e lançamento de efluentes industriais. A turbidez se for natural, não acarreta danos, contudo, a Resolução CONAMA nº 357 estabelece 100 NTU, do inglês Nephelometric Turbidity Unit, como limite de turbidez para um rio de classe 2 (CONAMA, 2005).

#### 2.7.2.9 Sólidos Totais

A matéria que permanece depois da evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra de água durante um determinado tempo e temperatura, denomina-se sólido total. Quando os sólidos se depositam nos leitos dos corpos hídricos, podem causar seu assoreamento, aumentando os riscos de enchentes. Podem também, danificar os locais de desova dos peixes, além de causar outros danos à vida aquática, pois ao se depositarem no leito os sólidos destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos (PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS, 2016).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Pontos de Amostragem

Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionados três pontos de amostragem situados na bacia hidrográfica do Rio Cará-cará. As amostras de águas superficiais foram coletadas e analisadas num período de cinco meses (abril a agosto de 2016) para avaliação da qualidade da bacia. O primeiro ponto de amostragem está situado no Arroio Modelo, afluente do Rio Cará-cará próximo ao Aterro do Botuquara, a 100 metros de onde ocorre o lançamento de chorume. O segundo ponto encontra-se no mesmo afluente, porém a dois quilômetros do primeiro, na extensão da Avenida Eusébio de Queirós. Ambos os pontos estão indicados na figura 6.

**Figura 6 – Mapa esquemático com os pontos 1 e 2, no Arroio Modelo**



Fonte: Adaptado do Google Maps (2016).

O terceiro ponto encontra-se no Rio Cará-cará, a aproximadamente nove quilômetros do ponto 2, na BR-376 próximo ao distrito industrial de Ponta Grossa. O mesmo pode ser visualizado na figura 7.

**Figura 7 – Mapa esquemático do ponto 3, no Rio Cará-cará**



Fonte: Adaptado do Google Maps (2016).

### 3.1.2 Limpeza dos Materiais

Todas as vidrarias utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos e metais pesados foram inicialmente, lavadas com água corrente, detergente comercial, escova e, posteriormente, enxaguadas. Em seguida, foram colocadas imersas em solução de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 10% v/v, 24 horas antes da coleta das amostras. Após o banho com ácido, foram retiradas e enxaguadas com água destilada. Os frascos empregados nas análises de coliformes fecais permaneceram vedados e autoclavados a  $121^\circ\text{C}$  por 30 minutos, 24 horas antes da coleta amostral.

### 3.1.3 Coleta e Tratamento das Amostras

As amostragens seguiram as orientações técnicas do Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, sendo também observadas as indicações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

As amostras de águas naturais foram coletadas diretamente em frascos de polietileno a aproximadamente 10 cm de profundidade, emergindo contra a corrente. As coletas foram realizadas por duas pessoas, sendo uma responsável pela coleta e a outra pelo manuseio dos materiais. As amostras foram encaminhadas rapidamente para o laboratório para minimizar a atividade biológica.

Para a coleta das amostras foram utilizados, em cada ponto, 2 frascos de polietileno com capacidade de 2L cada e um frasco âmbar vedado com rolha esmerilhada com capacidade de 100 mL.

Para realizar as análises de DBO<sub>5</sub>, sólidos totais, pH, turbidez, nitrogênio de nitrato, DQO, surfactantes e metais pesados foram coletados 2L de amostra. Para determinação dos parâmetros de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e fósforo total foram coletados, separadamente, 2L de amostra, na qual foram adicionados 2 mL de ácido sulfúrico concentrado P.A. para acidificá-la.

Na coleta destinada para análise de coliformes fecais foram utilizados frascos âmbar com rolha esmerilhada, sendo retirados os lacres no momento da coleta e introduzidos diretamente no rio a aproximadamente 10 cm de profundidade.

As coletas foram realizadas nos 3 pontos de amostragem no mesmo dia, com intervalos de 1 hora entre elas. No momento da coleta foram medidos, em triplicata, os parâmetros temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se o equipamento multi-elemento HANNA.

Depois de finalizadas as coletas, o frasco âmbar contendo a amostra para determinação de coliformes fecais foi encaminhado para o laboratório de microbiologia da UTFPR – Câmpus Ponta Grossa, para análise imediata e a amostra para análise de DBO<sub>5</sub> foi encubada em garrafas de sistema manométrico com detecção automática Oxitop.

Para as análises de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e fósforo total, determinada quantidade de amostra acidificada foi filtrada a vácuo em sistema fechado, utilizando-se filtros de 0,45 µm de porosidade. Com exceção da DBO<sub>5</sub> e

dos coliformes fecais, todas as análises físico-químicas foram realizadas em triplicata no laboratório de físico-química da UTFPR – Câmpus Ponta Grossa.

Para a determinação da concentração dos metais pesados: chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) foi utilizada uma chapa aquecedora e a quantificação dos analitos nas amostras foi feita no laboratório de métodos instrumentais da UTFPR – Câmpus Ponta Grossa, por um espectrômetro de absorção atômica em chama marca Perkin Elmer AAnalyst 700.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Sólidos Totais

O teor de sólidos totais foi determinado, para um volume de 100 mL de amostra, por meio da evaporação da água em cápsula de porcelana, secando em banho-maria e, posteriormente, em estufa a 103°C até obter peso constante (APHA, 1995).

### 3.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

O teor de DBO<sub>5</sub> foi analisado por meio da utilização de um sistema que permite a determinação automática de oxigênio, chamado OxiTop® (Merck), de acordo com o procedimento padrão. O método baseia-se na transmissão de uma determinada quantidade de amostra para um frasco âmbar que contém microrganismos e nutrientes suficientes à temperatura controlada de 20°C±1°C. Sob agitação constante o oxigênio presente no frasco se dissolve na amostra e pode então, ser consumido pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica. O gás carbônico exalado neste processo é absorvido pela cápsula de hidróxido de sódio contida em um reservatório de borracha, o que causa uma diferença de pressão no interior da garrafa, a qual é medida pelo sensor Oxitop (APHA, 1995).

### 3.2.3 Nitrogênio Total Kjeldahl

A determinação do nitrogênio total Kjeldahl (NTK) ocorreu pelo Método de Kjeldahl, onde a amônia e todas as formas de nitrogênio orgânico são transformadas em sulfato de amônia por meio da digestão da amostra com ácido sulfúrico e sulfato de cobre, sob elevada temperatura. Em seguida, a amônia passa por uma destilação em meio alcalino, é absorvida em solução de ácido bórico e então, quantificada por titulação com ácido sulfúrico  $0,02 \text{ mol.L}^{-1}$ . Os ensaios foram desenvolvidos em triplicata, para melhor caracterização e percepção dos resultados (APHA, 1995).

### 3.2.4 Nitrogênio Amoniacal

O teor de nitrogênio amoniacal foi determinado por meio do método Fenato. Os ensaios ocorreram em triplicata e as análises foram desenvolvidas por meio de um espectrofotômetro NOVA 60, no comprimento de 640 nm (APHA, 1995).

### 3.2.5 Fósforo Total

O teor de fósforo total foi determinado por método espectrofotométrico, fundamentado em digestão ácida da amostra e posterior tratamento com ácido ascórbico. A quantificação foi no comprimento de 680 nm (APHA, 1995).

### 3.2.6 Coliformes Fecais

A determinação de coliformes fecais foi realizada por meio da técnica dos tubos múltiplos, a qual permite determinar a estimativa da densidade bacteriana em uma amostra, que é obtida a partir da combinação de resultados positivos e negativos (APHA, 1995).

### 3.2.7 Demanda Química de Oxigênio, Surfactantes e Nitrogênio de Nitrato

Quanto às determinações, os parâmetros demanda química de oxigênio (DQO), surfactantes (SUR) e nitrogênio de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foram determinados em triplicata, pelo espectrofotômetro Pastel UV–Secomam. Esse método é amplamente utilizado em estudos internacionais, como por exemplo, nos estudos desenvolvidos por Marinovic et al. (2010); Drouiche et al. (2004); Roig et al. (2007) e Gonzalez et al. (2007). Atua como um espectrofotômetro analisador de qualidade de águas e efluentes.

A análise baseia-se na coleta de 1 mL da amostra sem pré-tratamento e devidamente homogeneizada para cada repetição, este volume é inserido na célula de quartzo, a qual é introduzida no equipamento. A leitura é realizada simultaneamente para os seis parâmetros mencionados anteriormente em  $\text{mg.L}^{-1}$ . Ressalta-se a importância da homogeneização, da troca de ponteira da micropipeta para cada amostra e da lavagem da célula de quartzo com água destilada e com a própria amostra.

A validação do equipamento foi obtida por meio de trabalhos anteriores, onde pode-se comprovar sua metodologia através de resultados aproximados, também obtidos com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, onde a comparação dos resultados obteve um grau de confiança de 95% (RODRIGUES, 2010).

### 3.2.8 Metais Pesados

Para determinar a concentração dos metais foi necessário um preparo das amostras. O preparo consistiu na transferência de 250 mL de amostra de cada ponto para um béquer de 300 mL e posterior adição de 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado P.A. Em seguida, as amostras foram evaporadas em chapa aquecedora a  $150^\circ\text{C}$  para a redução do volume a aproximadamente 15 a 20 mL. Após a redução do volume, a chapa aquecedora foi desligada e foram adicionados 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado P.A. e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado P.A. As amostras foram novamente aquecidas até o clareamento da solução e a liberação de fumos brancos e marrons ( $\text{SO}_3$  e  $\text{NO}_2$ ). Após o resfriamento, as

amostras foram transferidas para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado com água deionizada obtida em um sistema deionizador de águas Milli Q (APHA, 1998).

O método utilizado na determinação da concentração dos metais foi a espectrometria de absorção atômica com sistema de atomização em chama de ar/acetileno, no qual é possível fazer a quantificação dos analitos por meio de curvas analíticas. Essa técnica permite quantificar os analitos presentes na amostra medindo a variação da quantidade de radiação transmitida por meio de fontes especiais de radiação conjugadas (lâmpadas de cátodo oco), com sistemas eficientes de seleção de comprimentos de onda. A chama tem como função converter o aerossol da amostra em vapor atômico, que pode então absorver a radiação proveniente da lâmpada. A quantidade de radiação absorvida está relacionada com a concentração do elemento de interesse na solução, que nesse caso, são os metais (JÚNIOR; BIDART; CASELLA, 2016).

As condições instrumentais foram: vazão de 14 L.min<sup>-1</sup> de ar e 2 L.min<sup>-1</sup> de acetileno para o Cd, Cu, Ni e Zn, com comprimento de onda de 228,8 nm, 324,8 nm, 232 nm e 313,9 nm, respectivamente. Para o Cr a vazão foi de 17 L.min<sup>-1</sup> de ar e 2,5 L.min<sup>-1</sup> de acetileno, com comprimento de onda de 357,9 nm.

### 3.2.9 Análise de Dados

Os valores dos parâmetros utilizados para classificar a bacia urbana de acordo com o CONAMA 357/05 e determinar as condições do corpo hídrico, foram representados por meio de gráficos box-plots, os quais foram obtidos através de planilhas no aplicativo Excel Microsoft Office® (RIEPER, 2012).

Os valores de IQA também foram obtidos por meio de planilhas no aplicativo Excel Microsoft Office®, onde as curvas de qualidade dos parâmetros da metodologia NSF (National Sanitation Foundation) foram devidamente transformadas em equações (CETESB, 2013).

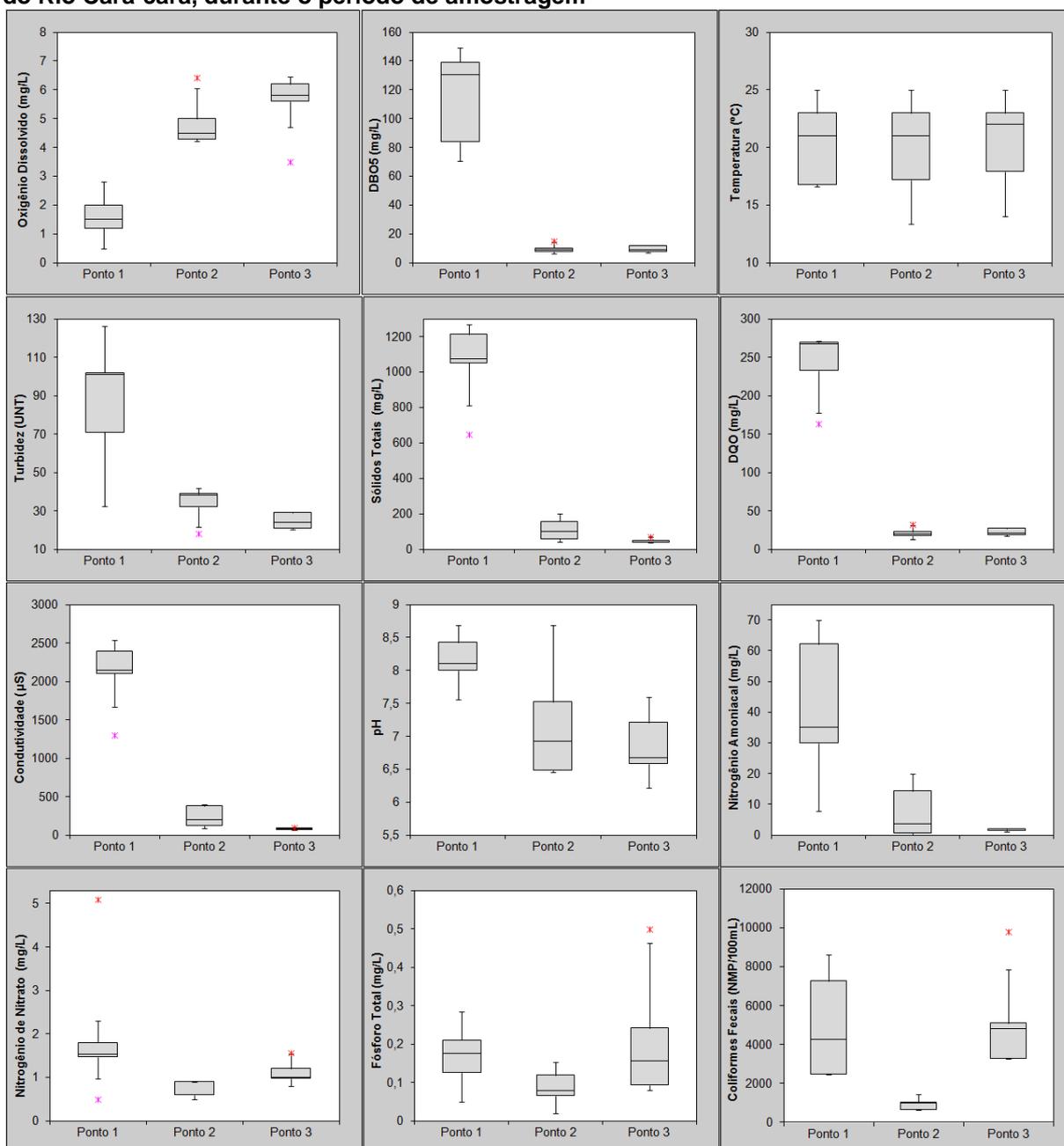
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

A composição das amostras de água coletadas pode variar por diversos fatores, tais como: horário de realização da coleta, índice de chuvas ou estiagem, despejo de lixo direto na bacia e presença de constituintes diversos. Outro fator relevante e que pode vir a alterar os resultados, são possíveis falhas nos equipamentos de medição, que podem influenciar na eficiência do processo. Esses quesitos são causa fundamental de oscilações nos valores dos padrões físico-químicos de análise.

A caracterização do corpo hídrico em estudo, com base nos parâmetros mais importantes para a classificação de um rio, estabelecidos pelo CONAMA 357/05, pode fornecer informações relevantes em relação à qualidade das águas nos pontos amostrados. A figura 8 representa um conjunto de gráficos box-plots, que mostra os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados, nos três pontos de coleta. Os valores de todos os parâmetros analisados durante os cinco meses de coleta encontram-se na tabela 6, disponível no Apêndice A.

**Figura 8 – Parâmetros aquáticos determinados nos três pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Cará-cará, durante o período de amostragem**



As linhas horizontais da caixa representam à mediana e (\*) representa os valores máximos e mínimos.

**Fonte: Autoria Própria.**

A determinação de oxigênio dissolvido em corpos aquáticos é uma das ferramentas mais importantes para avaliar a qualidade das águas, uma vez que o mesmo está diretamente relacionado com a manutenção da flora e fauna aquática (SUDERHSA, 1997).

O CONAMA 357/05 estabelece para rios de classe 2, um valor de oxigênio dissolvido acima de  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  e, os valores médios encontrados nos pontos 1, 2 e 3

foram  $1,6 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $4,9 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $5,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente (CONAMA, 2005). Isso implica que somente o ponto 3 está no limite adequado de um rio de classe 2, o ponto 1 caracteriza-se como classe 4 e o ponto 2 como classe 3. Como pode-se observar na figura 8, há uma melhora nos valores de OD conforme o curso d'água vai se afastando do aterro sanitário, que pode ser justificada pelo processo natural de autodepuração do rio e atenuação de afluentes menos impactados. Porém, essa melhora ainda não é significativa, uma vez que somente o ponto 3 está dentro dos limites da classe 2.

Os valores médios de  $\text{DBO}_5$  encontrados nos três pontos foram respectivamente  $114,70 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $9,60 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $9,47 \text{ mg.L}^{-1}$ . A quantidade significativa de carga orgânica biodegradável,  $\text{DBO}_5$ , encontrada no ponto 1, justifica a redução drástica dos teores de oxigênio dissolvido nesse ponto, pois o consumo do mesmo pode ser verificado no aumento da matéria orgânica, conforme é constatado nos três pontos. Pelos valores médios de  $\text{DBO}_5$ , os pontos 2 e 3 estão classificados no limite máximo de um rio de classe 3 (até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e o ponto 1, enquadra-se na classe 4, ou seja, o mesmo não pode ser destinado para consumo, somente para paisagismo e navegação (CONAMA, 2005).

Em relação ao ponto 1, vale lembrar a Resolução CONAMA 430/11, onde seu artigo 3 afirma que “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução” (CONAMA, 2011). Neste caso, obedecendo aos limites para um rio de classe 2. A mesma Resolução afirma também, que, caso o efluente não se encontre adequado para lançamento, ou seja, dentro dos padrões estabelecidos:

Deve-se acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor. Outra opção é exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor (CONAMA, 2011, p. 01).

A turbidez consiste no nível de interferência que a luz sofre ao passar através da água, podendo estar associada à ocorrência de processos erosivos, despejos industriais e domésticos, bem como elevados índices de sólidos totais. Dessa forma, em uma bacia hidrográfica a qualidade das águas depende das

condições naturais, visto que, mesmo em áreas totalmente preservadas, a qualidade da água sofre a interferência do carreamento natural de partículas de solo após períodos de chuva e dissolução de íons de rocha (VON SPERLING, 2005).

Os valores médios de turbidez nos três pontos foram respectivamente 86,5 UNT, 33,9 UNT e 24,7 UNT, já os de sólidos totais foram  $1051 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $112,7 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $47,9 \text{ mg.L}^{-1}$ . A partir dos valores médios de turbidez, é possível observar que esse parâmetro está dentro dos limites de um rio de classe 2 (até 100 UNT), já os resultados de sólidos totais demonstram que as atividades do aterro sanitário exercem influência em sua elevação, visto que, o ponto 1 excedeu completamente o limite para a classe 2 (até  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Essa ocorrência pode ser justificada pelo fato do ponto 1 estar próximo ao local de lançamento do chorume, entretanto, a diminuição desses parâmetros ao longo do corpo hídrico confirma o processo de autodepuração que o rio está sofrendo (CONAMA, 2005).

A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica por meio de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da  $\text{DBO}_5$ , sendo que o teste para DQO é realizado num prazo menor (CETESB, 2009).

Os valores médios de DQO para os três pontos foram respectivamente  $240,9 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $21,3 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $22,7 \text{ mg.L}^{-1}$ , confirmando não só a presença da matéria orgânica biodegradável, mas também da não biodegradável. Por meio desses dados, nota-se uma quantidade bem maior no ponto 1, que pode ser explicado pelo fato do chorume ser composto por alta carga poluidora de matéria orgânica, de baixa biodegradabilidade (PELÁGIO et al., 2008).

Tartari (2003) e Rocha (2006), também encontraram valores médios de DQO acima de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  nos corpos receptores de chorume avaliados, o que constata que o tratamento proposto na maioria dos aterros sanitários não contempla a redução deste parâmetro, como é o caso do Aterro do Botuquara, na cidade de Ponta Grossa.

Os valores médios de condutividade encontrados nos pontos 1, 2 e 3 foram  $2097,4 \text{ } \mu\text{S}$ ,  $239,9 \text{ } \mu\text{S}$  e  $80,4 \text{ } \mu\text{S}$ , respectivamente. De acordo a CETESB (2009), ambientes que apresentam condutividade acima de  $100 \text{ } \mu\text{S}$  são ambientes muito impactados. Nota-se que o valor médio encontrado para o ponto 1 é 20 vezes maior que esse limite, demonstrando principalmente o impacto do chorume sobre a qualidade da água nesse ponto do rio, que pode ser justificado pela quantidade

excessiva de metais pesados e sólidos dissolvidos em sua composição. Nota-se também, que na medida em que o curso d'água vai avançando, ocorre uma diluição desses sólidos e metais.

O pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes e complexas de se interpretar, devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo. Geralmente, em águas naturais o pH é alterado pelas concentrações de íons  $H^+$  originados da dissociação do ácido carbônico, que geram valores baixos de pH e das reações de íons de carbonato e bicarbonato com a molécula de água, que elevam os valores de pH para a faixa alcalina (ESTEVES, 1988).

O pH também pode indicar a idade do chorume. Se o pH está próximo de 6,0 significa que o chorume é novo, porém, se está próximo de 8,0, indica que o chorume encontra-se na fase metanogênica, sendo considerado velho. No chorume novo predominam os ácidos voláteis, que são transformados em metano e  $CO_2$  na fase metanogênica, caracterizando o chorume velho (CEMPRE, 2010).

Os valores médios de pH encontrados nos três pontos foram 8,2, 7,2 e 6,9, respectivamente. Todos se encontram na faixa determinada pelo CONAMA 357/05 (entre 6,0 e 9,0), porém nota-se que o ponto 1 é mais alcalino que os demais, ou seja, o chorume está na fase metanogênica nesse ponto, sendo considerado velho.

Nascimento (2008) avaliou alguns parâmetros para estudo do chorume nos poços de monitoramento do Aterro do Botuquara e verificou valores de pH semelhantes aos encontrados no ponto 1 da bacia do Rio Cará-cará. Segundo Martins, Castilho e Costa (2010), valores de pH acima de 8,0 se devem a um resíduo em avançado estado de decomposição, onde os ácidos produzidos numa das fases iniciais foram consumidos, gerando finalmente o metano.

O nitrogênio amoniacal é a forma reduzida do nitrogênio que as algas preferem como substrato para suas estruturas proteicas. Sua presença nos cursos d'água representa um estágio recente de decomposição da matéria orgânica, ou seja, uma poluição recente, uma vez que o mesmo encontra-se nas zonas de decomposição ativa. É considerado um parâmetro marcante, podendo inclusive ser utilizado como parâmetro de monitoramento para verificação de contaminação de aquíferos, devido à sua solubilidade (PELÁGIO et al., 2008).

Os valores médios de nitrogênio amoniacal encontrados nos três pontos de amostragem foram  $40,98 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $7,74 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,72 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Para os pontos 2 e 3, o limite de nitrogênio amoniacal estabelecido pelo CONAMA 357/05

para um rio de classe 2 é de  $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ , uma vez que, ambos os pontos se enquadram no limite de pH para essa quantidade de nitrogênio amoniacal, que é igual ou inferior a 7,5. Como o ponto 1 obteve um pH acima de 7,5, o limite de nitrogênio amoniacal para um rio de classe 2 nesse ponto é  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$  (pH entre 8,0 e 8,5). Nota-se que somente o ponto 3 está dentro do limite permitido, já o ponto 1 excedeu completamente o limite máximo, sendo o mais impactado. Esse fenômeno pode ser justificado pela presença de altas concentrações de nitrogênio amoniacal nos compostos orgânicos que compõe o chorume (TAVARES, 2011).

Outra restrição para o nitrogênio amoniacal é estabelecida pelo CONAMA 430/11, onde impõe que o limite de lançamento desse parâmetro para um corpo receptor é de no máximo  $20 \text{ mg.L}^{-1}$ . Pelo valor médio de nitrogênio amoniacal encontrado no ponto 1, nota-se que o tratamento por meio de lagoas de estabilização no Aterro do Botuquara, não é suficiente para adequar este parâmetro no sentido de atender a legislação, uma vez que o mesmo lança-o no corpo receptor, com um valor acima do limite permitido.

A concentração de amônia aumenta com o tempo de biodegradação, sendo maior nos chorumes mais velhos, justificando a quantidade excessiva de nitrogênio amoniacal encontrado no ponto 1. O caráter tóxico do chorume é acentuado devido à amônia que chega a ultrapassar, em alguns casos, a concentração limite para lançamento em corpos hídricos em mais de 300 vezes, sendo a sua remoção, um dos objetivos mais importantes dos tratamentos de chorume (COAMB, 2011).

A presença da amônia impacta comunidades aquáticas, principalmente peixes e população de invertebrados bentônicos, impactando na forma de toxicidade crônica, com efeito sobre a capacidade reprodutiva (produção de ovos e sobrevivência larval), no crescimento (comprimento e peso), no comportamento dos tecidos (mudanças patológicas nos tecidos das brânquias, rins e fígado dos peixes), e também nas alterações bioquímicas e fisiológicas (ENVIRONMENT CANADÁ, 2000). Nesse sentido, as condições verificadas no presente trabalho não contemplam a preservação da vida aquática, que também se estabelece dentro dos limites de rios de classe 2.

O nitrato é a forma oxidada do nitrogênio e distingue-se dos demais, nas zonas de autodepuração natural em rios, onde sua presença encontra-se na zona de águas limpas. Isso significa que, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas

(nitrogênio orgânico e amoniacal), significa que o foco de poluição encontra-se próximo, mas se prevalecerem o nitrito e o nitrato, denota que as descargas de esgotos encontram-se distantes. (CETESB, 2009).

Os valores médios de nitrogênio de nitrato encontrados nos três pontos de coleta estão dentro do limite exigido pelo CONAMA 357/05 para um rio de classe 2 (até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ ), sendo eles  $2,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Porém, se comparado ao nitrogênio amoniacal, nota-se que os valores são até 20 vezes menores, ou seja, há a predominância das formas reduzidas na bacia estudada, significando o forte comprometimento das águas.

O fósforo total é um parâmetro de grande importância na vida aquática. Ele faz parte de um dos principais nutrientes para os processos biológicos, por ser exigido pelas células biológicas. É devido a isso que o fósforo é imprescindível para caracterização dos efluentes que se pretende tratar por meio de processos biológicos. Porém, quando se encontra em quantidades elevadas no meio aquático, pode causar o processo de eutrofização das águas, ou seja, acúmulo de nutrientes que pode levar a morte de seres vivos por asfixia (CETESB, 2014).

Nas legislações vigentes relativas aos padrões de lançamento de efluentes, os limites máximos de disposição ou eficiência de remoção dos parâmetros fósforo total, sólidos sedimentáveis e nitrogênio total não encontram-se estabelecidos, ou seja, a Resolução CONAMA 430/11 não estipula valores máximos para lançamento de fósforo total. Porém, a Resolução CONAMA 357/05 determina que as concentrações de fósforo total não devem ultrapassar o limite de  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$  para os rios de classe 2, que é o caso da bacia do Rio Cará-cará (CONAMA, 2005).

Os valores médios de fósforo total encontrados nos três pontos da bacia foram  $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,21 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Nota-se que todos estão acima do limite máximo permitido para rios de classe 2, justificado pela presença do chorume produzido no Aterro do Botuquara. Os estudos realizados por Nascimento (2008) no Aterro do Botuquara, avaliaram um teor médio de  $26 \text{ mg.L}^{-1}$  de fósforo total nos poços de monitoramento do chorume.

Para o parâmetro coliformes fecais, os valores médios encontrados nos três pontos foram 4578 NMP/100mL, 921 NMP/100mL e 7393 NMP/100mL, respectivamente. A Resolução CONAMA 430/11 não estipula valores máximos para lançamento de coliformes fecais, porém o CONAMA 357/05 determina que as

concentrações de coliformes fecais não ultrapassem o limite de 1000 NMP/100mL, em rios de classe 2.

Em relação ao ponto 1, inúmeras investigações têm revelado a ocorrência de micro-organismos entéricos em diversos aterros sanitários. Os valores de coliformes fecais analisados por vários autores variam na faixa de  $10^2$  a  $10^5$  NMP/100mL, dependendo do resíduo aterrado. No estudo realizado por Brito (2005) no Aterro Sanitário da Caximba, em Curitiba/PR, os valores médios de coliformes fecais encontrados variaram entre  $6,0 \times 10^4$  e  $4,3 \times 10^5$  NMP/100mL, chegando a conclusão de que o tratamento dado ao chorume não é eficaz.

Campos (2002) avaliou o chorume produzido no Aterro Sanitário de Piraí, no Rio de Janeiro, e em seu estudo a concentração de coliformes fecais foi de  $24 \times 10^4$  NMP/100mL, chegando a conclusão de que o chorume estava em um estado avançado de degradação.

A presença desses organismos entéricos e outros patógenos no chorume podem contaminar o lençol freático e o corpo hídrico receptor, trazendo problemas à comunidade local e ao meio ambiente. O chorume é um tipo de água residuária que deve ser submetido a tratamento específico, com o objetivo de remover contaminantes e poluentes, adequando aos padrões legais (ROCHA 2006).

Em relação ao ponto 2 ocorre uma diminuição significativa dos valores encontrados para coliformes fecais, resultado da diluição desse parâmetro, porém está muito próximo do valor limite para rios de classe 2. Em relação ao ponto 3, valores elevados podem estar relacionados a ligações irregulares de esgoto nas proximidades do local de coleta.

Os surfactantes (ou tensoativos) são compostos que reduzem a tensão superficial entre dois líquidos, ou entre um líquido e um sólido. Podem funcionar como detergentes, emulsionantes, agentes de formação de espuma e dispersantes. Os detergentes tem sido os principais responsáveis pela aceleração do processo de eutrofização das águas e, em excesso, podem exercer outros efeitos tóxicos sobre os ecossistemas aquáticos (CETESB, 2009).

O único ponto que apresentou uma quantidade significativa de surfactantes foi o ponto 1, com um valor médio de  $2,9 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os valores dos pontos 2 e 3 foram inferiores a  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , limite máximo de tensoativos para qualquer classe de rio. Portanto, não foi detectado tensoativos nesses pontos, uma vez que o equipamento de medição utilizado possui um limite de detecção acima de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Foram analisados os metais pesados cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) nos três pontos de amostragem, considerados os metais mais importantes e tóxicos quando se trata de avaliação das águas. Porém, os únicos metais encontrados nos pontos de coleta em quantidades significativas, ou seja, que ultrapassaram os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para um rio de classe 2, foram o cádmio e o cobre. O cádmio possui um limite de até 0,001 mg.L<sup>-1</sup> e o ultrapassou nos pontos 1 e 2, obtendo os valores médios de 0,005 mg.L<sup>-1</sup> e 0,064 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o cobre possui um limite de até 0,01 mg.L<sup>-1</sup> e excedeu esse limite nos três pontos, obtendo os valores médios de 0,021 mg.L<sup>-1</sup> para o ponto 1, 0,01 mg.L<sup>-1</sup> para o ponto 2 e 0,012 mg.L<sup>-1</sup> para o ponto 3.

Segundo Oygard et al. (2004), a mistura composta de plástico, metal e outros materiais orgânicos produzem um chorume rico em metais pesados. Como a única fonte antrópica da região é o aterro sanitário, presume-se que o chorume despejado próximo ao ponto 1 é o principal responsável pelos níveis de metais pesados encontrados na bacia do Rio Cará-cará. De acordo com esse parâmetro, nota-se que o ponto 3 apresentou uma melhora, se comparado com os outros pontos analisados, devido a esse ponto conter apenas a presença de um metal, o cádmio. Porém, mesmo apresentando essa melhora, as águas continuam comprometidas, visto que os valores médios dos metais foram superiores aos limites de um rio de classe 2, conferindo mudança de classe ao corpo receptor e o enquadrando na classe 3. Esse fenômeno pode ser explicado pelas altas concentrações de metais que compõe o chorume, sendo um fator preocupante devido à toxicidade já abordada desses metais.

Uma avaliação baseada nos parâmetros analisados, para ambos os trechos da bacia hidrográfica do Rio Cará-cará, revela a influência do lançamento do chorume produzido pelo aterro sanitário da cidade de Ponta Grossa, onde o primeiro ponto de coleta apresentou os valores mais negativos. Esse ponto mostrou-se mais impactado, se comparado com os demais, certamente por ser o mais próximo do local em que o chorume é lançado. Conforme as águas vão se afastando do aterro e o rio vai avançando, os valores dos parâmetros analisados apresentaram uma melhoria, fator que pode ser explicado pelo processo natural de autodepuração e atenuação dos afluentes menos impactados. A ocorrência da autodepuração comprova que não há contaminação do chorume nas águas subterrâneas, somente nas águas superficiais da bacia.

De modo geral, os resultados obtidos revelaram que as atividades exercidas pelo aterro sanitário impactam de maneira significativa a qualidade das águas da bacia urbana, pois os valores dos principais parâmetros ambientais utilizados para classificar um rio de acordo com o CONAMA 357/05, tais como: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, DBO<sub>5</sub>, nitrogênio amoniacal e metais pesados, apresentaram-se completamente fora do limite máximo estabelecido para um rio de classe 2 (CONAMA, 2005). Sendo assim, o lançamento do chorume proveniente do aterro está mudando a classe da bacia do rio, e com isso, percebe-se que mesmo apresentando melhora ao decorrer do curso d'água, ela não é significativa.

Os dados comprovam que o aterro não está operando de forma a respeitar a Resolução CONAMA 430/11, onde afirma que o lançamento de efluentes ou outras substâncias não pode conferir mudança de classe ao corpo receptor (CONAMA, 2011). Com isso, confirma-se também, que as águas da bacia podem estar comprometendo a vida e a saúde das populações ribeirinhas, uma vez que essas famílias estejam consumindo o recurso direta, ou indiretamente.

#### 4.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é calculado pelo produtório das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade de água, conforme já abordado anteriormente (CETESB, 1997).

De acordo com a CETESB (1997), esses parâmetros foram avaliados por especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis mais relevantes, atribuindo o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores. Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água inicialmente propostas, somente nove foram selecionadas. Para estas, foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro. A partir dessas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, estabeleceu o peso relativo de cada um, os quais são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2 – Parâmetros e pesos relativos do IQA**

<b>Parâmetro</b>	<b>Peso relativo</b>
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Fecais	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08
Temperatura	0,10

**Fonte: CETESB (1997).**

Na avaliação dos pesos relativos do IQA, nota-se que os valores de oxigênio dissolvido e coliformes fecais exercem peso significativo na elaboração deste índice, o aumento do teor de oxigênio dissolvido e a diminuição do teor de coliformes fecais interferem de maneira significativa para o aumento do estado de qualidade das águas. Caso não se disponha de algum dos nove parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado. A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas e classificá-las em uma escala de 0 a 100, de acordo com o valor do IQA.

Segundo Racanicchi (2002), a qualidade da água é descrita e classificada conforme os critérios apresentados a seguir.

**Ótima** – O IQA deve estar na faixa de 80 a 100 e são as águas encontradas em rios que se mantêm em condições naturais. Não recebem despejos de efluentes e não sofrem processos de degradação. São águas ótimas para a manutenção da biologia aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

**Boa** – O IQA deve estar na faixa de 52 a 79. São águas encontradas em rios nas condições naturais, podendo receber em alguns pontos, pequenas ações de degradação. Porém, esse fenômeno não compromete a qualidade da água para a manutenção da biologia aquática, abastecimento público e produção de alimentos.

**Aceitável** – Para as águas estarem em condições aceitáveis, é necessário que o IQA esteja na faixa de 37 a 51, sendo essas águas, encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação. Porém, ainda assim podem ser utilizadas para o abastecimento público após tratamentos físico-químicos e

biológicos, podendo também, ser utilizadas para a manutenção da biologia aquática e produção de alimentos.

**Ruim** – O IQA encontra-se na faixa de 20 a 36 e são águas encontradas em rios que sofrem grandes interferências e degradação, comprometendo a qualidade e servindo apenas para navegação e geração de energia.

**Péssima** – O IQA possui valores entre 0 e 19, sendo essas águas encontradas em rios que sofrem graves interferências e degradação. São águas com a qualidade completamente comprometida, servindo apenas para navegação e geração de energia.

No presente trabalho, o cálculo do IQA foi obtido por meio de uma planilha no aplicativo Excel Microsoft Office®, onde as curvas de qualidade dos parâmetros são transformadas em equações. A partir desse programa foram calculados os valores de IQA com seus nove parâmetros relevantes, para os três pontos de amostragens na bacia hidrográfica do Rio Cará-cará. A tabela 3 apresenta os resultados de IQA obtidos nos cinco meses de coleta, a partir das análises efetuadas no primeiro ponto de amostragem, localizado no Arroio Modelo, próximo ao local do lançamento de chorume.

**Tabela 3 – Valores de IQA calculados para o ponto 1**

<b>Mês (2016)</b>	<b>IQA</b>	<b>Qualidade</b>
Abril	16	Péssima
Maio	17	Péssima
Junho	24	Ruim
Julho	21	Ruim
Agosto	29	Ruim

Valores do IQA<sub>(CETESB)</sub>: Péssima (0-19) - Ruim (20-36) - Aceitável (37-51) - Boa (52-79) - Ótima (80-100).

**Fonte: Autoria Própria.**

Pelos dados apresentados nota-se que as águas do Arroio Modelo no ponto 1 apresentaram qualidade que variaram de péssima a ruim ao longo dos meses analisados, ou seja, as águas estão fortemente comprometidas pelo lançamento do chorume e não podem ser destinadas ao abastecimento público e produção de alimentos, de acordo com o IQA, somente para navegação e geração de energia.

A tabela 4 demonstra os resultados de IQA no segundo ponto de amostragem, na extensão da Avenida Eusébio de Queirós.

**Tabela 4 – Valores de IQA calculados para o ponto 2**

<b>Mês (2016)</b>	<b>IQA</b>	<b>Qualidade</b>
Abril	57	Boa
Maio	51	Aceitável
Junho	54	Boa
Julho	49	Aceitável
Agosto	54	Boa

Valores do IQA<sub>(CETESB)</sub>: Péssima (0-19) - Ruim (20-36) - Aceitável (37-51) - Boa (52-79) - Ótima (80-100).

**Fonte: Autoria Própria.**

Com os valores de IQA obtidos a partir das análises do ponto 2, é possível observar uma pequena melhora na qualidade das águas do Arroio Modelo conforme o curso d'água se afasta do aterro sanitário, variando entre boa e aceitável no decorrer dos meses de coleta. Isto implica que o rio está sofrendo um processo natural de autodepuração e atenuação dos afluentes, porém, para que possa ser destinado ao abastecimento público, é necessário ainda passar por tratamentos físico-químicos e biológicos, já que o mesmo sofreu grandes interferências e degradação.

A tabela 5 apresenta os resultados de IQA obtidos no terceiro e último ponto em que foram realizadas as coletas, localizado no Rio Cará-cará, próximo ao distrito industrial de Ponta Grossa.

**Tabela 5 – Valores de IQA calculados para o ponto 3**

<b>Mês (2016)</b>	<b>IQA</b>	<b>Qualidade</b>
Abril	59	Boa
Maio	58	Boa
Junho	59	Boa
Julho	56	Boa
Agosto	57	Boa

Valores do IQA<sub>(CETESB)</sub>: Péssima (0-19) - Ruim (20-36) - Aceitável (37-51) - Boa (52-79) - Ótima (80-100).

**Fonte: Autoria Própria.**

Com os dados apresentados na tabela 5, nota-se que as águas do Rio Carará no ponto 3 apresentaram boa qualidade nos cinco meses de coleta, podendo ser destinadas ao abastecimento público, produção de alimentos e manutenção da biologia aquática, de acordo com o IQA. Se comparado com os demais pontos amostrados, a qualidade do corpo receptor apresentou outra melhora e isso significa que conforme o curso d'água vai avançando, ocorrem à diluição da matéria orgânica, metais e outros indicadores de contaminação que estão presentes na composição do chorume. Esse fenômeno pode ser justificado pelo processo natural de autodepuração e atenuação dos afluentes menos impactados, pelo qual o rio está passando.

Em uma análise geral dos resultados de IQA, nota-se que o ponto 1 mais uma vez é o mais impactado, ou seja, aquele em que as águas estão fortemente comprometidas. Mesmo ocorrendo uma melhoria nos demais pontos, é importante ressaltar que os valores médios de oxigênio dissolvido e coliformes fecais encontrados para os três pontos foram muito significativos, possuindo grande influência no impacto negativo não só nos dados de IQA (uma vez que exercem um peso importante na elaboração do índice), mas também na classificação do rio.

## 5 CONCLUSÃO

Diante do trabalho exposto, pode-se concluir que as águas da bacia do Rio Cará-cará que recebem o chorume produzido pelo aterro sanitário do município de Ponta Grossa está com a sua qualidade comprometida. Nota-se o comprometimento dessas águas principalmente no ponto 1, pois é esse ponto que recebe primeiramente o chorume vindo do aterro e o qual obteve os resultados mais significativos nos cinco meses de monitoramento, colocando em risco qualquer atividade desenvolvida no corpo hídrico e, principalmente, a saúde da população ribeirinha. Os pontos 2 e 3 também apresentaram em seus resultados o comprometimento das águas, não sendo apropriadas para o abastecimento público se não houver um tratamento adequado.

Além disso, os resultados comprovam que há falhas no tratamento dado ao chorume formado no aterro sanitário, sendo necessário buscar tecnologias avançadas para tratá-lo, visto que, foram encontradas altas concentrações de fósforo total, coliformes fecais, nitrogênio amoniacal e  $DBO_5$ , parâmetros que não são tratados nas lagoas de estabilização e que precisam de um tratamento específico.

A partir dos resultados obtidos e analisados de acordo com o CONAMA 357/05, pode-se afirmar que o lançamento do chorume proveniente do aterro está mudando a classe da bacia urbana. Com isso, percebe-se que mesmo apresentando melhora ao decorrer do curso d'água, ela não é significativa. Deste modo, nota-se que o aterro não está operando de forma a respeitar a Resolução CONAMA 430/11, onde afirma que o lançamento de efluentes ou outras substâncias não pode conferir mudança de classe ao corpo receptor.

Foram observadas concentrações superiores das principais variáveis ambientais que compõe o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Isso revela também, que o estado de conservação da bacia hidrográfica do Rio Cará-cará está danificado pela presença do chorume. Essas concentrações se tornam menos expressivas durante o percurso do rio devido ao processo natural de autodepuração, porém a qualidade das águas continua afetada.

Finalizando, com essas informações é possível alertar a comunidade que mora ao redor do corpo hídrico e não tem acesso à água potável, de que as águas presentes ali não são adequadas para o consumo, uma vez que essas populações

ribeirinhas podem estar consumindo-as de alguma forma. Do mesmo modo, torna-se possível sensibilizar os gestores no sentido de buscar ações que visam reduzir a contaminação causada pelo aterro que está interferindo na qualidade da bacia avaliada.

## REFERÊNCIAS

AGUDO, E. G. **Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água**. São Paulo; CETESB, 1987.

ALVES, L. **Metais**. 2016. Disponível em:  
<<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/metais.htm>>. Acesso em 20 out. 2016.

ALVES, L. **Minerais no Organismo**. 2016. Disponível em:  
<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/toxicidade-cromo.htm>>. Acesso em: 20 out. 2016.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WEF, 1995.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WPCF, 1998. p. 1569.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. **Química Nova**, v. 25, p. 470-476, 2002.

BIDONE, F.R.A. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Paulo: EESC/USP, 1999.

BRAGA, B.et al.**Introdução à engenharia ambiental**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. p. 305.

BRAGA, B.et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BRITO, I. A. **Estudo de caso do Aterro Sanitário da Caximba**. 2005. 100f. Monografia (Graduação em Ciências biológicas), UFPR, Curitiba, 2005.

CAMPOS, J. C. **Tratamento do Chorume do Aterro Sanitário de Pirai (RJ) utilizando Wetlands**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória: ABES, 2002.

CAPRONI, J. M. **Toxicidade**. Disponível em: <[http://metaispesados.xpg.uol.com.br/pages/cd\\_toxicidade.htm](http://metaispesados.xpg.uol.com.br/pages/cd_toxicidade.htm)>. Acesso em: 20 out. 2016.

CASTILHO, A.B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES RIMA, 2003.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). **Manual de gerenciamento integrado**. 3ª ed. São Paulo, 2010.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo**. Séries relatórios. São Paulo, 1997.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo**. Séries relatórios. São Paulo, 2005.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo**. Séries relatórios. São Paulo, 2009.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo**. Séries relatórios. São Paulo, 2013.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo**. Séries relatórios. São Paulo, 2014.

COAMB (Coletânea em Saneamento Ambiental). **Processos físico-químicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos**. Série Temática – Tecnologias Ambientais. UERJ, Rio de Janeiro, v. 4, p. 32, 2011.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes

ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, n. 53, Brasília, 2005.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução. Nº 430, de 17 de maio de 2011. Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União: Brasília**, Brasília, 2011. p. 01.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília: MMA, 2012. p. 1126.

DROUICHE, M. et al. A compact process for the treatment of olive mill wastewater by combining UF and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> techniques. **Desalination**, v. 169, n. 1, p. 81-88, 2004.

ELGELMANN, S. **A organização do território a partir do paradigma da agroecologia no acampamento Emiliano Zapata – Ponta Grossa – PR**, 2011. 130f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

ENVIRONMENTAL CANADÁ. **Priority Substances List – Assessment – Ammonia in the Aquática Environment – May 2000**. Canadá, 2000.

FEDEL, A. S.; PEREIRA, L. G.; VALADÃO, A. C. **Pré-assentamento Emiliano Zapata, Agroecologia e Rede de Consumo: tecendo e consolidando possibilidades**, 2013. Universidade Estadual do Paraná, 2013.

FERNANDES, Marilda O. S.; VIERA, Valmir. impactos ambientais urbanos: o caso do Arroio Poraima na cidade de Mata, RS. **Disc. Scientia: Série: Ciências Humanas**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 1, p.35-45, 2008.

GODOY et al. apud FREITAS, A. R.; CARVALHO, S. M. **O uso da terra e a legislação: o caso da bacia hidrográfica do rio Cará-cará, Ponta Grossa – PR**. 2007. Universidade Estadual do Paraná, 2007. p. 02.

GONZALEZ, C. et al. Validation procedure for existing and emerging screening methods. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 26, n. 4, p. 315-322, 2007.

HO, H. C.; CHOW, J. D., 2008 apud COSTA, W.; WIESINIESKI, J. A. Características dos sedimentos das lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa –PR, que levam à retenção de metais. **Gaia Scientia**, v. 7, n. 1, p. 01-08, 2013.

IAP (Instituto Ambiental do Paraná). **Manual do Aterro**. p. 23. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Atividades/MANUAL\\_DO\\_ATERRO.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Atividades/MANUAL_DO_ATERRO.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2016.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008**, 2010. p. 60.

ICZ (Instituto de Metais Não Ferrosos). **O Zinco e o Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/zinco-meio-ambiente.php>>. Acesso em: 20 out. 2016.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995. p. 278.

JUNIOR, A. I. S.; BIDART, A. M. F.; CASELLA, R.J. **Absorção Atômica**. Disponível em: <[http://www.ifrj.edu.br/webfm\\_send/545](http://www.ifrj.edu.br/webfm_send/545)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

LEITE, C.M.B.; BERNARDES, R.S.O.; SEBASTIÃO, A. Método Walkley-Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 111-115, 2004.

LU et al., 1985 apud COSTA, W.; WIESINIESKI, J. A. Características dos sedimentos das lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa –PR, que levam à retenção de metais. **Gaia Scientia**, v. 7, n. 1, p. 01-08, 2013.

MALHEIROS, C. H. et al. Qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola (Campo Verde, MT, Brasil). **Revista Ambiente & Água: - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.27-37, 2012.

MARINOVIC, D. et al. Purification of waters and elimination of organochloric insecticides by means of active coal. **J. Serb. Chem. Soc.**, v. 75, n. 4, p. 575-586, 2010.

MARTINS, C. L., CASTILHO, A. B.J., COSTA, R. H. R. **Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação de efluente**, 2010. Engenharia Sanitária Ambiental, v. 15 n. 4, p. 401-410. São Paulo, 2010.

MORAIS, L.D.; SIRTORI, C.; PERALTA-ZAMORA, P.G. Tratamento de chorume sanitário por fotocatalise integrada a processo biológico. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 20-23. São Paulo, 2006.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

MROSK, J. et al. **Diagnóstico e projeto de recuperação da área de lixo de Ponta Grossa, PR**, 1992. 68f. Trabalho de conclusão de curso, UEPG, 1992.

NASCIMENTO, D. **Estudo químico do solo e lixiviado do aterro controlado do Botuquara**. 2008. 140f. Dissertação (Mestrado), UEPG, Ponta Grossa, 2008.

OYGARD et al. Estimation of the mass-balance of selected metals in four sanitary landfills in Western Norway, with emphasis on the heavy metal content of the deposited waste and the leachate. **Water Research**, v. 38, p. 2851-2858, 2004.

PASCHOALATO, C. F. P. R. **Caracterização dos líquidos percolados gerados por disposição de lixo urbano em diferentes sistemas de aterramento**. 2000. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), USP, São Carlos, 2000.

PELÁGIO, P. R. F. S. Determinação de Nitrogênio Amoniacal e Cianeto em Chorume do Aterro Sanitário de Aparecida de Goiânia, Goiás. **48º Congresso Brasileiro de Química**. Rio de Janeiro, 29 set. 2008.

PENSAMENTO VERDE. **O perigo dos metais pesados no meio ambiente**. 04 out. 2013. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/perigo-metais-pesados-meio-ambiente/>>. Acesso em 20 out. 2016.

PETENATE, M. **Como analisar e interpretar um gráfico boxplot**. 04 set 2013. Disponível em: <<http://www.escolaedti.com.br/o-que-e-um-box-plot/>>. Acesso em: 10 out 2016.

PGIRS (Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos). **Prefeitura Municipal de Ponta Grossa**. Secretaria Municipal de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente. Ponta Grossa – PR, p. 26-32, 2013.

PMGIRS (Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos). **Prefeitura Municipal de Ponta Grossa**. Secretaria Municipal de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente. Ponta Grossa – PR, 2008.

PNRS (Política Nacional Dos Resíduos Sólidos). Lei nº 12.305 instituída em 2010. **Ministério do Meio Ambiente**. Brasília: MMA, 2010.

PONTA GROSSA AMBIENTAL, **Aterro Sanitário do Botuquara**, 2002. Disponível em: <<http://www.pgambiental.com.br>>. Acesso em: 27 mai. 2016.

PORTAL ACTION. **Boxplot – Estatística Básica**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/estatistica-basica/31-boxplot>>. Acesso em: 10 out 2016.

PORTAL COMUNITÁRIO. **MST reivindica água potável para o pré-assentamento Emiliano Zapata**. Ponta Grossa. 13 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.portalcomunitario.jor.br/index.php/movimento-sem-terra/4108-mst-reivindica-agua-potavel-para-pre-assentamento-emiliano-zapata>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS. **Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático**: arquivos de transparências (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

RACANICCHI, R. M.Z.V. **Influência da Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto Tipo Lagoas de Estabilização na Recuperação da Qualidade da Água do Córrego Cabeceira da Mula em Santa Fé do Sul – SP**. 2002. 90f. Dissertação (Mestrado), UNESP, Ilha Solteira, 2002.

RIANÇO, M. **Água, um recurso natural em risco de escassez**. 19 set. 2011. Disponível em: <<http://joguelimpocomanatureza.blogspot.com.br/2011/09/agua-um-recurso-natural-em-risco-de.html>>. Acesso em: 29 mar. 2016.

RIEPER, M. **Como criar um gráfico de Box-Plot no Excel**. 06 nov. 2016. Disponível em: <<http://guiadoexcel.com.br/como-criar-um-grafico-de-box-plot-excel/>>. Acesso em 10 out. 2016.

ROCHA, L. **Disposição de resíduos sólidos em uma voçoroca e seus impactos sobre as águas**: um estudo de caso em Uberlândia/MG. 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFU, Uberlândia, 2006.

RODRIGUES, M. X. **Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto urbano da ETE – Rio Verde localizada na cidade de Ponta Grossa – PR**. 2010. 52f. Monografia (Especialização em Processos Biotecnológicos), Departamento de Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2010.

ROIG, B. et al. The use of field studies to establish the performance of a range of tools for monitoring water quality. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 26, n. 4, p. 274-282, 2007.

SIGNIFICADOS. **O que são resíduos sólidos**. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/residuos-solidos/>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

SUDERHSA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos). **Qualidade das Águas Interiores do Estado do Paraná 1987-1995**, 2010. p. 10.

TAVARES, B. F. D. **Tratamento de Chorume**: Análise dos Efluentes da Evaporação Forçada. 2011. 60 f. Projeto de Graduação, UFRJ, 2011

TARTARI, L. C. **Avaliação do processo de tratamento do chorume do Aterro Sanitário de Novo Hamburgo**. 2003. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), ULBRA, Novo Hamburgo, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Água Doce**: Água no meio urbano. Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: <[http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf](http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf)> Acesso em: 29 mar. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Estud. Av., São Paulo, v. 22, n. 63, p.97-112, 2008.

UNESP/IGCE. **Módulo 12 - Disposição de Resíduos - 5. Formas de Disposição de Resíduos**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>>. Acesso em: 27 mai. 2016.

VON SPERLING, M. Modelling of coliform removal in 186 facultative and maturation ponds around the world. **Water Res.** 39:5261-5273, 2005.

WALDMANN, I. M. **Reconstruindo a História dos Campos Gerais**. 8 mai. 2013. Disponível em: <<http://isoldemariawaldmann.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 27 mai. 2016.

**APÊNDICE A** - Tabela dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados durante o período coleta, nos três pontos de amostragem

Tabela 6 – Valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos durante coleta mensal nos três pontos de amostragem

Local	Mês (2016)	OD (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	T (°C)	Turb. (UNT)	Sólidos Totais (mg/L)	DQO (mg/L)	Cond. (µS)	pH	N(NH <sub>3</sub> ) (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NTK (mg/L)	FT (mg/L)	Colif.						
														Fecais (NMP/ 100mL)	SUR (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)
Ponto 1	Abr	1,2	149	23	101	1073	267	2146	8,7	62,2	0,5	71,3	0,22	2460	2,3	0,018	0,045	<0,04	<0,02	0,26
	Mai	0,5	131	21	32,3	1267	271	2534	8,0	30	1,47	66,5	0,05	8600	1,9	0,003	0,0096	<0,04	<0,02	0,21
	Jun	1,5	139	25	102	1214	269	2395	7,6	35	1,0	56	0,11	7250	3,5	0,003	0,022	<0,04	<0,02	0,023
	Jul	2,0	84	17	126	1053	233	2106	8,4	70	1,8	75,6	0,18	320	2,9	<0,001	<0,005	<0,04	<0,02	0,047
	Ago	2,8	71	17	71	648	164	1306	8,1	7,7	5,1	45	0,29	4260	4,0	0,0012	0,0064	<0,04	<0,02	0,019
Ponto 2	Abr	4,3	6,1	23	39	158	3,1	380	7,5	14,3	0,9	22,3	0,13	1020	<0,5	0,0024	0,018	<0,04	<0,02	0,016
	Mai	6,4	7,5	21	18,4	44,4	17,5	88	6,5	0,8	0,6	3,85	0,02	960	<0,5	0,316	0,008	<0,04	<0,02	0,016
	Jun	4,2	10,3	25	32	59,2	22,9	118	6,5	0,1	0,6	2,1	0,07	2420	<0,5	0,0018	0,017	<0,04	<0,02	0,017
	Jul	5,0	15	13	38	201	32,5	403	8,7	20	0,5	25,2	0,06	590	<0,5	<0,001	<0,005	<0,04	<0,02	0,023
	Ago	4,5	9,0	17	42	101	20,3	200	6,9	3,5	0,9	6,0	0,15	613	<0,5	0,002	0,0056	<0,04	<0,02	0,012
Ponto 3	Abr	5,8	7,6	23	24	72,3	9,1	67	6,2	2,0	0,8	3,2	0,008	3260	<0,5	<0,001	0,005	<0,04	<0,02	0,011
	Mai	6,2	8,7	22	20,3	41,7	21,5	83	6,7	1,5	0,98	4,38	0,05	1400	<0,5	<0,001	0,019	<0,04	<0,02	0,11
	Jun	6,5	12	25	29	51	27,4	102	6,6	1,0	1,0	3,08	0,09	4800	<0,5	<0,001	0,023	<0,04	<0,02	0,027
	Jul	5,6	12	14	29,2	36,8	28,5	74	7,6	2,0	1,58	2,45	0,11	5100	<0,5	<0,001	<0,005	<0,04	<0,02	0,012
	Ago	3,5	7,0	18	21	37,9	16,9	76	7,2	2,1	0,2	2,5	0,25	9804	<0,5	0,0028	0,008	<0,04	<0,02	0,014

Fonte: Autoria Própria.