

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

BIANCA BORSATO MISKALO

**MEDIDOR DE EMISSÃO DE CO₂ E CH₄ EM RESERVATÓRIOS DE
USINAS HIDRELÉTRICAS NAS SUPERFÍCIES AQUÁTICAS:
Contribuição para a extensão de modelo robótico**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPO MOURÃO

2020

BIANCA BORSATO MISKALO

**MEDIDOR DE EMISSÃO DE CO₂ E CH₄ EM RESERVATÓRIOS DE
USINAS HIDRELÉTRICAS NAS SUPERFÍCIES AQUÁTICAS:
Contribuição para a extensão de modelo robótico**

**CO₂ and CH₄ emission meter in reservoirs of hydroelectric plants on aquatic
surfaces: Contribution to the extension of robotic model**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Nelson Consolin Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio Geronimo Valentin.

CAMPO MOURÃO

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

15/12/2020



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão**



BIANCA BORSATO MISKALO

MEDIDOR DE EMISSÃO DE CO2 E CH4 EM RESERVATÓRIO DE USINAS HIDRELÉTRICAS NAS SUPERFÍCIES AQUÁTICAS: CONTRIBUIÇÃO PARA A EXTENSÃO DE MODELO ROBÓTICO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Instrumentos Da Política De Recursos Hídricos.

Data de aprovação: 20 de Novembro de 2020

Prof Nelson Consolin Filho, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Eudes Jose Arantes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Lucio Geronimo Valentin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Marcilene Ferrari Barriquello Consolin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 20/11/2020.

AGRADECIMENTOS

É chegado o fim de um ciclo de muito aprendizado e dedicação. Dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida.

Aos meus pais, Márcia e Vanderlei, essenciais na minha vida, que não mediram esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida.

Ao meu noivo Carlos, que com muito carinho e apoio sempre me motivou para que eu alcançasse meus sonhos, agradeço por sempre estar ao meu lado.

A minha irmã Bruna, pelo excelente trabalho em me auxiliar nessa empreitada, agradeço por toda contribuição com o robô, a sua dedicação nesse trabalho foi de extrema importância para que ele fosse desenvolvido.

Ao Professor Doutor Nelson Consolin Filho, por ter aceitado o desafio de fazer parte desse trabalho, agradeço por toda a orientação, ideias, contribuições e cobranças.

Ao Professor Doutor Lúcio Geronimo Valentin, por fazer parte da coorientação desse trabalho, agradeço por toda a orientação, ideias e contribuições.

A toda equipe Robocó, Bruna, Duane, Emica, Lais, Larissa, Leonardo, Professor Dr. Lucio e Professor Ms. Paulo agradeço por terem iniciado esse trabalho, por toda ideia apresentada e toda contribuição. Obrigada por me aceitarem na equipe.

A família da Taline e família da Silvana, por abrirem as portas de suas casas no lago da Usina Mourão para os testes do Robô.

A todos os professores ProfÁgua que fizeram parte da minha história.

A todos os amigos, companheiros de classe, Aline, Alysson, Debora, Halana, Jonathan, Kelly, Marcio, Marly, Pauline, Rafael, Raoni, Suellen e Vanessa, por todas as horas compartilhadas durante o mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPENº.2717/2015, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR pelo apoio recebido.

“Á água é um bem de domínio público, é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.”

Art. 1º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

RESUMO

A recente intensificação das atividades humanas fez com que houvesse um aumento significativo na emissão de determinados gases, chamados de gases de efeito estufa (GEE), como por exemplo, o dióxido de carbono (CO_2) e o gás metano (CH_4). As alterações climáticas da Terra causadas pelo excesso desses gases fizeram com que as comunidades mundiais se reunissem através das Organizações das Nações Unidas (ONU) para criarem estratégias a fim de diminuir os impactos dos gases na atmosfera terrestre. De todas as atividades geradoras de GEE, o setor energético é o que mais contribui para o aquecimento global, os reservatórios das usinas hidrelétricas são potenciais emissores de gases de efeito estufa. Considerando a importância do desenvolvimento de novas políticas para desacelerar o aquecimento global, o trabalho proposto faz o uso de um estudo realizado para uma ferramenta automatizada de medição de emissão de gases, que permite identificar uma quantidade estimada de poluição em reservatórios que uma usina hidrelétrica é capaz de produzir e emitir para a atmosfera. Atualmente, esta medição é realizada através de sensores estacionários manualmente posicionados com auxílio de barcos. O modelo robótico permite a coleta de dados através de sensores de gases e se locomove na superfície aquática por meio de motores e guiado por GPS. O protótipo foi aplicado em um reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão na cidade de Campo Mourão no Paraná. O protótipo obteve um bom desempenho durante os testes em superfícies aquáticas, considerando que o reservatório em estudo está desativado, sendo utilizado apenas para lazer, os dados apresentaram baixo nível de emissão de gases de efeito estufa no local. Os dados recolhidos contribuem nos estudos para a elaboração de métodos de recuperação das condições das águas, independentemente do local aplicado, por meio de ações de preservação.

Palavras-chave: Efeito Estufa. Aquecimento Global. Usinas Hidrelétricas. Reservatórios.

ABSTRACT

The recent intensification of human activities has led to a significant increase in the emission of certain gases, called greenhouse gases (GHG), such as carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). The Earth's climate changes caused by the excess of these gases have caused world communities to come together through United Nations (UN) Organizations to create strategies to reduce the impacts of gases in the Earth's atmosphere. Of all the GHG generating activities, the energy sector is the one that most contributes to global warming, the reservoirs of hydroelectric plants are potential emitters of greenhouse gases. Considering the importance of developing new policies to slow global warming, the proposed work makes use of a study performed for an automated gas emission measurement tool, which allows to identify an estimated amount of pollution in reservoirs that a hydroelectric plant is capable of producing and emitting to the atmosphere. Currently, this measurement is performed using stationary sensors manually positioned with the aid of boats. The robotic model allows data collection through gas sensors and moves around the water surface by means of engines and guided by GPS. The prototype was applied to a reservoir at the Mourão Hydroelectric Plant in the city of Campo Mourão in Paraná. The prototype obtained a good performance during the tests on aquatic surfaces, considering that the reservoir under study is deactivated, being used only for leisure, the data presented a low level of greenhouse gas emissions at the site. The data collected contribute to the studies for the elaboration of methods for recovering water conditions, regardless of the location applied, through preservation actions.

Keywords: Greenhouse Effect. Global Warming. Hidroelectric. Reservoirs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figure 1 - Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil (TWh).	20
Figure 2- Perfil Esquemático de uma Usina Hidrelétrica.	21
Figure 3 - Geração de Energia Hidráulica no Mundo, 10 Maiores Países de 2017 (TWh).	22
Figure 4 - Representação dos fluxos de gases em reservatórios.....	30
Figure 5 - Câmara flutuante.....	31
Figure 6 - Tipos de Câmaras Flutuantes pelo Mundo.	33
Figure 7 - Câmara de ar pneu e recipiente para armazenamento de gases.	35
Figure 8 - Sensor MHZ-19.....	36
Figure 9 - Sensor MQ-2.....	36
Figure 10 - Motores e hélices.....	37
Figure 11 - Módulo GPS.....	37
Figure 12 - Bússola.	38
Figure 13 - PowerBank.....	38
Figure 14 - Sensor de pressão, altitude e temperatura (BMP280).	39
Figure 15 - Vista de cima do robô.	47
Figure 16 - Vista debaixo do robô.	48
Figure 17 - Primeiro teste do robô.....	49
Figure 18 - Robô realizando a coleta de dados.	62
Figure 19 - Robô.	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Teste Sensor MHZ-19.	45
Gráfico 2 - Teste Sensor MQ-2.	46
Gráfico 3 - Emissão de CO ₂	51
Gráfico 4 - Emissão de CO ₂	53
Gráfico 5 - Emissão de CO ₂ (pré-teste).....	55
Gráfico 6 - Emissão de CH ₄ (pré-teste).....	55
Gráfico 7 - Emissão de CO ₂	56
Gráfico 8 - Emissão de CO ₂	58
Gráfico 9 - Emissão de CH ₄	59
Gráfico 10 - Emissão de CO ₂	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre alguns gases de efeito estufa.	24
Tabela 2 - Emissão de GEE Provenientes da Geração Elétrica no Brasil (MtCO ₂). .	26
Tabela 3 - Teste sensor BMP280.	46
Tabela 4 - Resultados de emissão de CO ₂ , temperatura ambiente e altitude através do monitor serial do Arduino.	50
Tabela 5 - Dados do sensor BMP280.	52
Tabela 6 - Sensor BMP280.	53
Tabela 7 - Dados do sensor BMP280.	57
Tabela 8 - Dados do sensor BMP280.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1 Energia Elétrica no Brasil	19
4.1.1 Energia Hidráulica.....	20
4.2 Efeito Estufa	22
4.3 Gases de Efeito Estufa em Usinas Hidrelétricas	25
4.3.1 Formas de emissão de gases de efeito estufa proveniente de reservatórios	27
4.4 Método de Amostragem de Concentrações e Fluxos de Gases	30
5 MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1 Modelo Eletrônico para Medição de Gases CO₂ e CH₄	34
5.2 Testes dos Componentes	39
5.3 Aplicação em Superfície Aquática	40
5.3.1 Caracterização da Área de Estudo	41
5.3.2 Aplicação no Reservatório	42
5.4 Análise dos Dados	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1 Testes dos Componentes	44
6.2 Testes em Superfície Aquática	47
6.2.1 Teste em lago do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira	48
6.3 Testes no Reservatório da Usina Mourão	50
6.3.1 Testes em área afastada da área urbanizada.....	50
6.3.2 Testes em área urbanizada	54
7 PRODUTO	63
8 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	67
ANEXO A – MAPA HIDRO-GEOLÓGICO DO ESTADO DO PARANÁ	74
ANEXO B – LOCALIZAÇÃO E DETALHE DA BACIA HIDROGRÁFICA	76
ANEXO C – MAPA DE DRENAGEM	78

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento da atmosfera é considerado um fenômeno natural, pois é a interação dos processos naturais da radiação solar com a radiação térmica do planeta. A intensificação das atividades humanas fez com que houvesse um aumento significativo na emissão de determinados gases. Esse aumento é chamado de efeito estufa, pois os gases interagem com a radiação térmica da terra, tendo como semelhança as estufas construídas por homens para o cultivo de plantas, segundo Miranda (2012).

No aquecimento global, a retenção de calor é feita através da presença de gases na atmosfera, chamados de gases de efeito estufa (GEE), eles permitem a passagem de radiação solar, que de acordo com Schuter (2010) são fundamentais para manter a temperatura média da terra. Esses gases são gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4), outros gases como ozônio, clorofluorcarbonetos, composto de bromo e iodo também afetam o efeito estufa, porém, esses outros gases se apresentam em baixa concentração.

As alterações climáticas da Terra causadas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera fez com que as comunidades mundiais se reunissem através das Organizações das Nações Unidas (ONU) para criarem estratégias a fim de diminuir os impactos no ambiente.

Em 1979 foi realizada a primeira Conferência Mundial do Clima que apontou para a necessidade de uma cooperação entre as nações para o desenvolvimento de uma estratégia global para o entendimento do funcionamento e uso racional do sistema climático (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1979). Houve uma evolução nos encontros e dez anos mais tarde foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em que os governos tiveram uma visão clara sobre o que está acontecendo com o clima mundial. No ano de 1992, a ONU reuniu os países para estabilizar as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera de modo que não interferissem no sistema climático de forma perigosa. A partir deste encontro foi estabelecido o Protocolo de Kyoto, que trouxe compromissos reais e estabeleceu a redução das emissões de gases de efeito estufa (UNITED NATIONS, 1998).

De acordo com o Protocolo de Kyoto, em um período de 2008 a 2012, considerou que 1 t de CH₄ corresponde a 21 t de CO₂. Estudos mais recentes do protocolo aumentaram a proporção de 21 t para 34 t, incluindo efeitos de gás aerossol. A quantidade de metano é menor que de dióxido de carbono na água, porém é a que mais preocupa. Apenas uma parte do gás carbônico tem impacto no efeito estufa, pois uma porcentagem dele é perdida por absorção.

No ano de 2017 foi realizada a COP21 (21^a Conferências das Nações Unidas sobre Mudança Climática), na qual foi adotado um novo acordo para substituir o Protocolo de Kyoto, uma vez que ele teria sua data de vencimento no ano de 2020. O novo protocolo de substituição tem como nome Acordo de Paris. O novo acordo tem como objetivo e compromisso, manter o aumento da temperatura média da terra em menos de 2°C.

Para alcançar o objetivo do Acordo de Paris, cada país se comprometeu a ter sua própria meta. O Brasil comprometeu-se a reduzir em 37% a emissão de gases de efeito estufa comparados aos dados de 2005, até 2025. Para isso, o país terá que aumentar a participação de bioenergia sustentável em 18%, reflorestar 12 milhões de hectares e alcançar a participação em energias renováveis em 45% (MMA, 2017). A conferência das nações unidas mais recente foi realizada no ano de 2019 na cidade de Madri, Espanha, batizada de COP25. O encontro teve como pauta o mercado de carbono. Durante a reunião foi apresentado diversos relatórios a respeito da emissão dos gases de efeito estufa. Um deles foi publicado pela Organização Mundial Meteorológica (2019), informando um novo recorde nas emissões de gases na atmosfera, contabilizando 407,8 partes por milhão em 2018.

O efeito estufa está intimamente associado à elevação do consumo de energia. A produção de energia está relacionada com o desenvolvimento da sociedade, trazendo diversos benefícios: utilização de aparelhos elétricos, preparação e conservação de alimentos, conforto térmico, transporte de pessoas e cargas, entre outros. Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético. Isto advém do fato deste ser um país tropical com invernos moderados, e por aproximadamente 45% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 80% da energia elétrica brasileira é gerada por usinas hidrelétricas (EPE, 2018).

Em 2018, o observatório do clima, SEEG, publicou um documento de análise de emissões de GEE no Brasil. O relatório explica que o setor de energia – incluindo

produção e consumo de combustíveis e energia elétrica – representa a terceira maior fonte de emissões brutas de GEE no Brasil, com 19% do total de 2016 (423,4 milhões de toneladas de CO₂ de emissões), atrás apenas a agropecuária e mudança de uso do solo. Este é o setor onde mais cresceram as emissões no período avaliado, um aumento de quase quatro vezes entre 1970 e 2016.

Paralovo (2017) evidencia que ao longo das duas últimas décadas os reservatórios de usinas hidrelétricas têm sido criticados no tocante ao rótulo de “fonte limpa de energia” em virtude do seu potencial de emissão de gases de efeito estufa (GEE) (YANG et al., 2014). Hoje, reservatórios desse tipo cobrem uma área de mais de 300.000 km² (BARROS et al., 2011; DEEMER et al., 2016). Por outro lado, há também evidências de que esses reservatórios podem atuar ao mesmo tempo como sumidouros de carbono, conferindo assim uma grande complexidade no papel dos reservatórios no ciclo global do carbono (MENDONÇA et al., 2012). As pesquisas nesta temática têm concentrado esforços para elucidar o real papel dos reservatórios na dinâmica do carbono, por meio da medição e quantificação dos fluxos de GEE na superfície ar-água (KEMENES et al., 2011; MENDONÇA et al., 2012; TEODORU et al., 2012; MANNICH, 2013; LORKE et al., 2015).

Para a execução de uma hidrelétrica é necessário um estudo minucioso para não prejudicar o meio ambiente na região. Quando são decididos os investimentos que devem ser feitos em energias elétricas, deve ser levada em conta a emissão de GEE nas barragens de hidrelétricas.

Em setembro de 2015, a ONU em comemoração ao seu septuagésimo aniversário decidiu junto aos chefes de Estado e de Governo criar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS são uma agenda composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidas até 2030. Para isso são previstas ações mundiais em diversas áreas sendo dividida em quatro dimensões: social, ambiental, econômica e institucional.

Alguns fenômenos impulsionaram a emissão de gases e a quantidade de dióxido de carbono emitido no ano de 2020 pode chegar a 417,4 ppm, um crescimento de 2,75 ppm em relação aos anos passados (KAHN, 2020).

Um dos objetivos sustentáveis é assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Até o ano de 2030 deve-se melhorar a qualidade da água, reduzir a poluição, aumentar substancialmente a

eficiência do uso da água, proteger e restaurar ecossistemas, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, entre outras metas (UNITED NATIONS, 2015).

Outro objetivo sustentável é a tomada de medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima; integrar medidas políticas, estratégias e planejamento da mudança do clima; melhorar a conscientização e a capacidade humana de mitigação e redução de impacto da mudança climática; implementar os compromissos assumidos pelos países para aumentar a capitalização e reforçar o combate a mudança climática; e por fim, promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento e gestão eficaz (UNITED NATIONS, 2015).

A medição de gases de efeito estufa ganha ainda mais importância diante dos recentes estudos de mudanças climáticas. Estes estudos podem contribuir para o desenvolvimento de novas políticas públicas de diminuição do impacto ambiental e dessa forma desacelerar o aquecimento global.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propôs-se uma nova ferramenta de medição CO₂ e CH₄ através de um modelo eletrônico, que permitiu identificar uma quantidade estimada de poluição que o reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão, localizado na cidade de Campo Mourão – PR é capaz de produzir e emitir para a atmosfera. Verificou-se então a eficiência do modelo para confiabilidade dos dados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estendeu-se o estudo da ferramenta automatizada de medição de gases CO₂ e CH₄ em meios aquáticos;
- Realizou-se os testes de todos os sensores presentes do modelo robótico para averiguar a operacionalidade dos itens;
- Aplicou-se o protótipo na superfície aquática do reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão, para obter dados de medição.

3 JUSTIFICATIVA

O aumento das emissões de gases de efeito estufa com origem antrópica tem se mostrado uma área de grande interesse por parte de pesquisadores em anos recentes (TRAVINK et al., 2009; BARROS et al., 2011).

Mannich (2013) alerta para o fato de que as emissões de GEE podem consistir em um falso problema, considerando que o atual discurso de desmitificar a geração hidrelétrica como limpa e renovável corre o risco de criar um falso mito, sendo que tende ao alto potencial de emissões de GEE. O problema das emissões desses gases está diretamente associado às diversas interações complexas envolvendo a qualidade da água.

Considerando que os órgãos exigem um estudo sobre a emissão de GEE, para a aprovação do projeto de uma usina hidrelétrica, eles serão baseados em informações já existentes sem a consolidação de um método padrão para os posicionamentos definitivos na contribuição da emissão poluidora das usinas.

O grande questionamento sobre isso é: Como medir a quantidade de emissão de gases que um reservatório de uma usina hidrelétrica é capaz de emitir? O produto foi criado justamente para responder a essa questão de maneira acessível, otimizando o tempo do estudo, com um bom resultado e precisão dos dados, garantindo informações consolidadas.

De acordo com o que foi exposto acima, os desafios de envolver a problematização das emissões de gases de efeito estufa durante a vida de um reservatório hidrelétrico são muitos. Desta maneira, pode-se afirmar que uma pesquisa neste campo do conhecimento é de grande importância para o gerenciamento dos recursos hídricos de maneira sustentável.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Energia Elétrica no Brasil

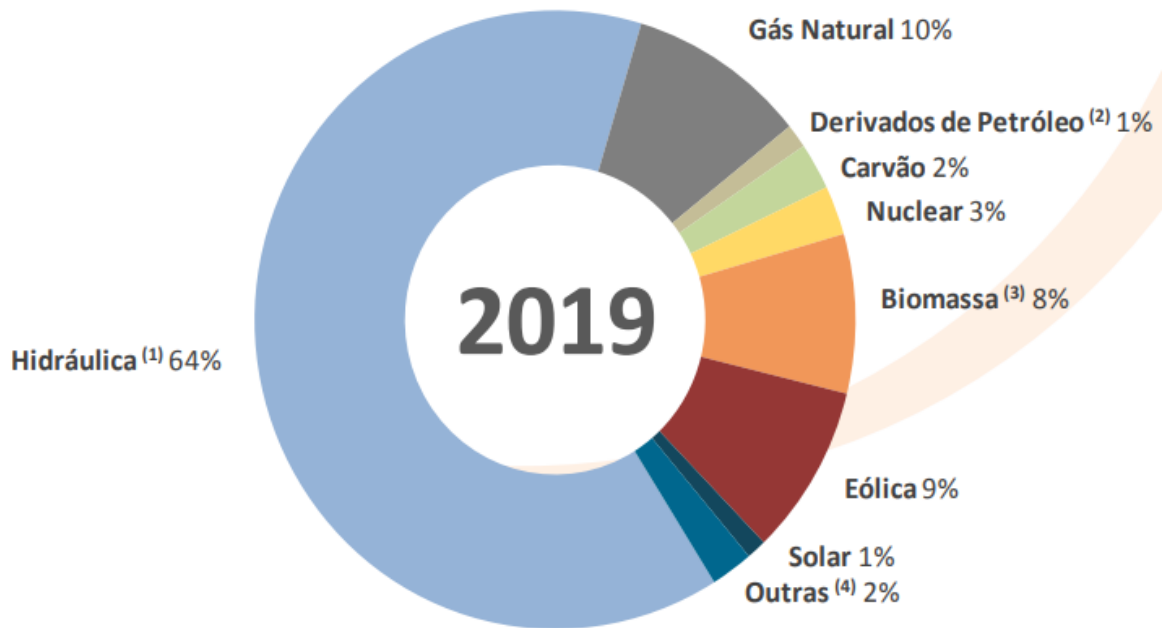
Segundo o Relatório de Análise das Emissões de GEE realizado pelo Observatório do Clima (2019), o setor de energia representa a terceira maior fonte de emissões de gases de efeito estufa do Brasil, com 21% do total nacional em 2018. Também é o setor no qual as emissões mais cresceram no período avaliado: um aumento de quase quatro vezes desde 1970.

Ainda segundo o relatório do Observatório do Clima, desde 2009 quando foi aprovado a Política Nacional sobre Mudança Climática, as emissões do setor de energia cresceram aproximadamente 17%, por conta do aumento do consumo de combustíveis e a expansão da energia termelétrica, que teve seu aumento por conta da escassez de chuvas e crise hídrica.

A principal fonte de emissões no setor de energia são os transportes: em 2018 eles responderam por 200,2 milhões de toneladas de CO₂. Em seguida vêm as emissões por consumo de energia na indústria, com 61,8 MtCO₂, a produção de combustíveis, com 54,5 MtCO₂ e a geração de energia elétrica, com 48,7 MtCO₂ (SEEG, 2019).

Na Figura 1, retirada do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, pode-se observar a composição da matriz energética no Brasil no ano de 2019. A energia hidráulica, fornecida pelas Usinas Hidrelétricas, corresponderam a 64% da produção de energia no ano estudado.

Figure 1 - Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil (TWh).



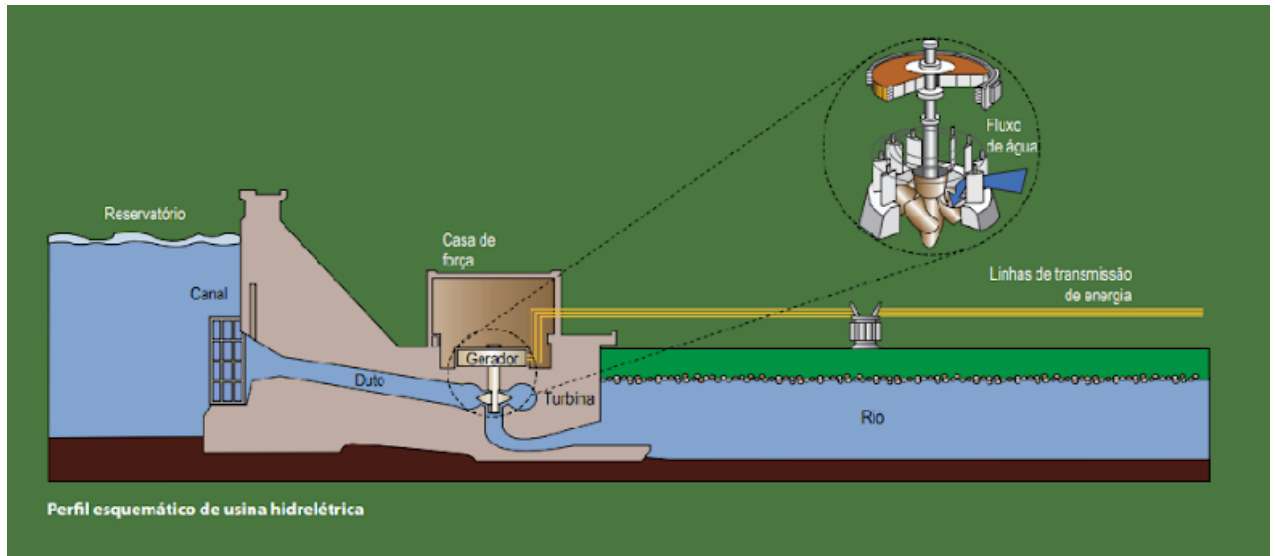
Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2020).

4.1.1 Energia Hidráulica

Para produzir a energia hidrelétrica é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente (ANEEL, 2008).

Uma usina hidrelétrica é composta por uma barragem para captação e adução de água, casa de força e vertedouro. A barragem possui o objetivo de interromper o curso natural do rio e permite a formação de um reservatório. Além de estocar a água, o reservatório tem a função de formar um desnível para captação da água em volume adequado para formação da energia. Os sistemas de captação e adução são formados por dutos que levam a água até a casa de força, para então transformar a força da água em energia elétrica. Por último, tem-se o vertedouro, que permite a saída da água quando o reservatório ultrapassa o limite, isso ocorre quando o excesso de vazão ou de chuva. Na Figura 2, abaixo é possível verificar o perfil esquemático de uma usina hidrelétrica.

Figure 2- Perfil Esquemático de uma Usina Hidrelétrica.



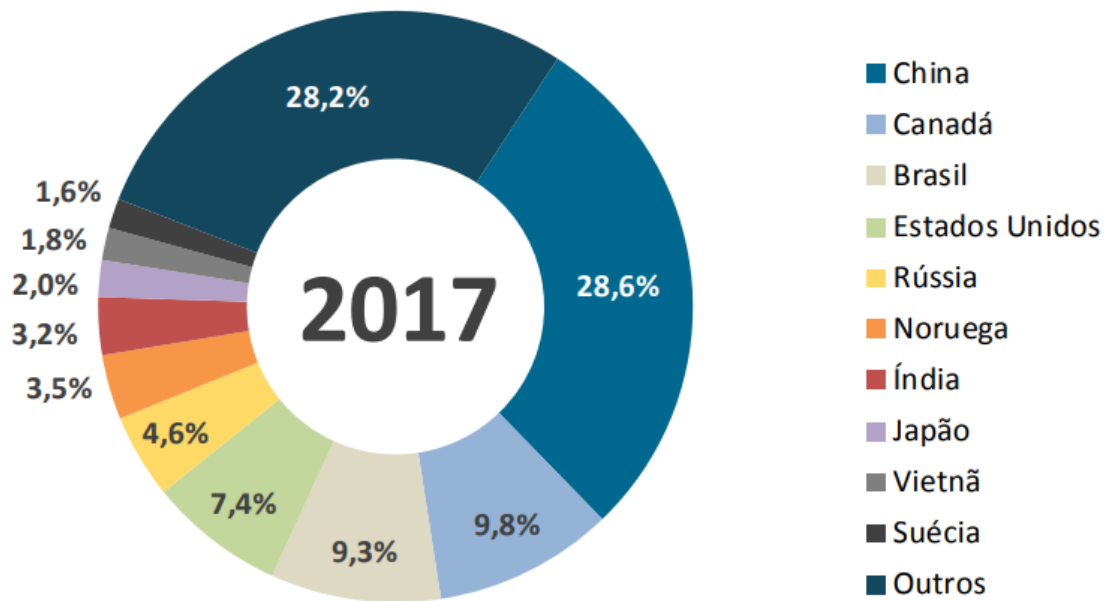
Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 2008.

No Brasil existem 5 principais usinas hidrelétricas que geram grande volume de energia, são elas: Usina Hidrelétrica de Itaipu (Paraná), Usina Hidrelétrica de Belo Monte (Pará), Usina Hidrelétrica São Luiz do Tapajós (Pará) e Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Pará) e Usina Hidrelétrica de Santo Antônio (Rondônia).

As hidrelétricas são responsáveis por produzirem cerca de 70% da energia disponível para consumo no Brasil, ou seja, é a principal geradora de energia no país, sendo que 40,5% do potencial hidrelétrico do país está localizado na Bacia Hidrográfica do Amazonas, porém é na Bacia do Rio Paraná em que há a maior produção de energia hidráulica, pela Itaipu Binacional. Essa bacia possui rios que passam por grandes cidades como São Paulo, poluindo a água que chega até a Usina (SHIMAKO, 2018).

Abaixo, na Figura 3, são mostrados os dados recolhidos pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica, sobre os 10 países que geraram mais energia hidráulica no ano de 2017.

Figure 3 - Geração de Energia Hidráulica no Mundo, 10 Maiores Países de 2017 (TWh).



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2020).

O Brasil foi o terceiro país que mais produziu energia hidráulica no mundo no ano de 2017. Sem considerar a soma dos demais países que não entraram na lista, nomeado de outros, o país produziu cerca de 9,3%, ficando atrás do Canadá que produziu 9,8% de energia hidráulica, e da China, campeã da produção de energia hidráulica com 28,6% da produção.

4.2 Efeito Estufa

A alteração da concentração de gases de efeito estufa poderá desencadear um aumento da temperatura média da terra entre 1,8 e 4,0°C até o ano de 2100, segundo um relatório publicado pelo IPCC (2013), o qual considera que os próximos 20 a 30 anos serão cruciais para garantir que as temperaturas médias do planeta não subam mais do que 2 a 2,4°C.

“O efeito estufa é um fenômeno natural, controlado por determinados gases presentes na atmosfera, que é responsável pela manutenção das temperaturas que se encontram na superfície terrestre. A intensificação do “efeito estufa” poderá aquecer o planeta e trazer consequências no clima e no ciclo hidrológico, afetando a fauna e flora na terra, além de permitir o aumento do nível dos oceanos pelo derretimento de gelo nas zonas polares e pela expansão térmica da água no mar” (MANNICH, 2013).

O aumento dos gases tem impacto na agricultura, biodiversidade, aumento de doenças endêmicas, frequência de enchentes e secas, mudanças hidrológicas, disponibilidade e qualidade da água. Há um acúmulo de evidências que mostram que a mudança climática já está acontecendo, deixando o planeta mais vulnerável. Ainda de acordo com o relatório do IPCC (2013) todos os continentes terão seus níveis de vulnerabilidade alterados. O relatório prevê para a América Latina:

- Reduções de água no solo que podem acarretar uma substituição gradual da floresta tropical por savana no Leste da Amazônia;
- Salinização e desertificação de terras agrícolas;
- A elevação do nível do mar pode provocar risco maior de inundações nas áreas de baixa altitude;
- Projeta-se que as mudanças nos padrões de precipitação e o desaparecimento das geleiras afetem de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia.

Desde a revolução industrial, a concentração de dióxido de carbono, um dos principais gases de efeito estufa, tem crescido significativamente. Isto tem contribuído para aumentar o aquecimento global. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera é 370 ppm (30% a mais que 1750) (UNEP, 2005).

Sbrissia (2008) explica que o índice de aquecimento global – IAG (Global Warming Potencial – GWP), define a força radiativa cumulativa causada por unidade de massa de um gás emitido. O índice é definido entre o momento que o gás foi emitido e algum horizonte de tempo escolhido, é expresso em relação a algum gás de referência como, por exemplo, o dióxido de carbono.

A Tabela 1 apresenta informações sobre alguns gases de efeito estufa, que contribui para o aquecimento global, comparado ao CO₂. Alguns gases agredem o ambiente de uma maneira muito mais intensa que o dióxido de carbono, porém, seu efeito depende da concentração do gás na atmosfera. Cada molécula de gás

apresenta uma capacidade de absorção de energia no espectro de radiação, dependendo de características individuais de vibração (WAYNE, 2000).

Tabela 1 - Informações sobre alguns gases de efeito estufa.

Nome	Fórmula Química	Abundância	Tempo de residência (anos)	Eficiência Radiativa	Potencial de Aquecimento Global	
					Atual	Prognóstico para 100 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	365 ppmv	*	1,4x10 ⁻⁵	1	1
Metano	CH ₄	1,72 ppmv	12	3,7x10 ⁻⁴	26,4	25
Óxido Nitroso	N ₂ O	312 ppbv	114	3,03x10 ⁻³	216,4	298
CFC-11	CCl ₃ F	0,27 ppbv	45	0,25	17857	4750
Halon-1301	CBrF ₃	0,002 ppbv	65	0,32	22857	7140
HCFC-22	CHClF ₂	0,11 ppbv	12	0,2	14285	1810
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	2 pptv	14	0,16	11428	1430

FONTE: Adaptado de BAIRD (2002).

No que concerne à influência antropogênica, o CO₂ é considerado pelo IPCC (2007a), o GEE mais importante e cuja concentração vem crescendo na atmosfera. De acordo com a Tabela 1, o gás metano sucede o dióxido de carbono em importância, apesar de apresentar maior eficiência radiativa por molécula. Possui origem antrópica tendo como fonte principal as áreas inundadas.

O óxido nitroso (N₂O) tem origem natural em processos de nitrificação e desnitrificação, muito presente em aterros sanitários, queima de combustíveis que contêm nitrogênio e uso de fertilizantes.

Outros compostos como o ozônio, os clorofluorcarbonetos (CFC), hidroclorofluorcarbonetos (HCFC), hidrofluorcarbonetos (HFC), compostos com bromo e iodo, entre outros apresentados por IPCC (2007b), também podem afetar o efeito estufa apesar de suas baixas concentrações, porque apresentam tempo de residência elevado.

4.3 Gases de Efeito Estufa em Usinas Hidrelétricas

De todas as atividades geradoras de GEE, o setor energético é o que mais contribui para o aquecimento global. Segundo a International Energy Agency, (2018) o consumo global de energia em 2018 quase dobrou da taxa média de 2010, com esse aumento as emissões de CO₂ aumentaram 1,7%.

As emissões de reservatórios variam amplamente com a localização geográfica, tipo de vegetação do entorno do reservatório, temperatura, sazonalidade, tamanho e profundidade do reservatório, profundidade da tomada de água das turbinas, operação da barragem, dentre outros fatores (SBRISSIA 2008). Diferentes regiões em termos de fluxos de CH₄ podem ser observadas nos reservatórios devido a dependência de biomassa afundada, alterações nos níveis dos rios, entrada de matéria orgânica e o regime de operações nas barragens. A região encontra-se sub-representada no cenário de emissões de gases de efeito estufa, levando em conta fluxos de lagos de climas frios e temperados (JUNIOR 2017).

Segundo Faria (2015), após a produção, CO₂ e CH₄ são liberados na atmosfera através de quatro vias principais:

- Difusão na área do reservatório;
- Ebulição no reservatório;
- Desgaseificação de saída;
- Difusão e ebulição a jusante da barragem.

Uma grande taxa de emissão de gases é concentrada no início da vida de uma hidrelétrica. As emissões em barragens começam durante a sua construção, com cimento e aço, além da emissão por meio do uso de combustível.

Os gases emitidos pelos reservatórios se originam da decomposição de três fontes: da biomassa original inundada, da biomassa formada pelo processo de fotossíntese nas águas do reservatório e da matéria orgânica proveniente da bacia de drenagem do reservatório. A decomposição diminui progressivamente a quantidade de biomassa inundada, e a proporção da sua contribuição para a emissão de gases diminui com o tempo, sendo a maior contribuição gerada nos primeiros três anos depois da inundação (SANTOS et al., 2005).

Na Tabela 2, é possível verificar uma quantidade estimada que as usinas hidrelétricas emitiram de gases para a atmosfera entre os anos 2015 a 2019.

Tabela 2 - Emissão de GEE Provenientes da Geração Elétrica no Brasil (MtCO₂).

	2015	2016	2017	2018	2019	% (2019/2018)	Part. %
TOTAL	89,6	64,4	61,1	52,7	56,3	6,8	100,0
SIN	69	45,4	43,1	33,7	34,7	3,0	61,6
Autoprodução	16,4	16,7	16,9	17,1	17	0,0	30,3
Isolados	4,2	2,4	1,1	2	4,6	134,4	8,1

Fonte: Adaptado de Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2020).

O SIN (Sistema Interligado Nacional) é um sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil. A interconexão dos sistemas elétricos entre as regiões permite a transmissão e o atendimento ao mercado com segurança. A capacidade de geração do SIN é composta principalmente por usinas hidrelétricas distribuídas no país, além de outras formas de produção de energia, como eólica, térmicas, entre outras. A produção de energia por hidrelétricas corresponde a 61,6% da participação no país.

Já a autoprodução, que corresponde a 30,3% de participação na emissão de gases, são pessoas físicas ou jurídicas que recebem a concessão ou autorização para produzir energia elétrica para um uso exclusivo. Os sistemas isolados, são qualquer tipo de produção de energia elétrica que não esteja conectada ao SIN.

De acordo com a Tabela 2, é possível verificar que somando todos os sistemas de produção de energia elétrica através das hidrelétricas houve um aumento de 6,8% no ano de 2019 em relação ao ano anterior. Um aumento significativo quando se trata de aquecimento global, no momento ao qual estamos correndo contra o tempo para diminuir o aumento da temperatura da terra.

Fearnside (2015) em seu livro “Hidrelétricas” afirma que diferentes barragens variam em termos do tempo necessário para começar a ter emissões menores do que termelétricas por unidade de eletricidade gerada, mesmo numa base instantânea, isto é, para as emissões anuais caírem a um nível inferior ao que é necessário para produzir a mesma energia a partir de combustível fóssil, omitindo os impactos acumuladas do pico inicial de emissões.

4.3.1 Formas de emissão de gases de efeito estufa proveniente de reservatórios

A emissão dos gases de efeito estufa em reservatórios é controlada pelo transporte físico destes gases a partir do sedimento e da coluna de água. Os modos de transportes mais importantes em ambientes continentais (não marinhos) são: difusão molecular, ebulição, advecção causada pela mistura turbulenta da água e transporte via plantas aquáticas (HUTTUNEM; MARTIKAINEM, 2005).

Existem três fatores que são responsáveis pela produção de gases de efeito estufa nas hidrelétricas:

1. A decomposição da vegetação preexistente, das árvores atingidas pela inundação de áreas usadas para a construção do reservatório;
2. A ação de algas primárias que emitem CO₂ nos lagos de usinas;
3. O acúmulo nas barragens de nutrientes orgânicos trazidos por rios e chuvas.

Os GEE podem ser gerados a partir da decomposição da matéria orgânica (MO) presente na massa líquida ou depositada no sedimento de fundo do reservatório. Segundo Iha (2008), essa matéria pode ser oriunda de diferentes fontes, entre as principais:

- Biomassa e MO do solo, submersos durante o enchimento do reservatório;
- MO proveniente da bacia de drenagem do reservatório, consistindo em material dissolvido e particulado;
- MO gerada no próprio sistema a partir da fotossíntese do fitoplâncton, periphyton e macrófitas aquáticas, que crescem na água ou sobre, no perímetro do reservatório.

A matéria orgânica que é convertida em metano vem de fontes em dois grupos: os estoques iniciais tais como as folhas das árvores na área inundada e o carbono no solo inundado, e os estoques renováveis, tais como as macrófitas que crescem na água e as ervas que crescem na zona de deplecionamento, ou seja, o grande lamaçal que forma anualmente quando o nível da água é rebaixado no reservatório. A vegetação na zona de deplecionamento é enraizada no fundo, onde, na hora que o nível da água sobe, ela decompõe na zona sem oxigênio e gera metano. Quando crescem as plantas retiram carbono do ar em forma de CO₂ pela fotossíntese,

e quando morrem inundadas elas devolvendo este carbono em forma de CH_4 . Por ser uma emissão que se repete todo ano de forma sustentável, a hidrelétrica funciona como uma “fábrica de metano” (FEARNSIDE, 2008).

Outro tipo de contribuição ao aquecimento global vem da floresta que é inundada. O estoque de carbono leva a emissão de CO_2 pela decomposição das árvores mortas. Essa emissão soma-se a grande produção de metano pela decomposição das folhas que caem dessas árvores abaixo da água.

Sbrissia (2008) explica que os gases de efeito estufa são gerados no sedimento do reservatório e ficam dissolvidas na água intersticial. O metano e nitrogênio gasoso, que são menos solúveis que o dióxido de carbono, se agregam em forma de bolhas. Estas bolhas crescem até um ponto que não conseguem mais ficar presas dentro do sedimento e, então, se soltam e migram para a superfície da água. O dióxido de carbono tende a ficar retido na água porque é mais solúvel, mas uma fração pequena entra nas bolhas. Nem todo metano gerado no sedimento é liberado em forma de bolhas. Em águas rasas, parte do metano se difunde até a superfície. Geralmente, em profundidades maiores que 30 metros, todo metano pode ser emitido através do processo de difusão porque a pressão da coluna de água não possibilita a formação de bolhas. Nas camadas mais superficiais do reservatório, a concentração de oxigênio aumenta. As bactérias presentes nestas camadas do reservatório podem produzir dióxido de carbono a partir do metano e oxigênio. Então, a camada oxigenada do reservatório funciona como sumidouro de metano. Da mesma maneira que a fotossíntese é um sumidouro para o dióxido de carbono (SANTOS et al., 2005).

Águas lólicas e turbulentas são bem oxigenadas e não apresentam condições para a formação de metano, que é produto da degradação da matéria orgânica em condições anaeróbias. Em águas lânticas, particularmente em águas estratificadas, o hipolímnio, parte da água no fundo do reservatório, é anóxico, e apresenta condições para a metanogênese. O metano, então formado, se difunde através da coluna de água ou forma bolha no sedimento, que irão se mover em direção à superfície da água. O metano que difunde é um substrato para a bactéria metanotrófica e é rapidamente consumido por estes microorganismos, se houver disponibilidade de oxigênio. Portanto, se o corpo de água for profundo, somente uma pequena quantidade de metano alcançará a superfície da água. Quando a metanogênese é intensa, a concentração de oxigênio diminui, expandindo a zona anóxica. A zona

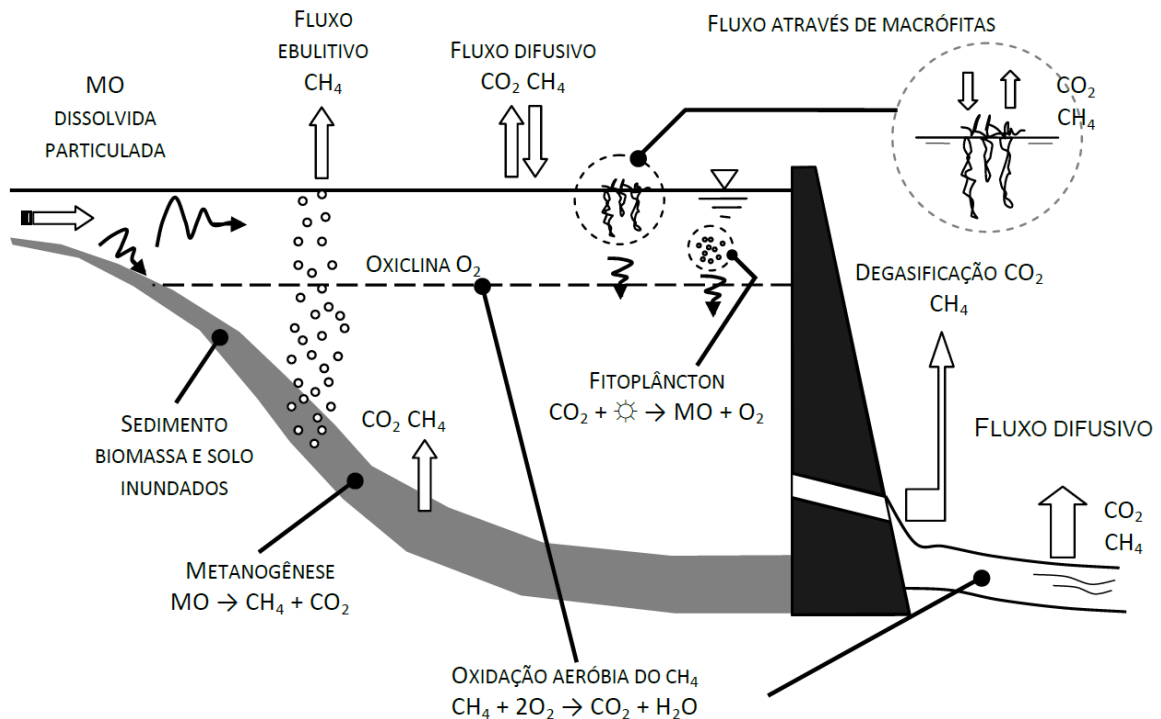
oxigenada do reservatório irá diminuir e se a profundidade do corpo de água não for grande o suficiente, o processo de oxidação será insuficiente para remover todo o metano. Por outro lado, a ebulição, transporte de massa através das bolhas, faz o metano indisponível para as bactérias metanotróficas enquanto ele se move do sedimento do reservatório até a superfície da água, o que faz o metano entrar direto na atmosfera (SVENSSON, 2005).

Ebulição e difusão parecem não ser os únicos fenômenos de emissão de gases de efeito estufa por reservatórios. Estudos mostram que um dos principais caminhos de emissão pode ser a difusão de gases quando a água passa na turbina da usina. Isto ocorre porque a turbina cria uma mudança brusca na pressão e temperatura da água, o que reduz a solubilidade do metano e dióxido de carbono na água. Consequentemente, a maior parte do metano e dióxido de carbono presente na água antes de passar pela turbina é liberado para atmosfera assim que a água passa pela turbina. Apesar de que, tanto o dióxido de carbono quanto o metano são liberados quando a água passa pela turbina, a emissão do metano é mais acentuada neste processo. A razão para isso é que a concentração de metano cresce com a profundidade da coluna de água. A água que passa pela turbina é geralmente tomada na parte de baixo da barragem e contém uma concentração maior de metano (FEARNSIDE, 2002).

Mannich (2013) explica que um reservatório é notadamente caracterizado por regiões ou compartimentos com características físicas, químicas e biológicas distintas. Nas regiões com boa disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD) na água do reservatório, a decomposição da MO ocorre por processo biológico tipicamente aeróbio e os produtos são o CO_2 e a água (H_2O). Nas regiões que apresentam condições de ausência de oxigênio, a decomposição da MO se dá pelo processo anaeróbico com a formação de CH_4 e, secundariamente, de CO_2 .

A Figura 4 ilustra de forma simplificada os processos e os fluxos de GEE em reservatórios.

Figure 4 - Representação dos fluxos de gases em reservatórios.



FONTE: IHA (2008).

Portanto, a produção de CO_2 e CH_4 depende do oxigênio dissolvido e dos nutrientes. Depende também da temperatura, dos organismos e do tipo de matéria orgânica. Complementarmente, as condições de anoxia no sedimento e na coluna de água estão relacionadas à estratificação física, temperatura e quantidade de matéria orgânica (IHA, 2008).

4.4 Método de Amostragem de Concentrações e Fluxos de Gases

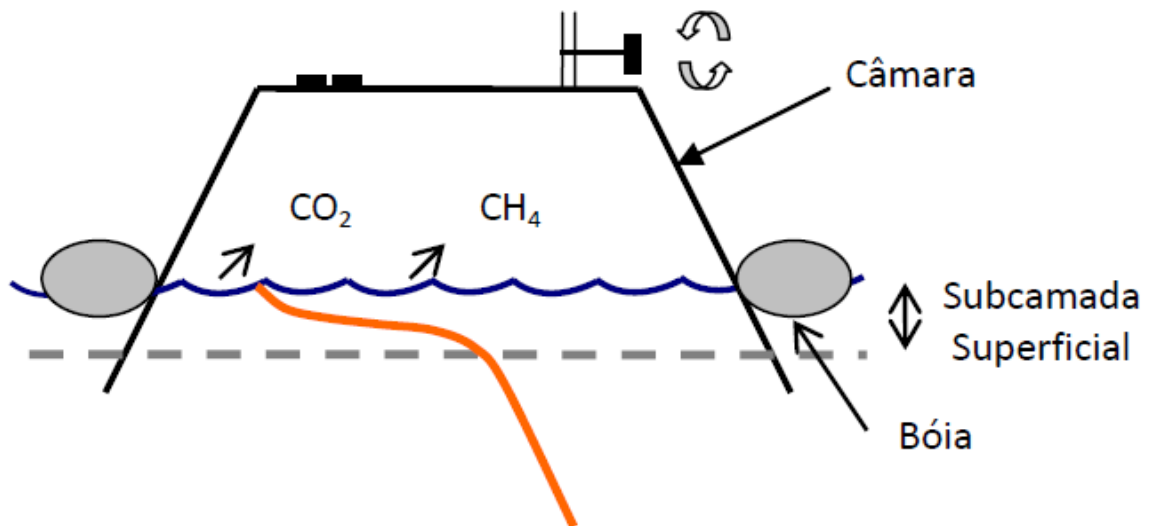
Os fluxos de GEE para a atmosfera através da superfície do reservatório podem ser mensurados/estimados por meio das seguintes técnicas: (I) medição de fluxo através da interface ar-água; (II) medição da concentração dos gases na água e aplicação de equações empíricas; (III) baseado em teoria das covariâncias turbulentas (LAMBERT; FRÉCHETTE, 2005).

As medições diretas são realizadas por meio de funis para coleta de bolhas, instaladas abaixo da superfície da água, e de câmaras de difusão, instaladas na superfície da água, na qual são armazenados os gases emitidos (MANNICH, 2013).

De acordo com Anderson (2005) o método de medição de campo através de câmaras é bastante simples, mas não existe uma norma técnica que especifique como estas câmaras devem ser fabricadas e nem uma norma técnica sobre a metodologia de amostragem. É importante usar na fabricação da câmara um material que não absorva o gás de interesse e nem seja afetado pela difusão do ambiente. O ar dentro das câmaras estáticas deve ser bem misturado para evitar áreas vazias, particularmente em câmaras retangulares.

Na Figura 5, pode-se observar como uma câmara flutuante funciona.

Figure 5 - Câmara flutuante.



FONTE: Mannich (2013).

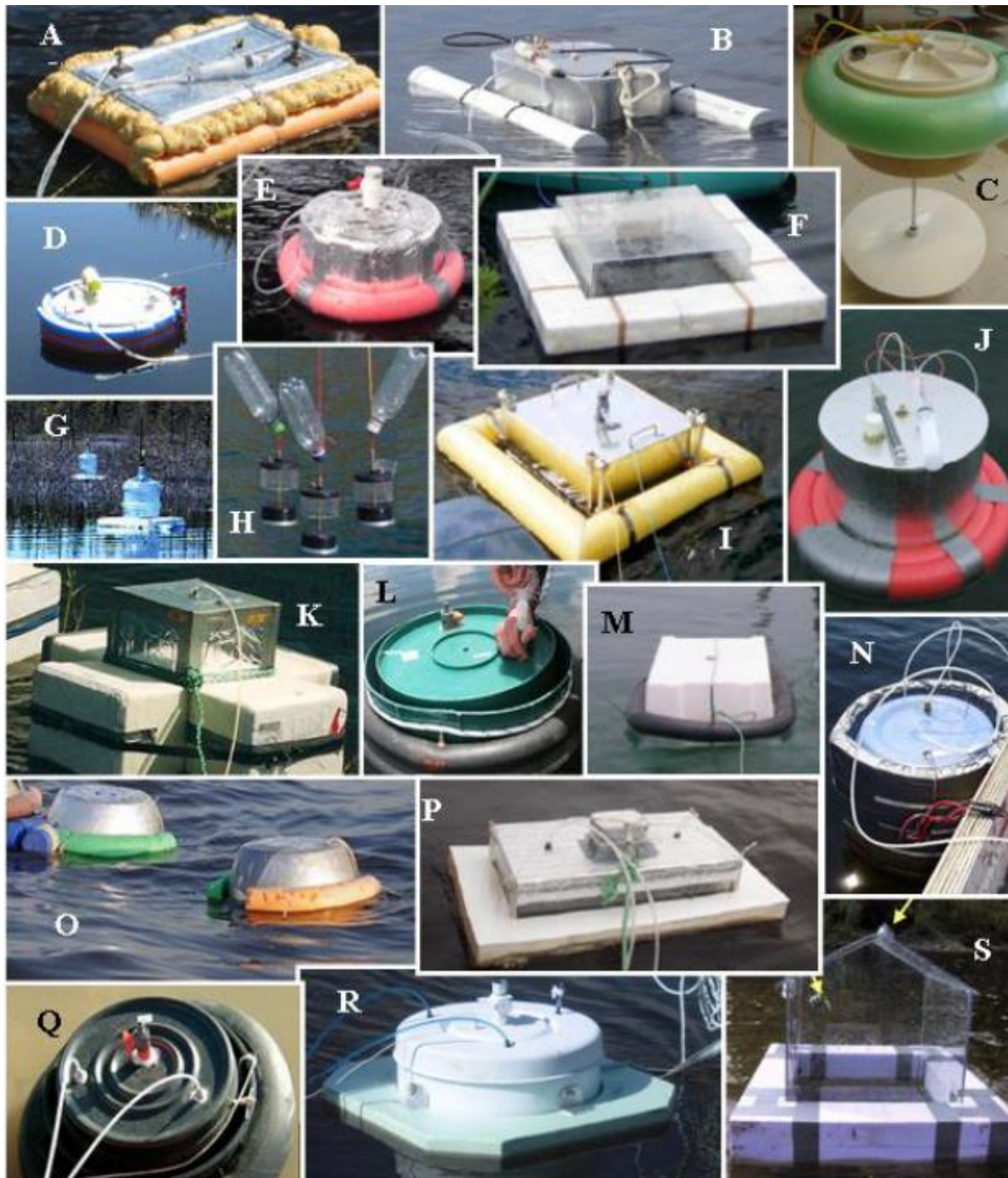
As câmaras flutuantes são câmaras fechadas, unidas a uma boia, na qual os gases se acumulam e apresentam geometria variável. A metodologia operacional consiste em colocar a parte aberta da câmara, que possui uma parte aberta e outra fechada sobre a superfície da água, permitindo que emissões da superfície se acumulem dentro da câmara ou reduzida. A estimativa da concentração dos gases é realizada coletando-se amostras da atmosfera interna. A variação das concentrações ao longo do tempo fornece uma curva acumulada, da qual se pode deduzir o fluxo. Comumente, este processo metodológico é representado por uma variação linear, cuja declividade é a estimativa da taxa de emissão no intervalo de tempo avaliado (SBRISIA, 2008; LAMBERT; FRÉCHETTE, 2005; IHA, 2010; MANNICH, 2013).

É importante que as câmaras possuam extensão das paredes abaixo da linha de água para evitar que a turbulência criada pelos movimentos da câmara sobre a água, apesar de ancorada ao fundo, afete a transferência dos gases. Além disso, uma abertura para regulação da pressão é necessária, pois o aumento da pressão aumenta a solubilidade do gás, reduzindo o fluxo. Os efeitos da radiação devem ser contornados fabricando a câmara com material reflexivo, de modo a manter a temperatura interna em equilíbrio com o ambiente. Os gases são coletados em seringas e analisados por cromatografia gasosa em laboratório (LAMBERT; FRÉCHETTE, 2005; IHA, 2010; MANNICH, 2013).

Esse tipo de câmara, não é aconselhável a utilização em corpos de água rasos, pois podem encalhar ou apresentar problemas quando uma medição em um ponto fixo é desejada.

Contudo, as câmaras possuem a vantagem de permitir a análise de fluxos em escala local, porém podem influenciar na superfície em estudo. Os efeitos são complexos e dependem do ambiente colocado. As câmaras superficiais podem superestimar o fluxo real, aumentando as taxas de renovação da superfície devido a deformação que elas causam e também aos movimentos desordenados. Elas também aumentam a turbulência na subcamada. Sbrissia (2008) explica que as câmaras podem subestimar o fluxo protegendo a superfície da água das ondas capilares, da umidade das ondas e protegendo a superfície do vento e, desse modo, reduzindo a velocidade de fricção. Além disso, enquanto a concentração de ar aumenta na câmara, a concentração potencial ou gradiente que faz o fluxo, diminui. Isto leva a uma estimativa menor do fluxo que ocorreria em condições naturais. Na Figura 6, é possível verificar diversas imagens de câmaras flutuantes criadas e publicadas pelos pesquisadores.

Figure 6 - Tipos de Câmaras Flutuantes pelo Mundo.



FONTE: Mannich (2013) IHA (B,M), Esmanhoto E (C), Teodoru C (E,R), Huttunen J T (F,I), St Louis V L (G), Santos M A (H,J), Lima I B T (K), Abril G (Q), Harby A (S).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no reservatório da Usina Mourão, localizado na cidade de Campo Mourão – PR, e foi dividido em quatro etapas.

A primeira etapa consistiu na montagem do protótipo que foi colocado na superfície aquática do reservatório. Com o protótipo montado, foi iniciada a segunda etapa com os testes de cada sensor que compõe o robô. Os componentes foram testados individualmente antes da montagem definitiva do modelo.

A terceira etapa consistiu na parte de testes no local de estudo. O protótipo foi colocado na superfície aquática do reservatório para averiguar como ele se movia em relação a água, e o recolhimento dos dados coletados.

A última etapa foi a identificação das coletas, para verificar a eficácia e veracidade dos dados que o robô conseguiu coletar. Os dados foram comparados com testes similares para identificação de erros e calibração dos dados.

5.1 Modelo Eletrônico para Medição de Gases CO₂ e CH₄

O “Roboco²” é constituído de uma câmara de ar de pneu e um recipiente central (Figura 7). Estes elementos, permitem ao robô flutuar, deslocar sobre a água e armazenar os gases que estão sendo emitidos pela água. No topo do recipiente encontra-se um sensor de gás MHZ -19 (Figura 8), que coleta o dióxido de carbono, com uma faixa de detecção de 0 a 2.000 ppm, e um sensor MQ-2 (Figura 9) que analisa gás metano, seu nível de detecção vai de 0 a 10.000 ppm. Então com o auxílio de hélices impressas em uma impressora 3D e de dois motores DG01D-A130 GEAR MOTOR (Figura 10) controlados pelo módulo Arduino Mega, o robô pode se locomover de acordo com as coordenadas definidas pelo pesquisador, utilizando um módulo de GPS (Figura 11). O modelo também conta com uma bússola para auxiliar a localização do GPS, para que o robô consiga se alinhar ao alvo sem precisar se transladar (Figura 12). Como fonte de energia o robô utiliza uma placa fotovoltaica e um conjunto de baterias (Figura 13). Outro aspecto importante é sensor BMP280 que coleta a temperatura, altitude e pressão do ambiente analisado (Figura 14). Esse sensor possui uma faixa de medição de 300 a 1.100 hPa. Os dados sobre o trajeto do

robô e os dados coletados pelos sensores são armazenados em um cartão de memória (SANTOS et al. 2017).

A placa Arduino Mega foi instalada para gerenciar todos os dados coletados pelo sensor MHZ-19 e MQ-2 e comandar a movimentação do robô, tornando-o autônomo. A programação utilizada é relativamente simples. A versão atual do software comanda tanto as hélices e os motores, quanto o sensor que foi programado em um aplicativo específico para desenvolvimento com esta plataforma, o Arduino IDE onde há os comandos necessários para que o robô possa executar as tarefas e concluí-las com sucesso.

O protótipo possui altura de 22 cm, comprimento de 68 cm e uma largura de 50 cm. Possui dimensões pequenas e é fácil para movimentar de um local a outro com pouca correnteza.

O design do robô se assemelha a um medidor do tipo câmara flutuante, conforme mostrado no referencial teórico. Assim como a câmara flutuante, o modelo em estudo possui uma câmara de ar para auxiliar na flutuação dentro da superfície aquática. Outro fator parecido é o recipiente para armazenamento dos gases, no qual os dois produtos possuem uma caixa para armazenar os gases que foram coletados.

Figure 7 - Câmara de ar pneu e recipiente para armazenamento de gases.



FONTE: Santos et al. (2017).

Figure 8 - Sensor MHZ-19.



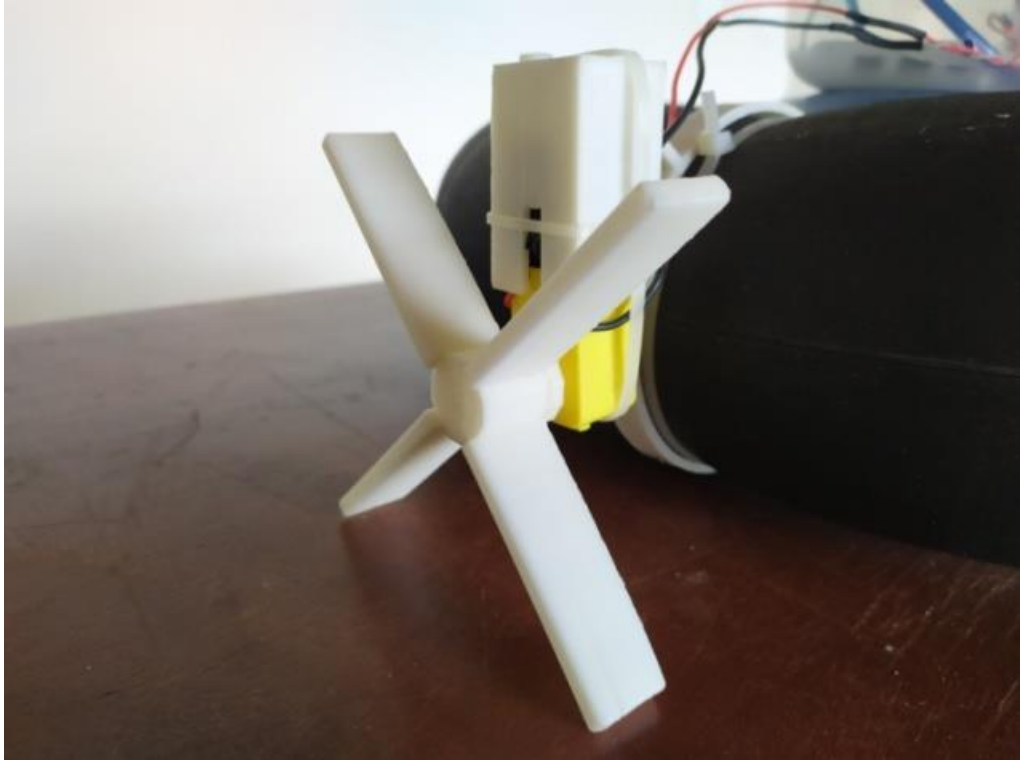
FONTE: Aatoria Própria (2020).

Figure 9 - Sensor MQ-2.



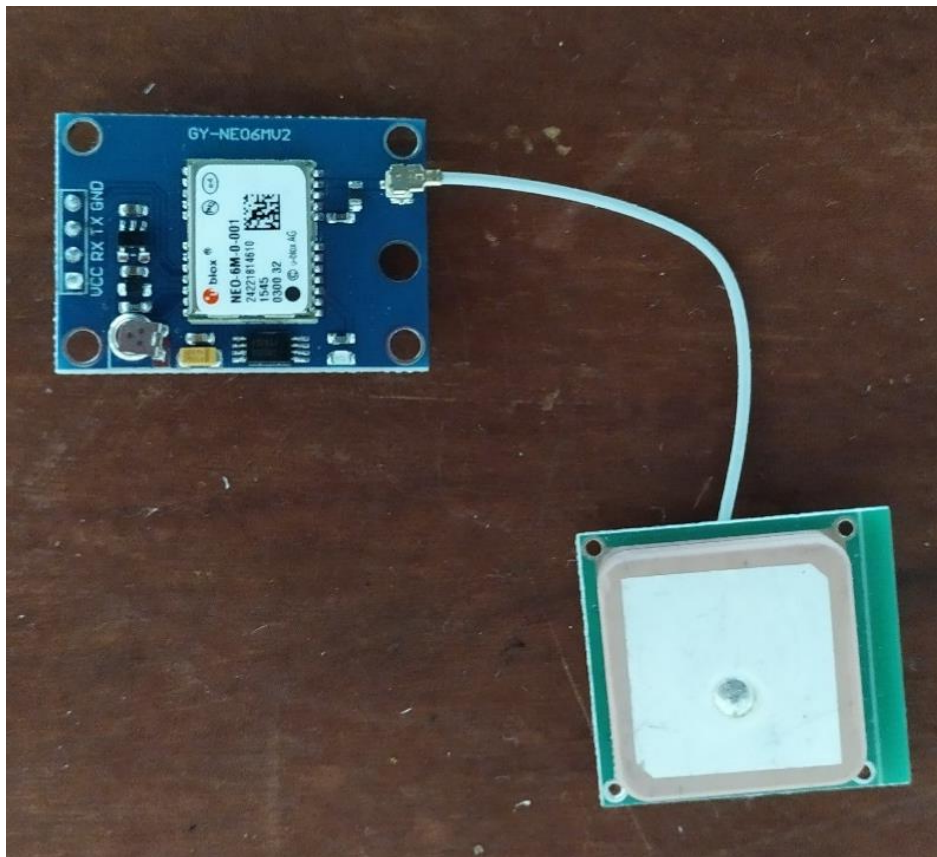
FONTE: Aatoria Própria (2020).

Figure 10 - Motores e hélices.



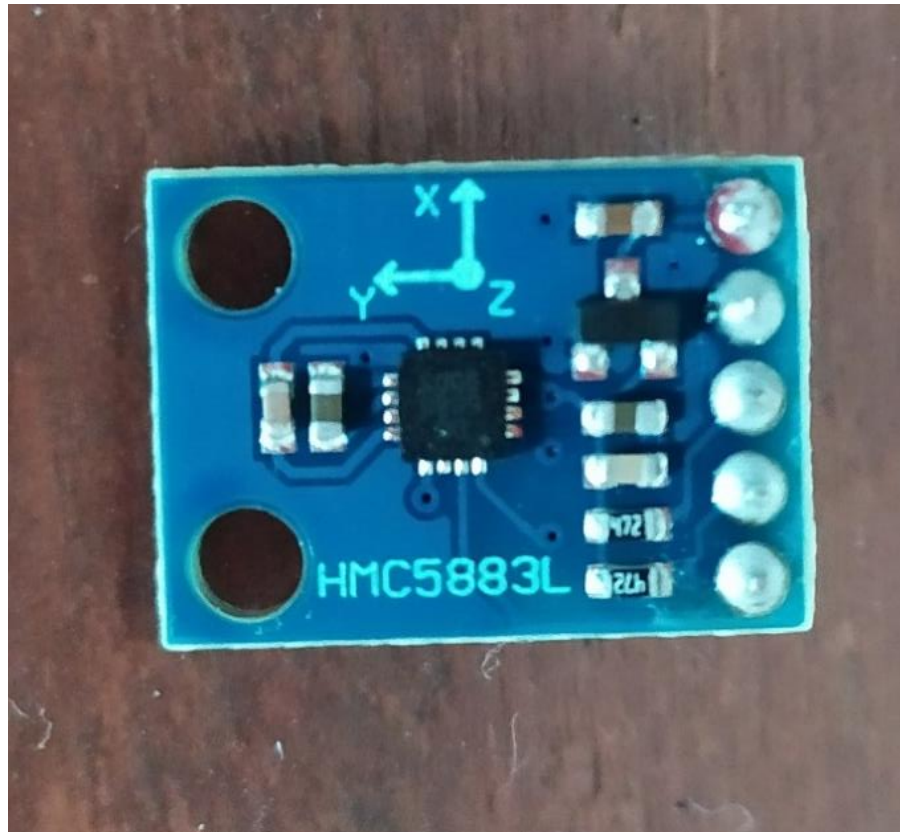
FONTE: Aatoria própria (2020).

Figure 11 - Módulo GPS.



FONTE: Aatoria Própria (2020).

Figure 12 - Bússola.



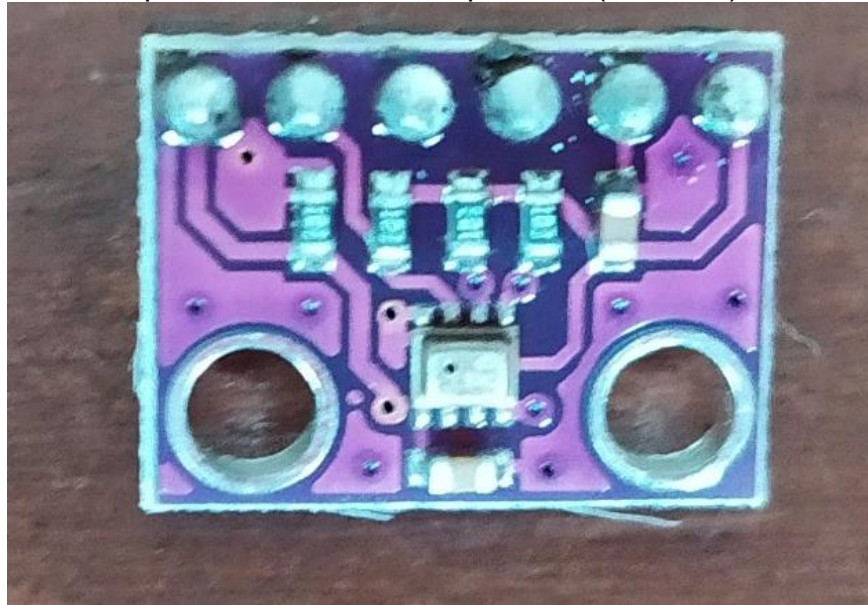
FONTE: Aatoria Própria (2020).

Figure 13 - PowerBank.



FONTE: Aatoria Própria (2020).

Figure 14 - Sensor de pressão, altitude e temperatura (BMP280).



FONTE: Aatoria Própria (2020).

5.2 Testes dos Componentes

Para cada componente de sensor do robô, foi realizado testes separadamente para verificar se todos estavam funcionando de acordo com o esperado para prosseguir para a montagem definitiva do robô.

Dê início, foi realizado o teste experimental com o sensor MHZ-19, para verificar a contagem dos dados. Para o teste foi utilizado um experimento simples no qual foi preparada uma solução de bicarbonato, água e vinagre. A solução é capaz de produzir uma quantia razoável de gás carbônico, o que possibilitou certificar o sensor de CO₂.

Para a solução, foi utilizado 50 ml de água, uma colher rasa de bicarbonato de sódio e 25 ml de vinagre. Em um recipiente de vidro com volume de 500 mL, foi misturado a água e o bicarbonato, em seguida, o recipient foi fechado com uma tampa com diâmetro maior e com três aberturas circulares para que o sensor BMP280, que mede pressão altitude e altura, e o sensor MHZ-19, que mede o gás CO₂, entrassem em contato com a solução para coletar os dados, a última abertura serviu para despejar o vinagre dentro do recipiente, para que a solução entrasse em sistema de trabalho juntamente com a leitura do sensor.

Para a coleta de dados, foi realizado três testes com a mesma quantidade de solução, para o primeiro teste, demorou trinta segundos para a coleta dos dados, para o segundo teste, foi esperado 60 segundos, e para a última coleta se passou 120 segundos. Com o mesmo teste, foi possível calibrar os sensores.

O sensor MQ-2 consegue detectar diversos gases inflamáveis, como gás liquefeito de petróleo (GLP), metano, propano, butano, hidrogênio, álcool e gás natural. Esse tipo de sensor é muito utilizado para alarmes de notificação de incêndios e fumaça.

Como o sensor é capaz de detectar diversos gases, o teste que foi utilizado para verificar se o sensor estava operando corretamente foi o teste de gás de cozinha. Para o teste foi utilizado um botijão de gás de 13 kg, um fogão com acendimento automático, com sistema de gás interligado ao botijão, um recipiente de metal com tampa, resistente ao fogo e o sensor MQ-2.

Primeiramente abriu a válvula do botijão de gás para permitir a passagem do gás, em seguida houve o acendimento automático do fogão, o recipiente de metal com tampa foi colocado em cima da chama do fogo para começar a produção de gás e fumaça, na própria tampa foi fixado o sensor MQ-2 para verificar e calibrar os dados coletados dos gases que estavam dentro do recipiente.

5.3 Aplicação em Superfície Aquática

A rotina de teste do medidor de gases utilizado neste estudo se baseou em testes de campo que permitem elaborar uma rotina de utilização. O medidor, após a montagem, foi aplicado em superfície aquática para analisar os dados fornecidos.

Em um primeiro momento, após a montagem do “robocó”, ele foi exposto à uma superfície aquática com influências naturais - vento, água e sol - para testar cada componente do modelo, sendo eles: motor, hélices e sensores. Além disso foi avaliado como o robô se comportou em meio aquático.

Em seguida foi iniciado os testes em meio aquático. Para isso o reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão, fez parte do objeto de estudo. Um reservatório foi escolhido por ser um dos ambientes com maior número de emissão de gases de efeito estufa segundo pesquisas relatadas no referencial teórico.

5.3.1 Caracterização da Área de Estudo

Seguindo o Encarte III – Plano de Manejo – Parque Estadual Lago Azul (2005), a usina foi instalada na cidade de Campo Mourão e Luiziana, localizada no Terceiro Planalto Paranaense, tem seu centro geográfico nas coordenadas 52° 20' de Longitude W-GR e 24° 04' de Latitude Sul, com sede administrativa na BR-487, saindo de Campo Mourão sentido Luiziana, a usina está em funcionamento desde 1964. Possui uma capacidade suficiente para atender 25 mil consumidores, aproximadamente, com cerca de 8.500 kilowatts.

O encarte também afirma que como Sistema do Rio Mourão é tributário da margem esquerda do Rio Ivaí (357 km), possui 3 saltos de grande altura, a saber: (I) Conjunto São João, com 5,3 m de desnível e vazão de 60 m³/seg; (II) Natal de 5,9 m de desnível e com 15 m³/seg de vazão média; (III) Conjunto com 146,6 m de desnível e 3 m³/seg de vazão média, onde se encontra instalada a Usina Hidrelétrica Mourão I. Em Anexo A, é possível verificar o mapa hidro-geológico do estado do Paraná, a região circulada é a região do reservatório, onde é possível verificar a influência do rio Mourão no reservatório da Usina.

O Reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão – Lago Azul possui uma área inundada de 1273,6557 ha, a sua montante a bacia é abrangida em uma área, aproximada, de 581 km² com um perímetro de 109,5 km. Em Anexo B e Anexo C é possível observar a localização e detalhe da bacia hidrográfica.

Em agosto de 1999, foi executado um monitoramento em pontos à jusante e a montante do reservatório, para avaliar as intervenções decorrentes da instalação da usina na qualidade da água. Segundo o Encarte III (2005), os resultados obtidos mostraram que as águas do rio Mourão se encontraram na faixa entre 52 e 80 do Índice de Qualidade das Águas - IQA, indicando que “são águas de boa qualidade para fins de potabilização de abastecimento público. No quesito a balneabilidade, as águas apresentaram boa qualidade. A invasão da Área de Preservação Permanente da vegetação ciliar contribuiu para o aporte de substâncias alóctones para as águas do rio Mourão.

Vinte anos após as primeiras pesquisas realizadas em 1999, as áreas de Preservação Permanente voltaram a ser uma obrigação na região da vegetação ciliar, com cunho criminal caso a área seja degradada ou invadida.

5.3.2 Aplicação no Reservatório

Para operar o medidor em campo seguiu a seguinte rotina:

- Manteve o robô com a abertura direcionada para a água para coleta dos gases, com o sistema de programação protegido do contato com a água;
- Foi programado os pontos de saída, coleta e o ponto de retorno;
- Após a localização dos pontos serem determinadas e localizadas pelo robô, se deu início ao processo de coleta de dados;
- O robô ligou os motores de forma autônoma e com o auxílio das hélices laterais pode se locomover de um ponto a outro;
- Quando alcançava o ponto programado para a coleta, o robô desligava os motores para iniciar a coleta dos dados, e assim prosseguiu para o outro ponto programado, até retornar ao ponto de início.

As campanhas foram realizadas durante o período de fevereiro a novembro de 2020. As amostras de gases foram retiradas de vários pontos, para determinação de perfis de concentração. A determinação da concentração de CO₂ e CH₄ foi realizada através dos sensores de medidas, no qual os dados foram armazenados em cartão de memória e lidos através de um sistema de computador.

Os pontos de coleta foram determinados pela posição de maior proximidade com o público que utiliza o lago do reservatório, de forma a se obter a influência das regiões de transição de ambientes e também próximo das margens e zonas de estagnação, para comparação dos dados.

Como o robô possui um sistema GPS para locomoção, os pontos foram programados através de georreferenciamento. Após a coleta dos gases e calibração dos dados foi realizado uma análise comparativa entre os valores encontrados nos diversos pontos coletados.

5.4 Análise dos Dados

Os dados coletados pelos sensores incluídos no robô foram armazenados em um cartão de memória para facilitar a leitura de dados. Os dados foram programados

de maneira relativamente simples, para que o armazenamento fosse de fácil compreensão.

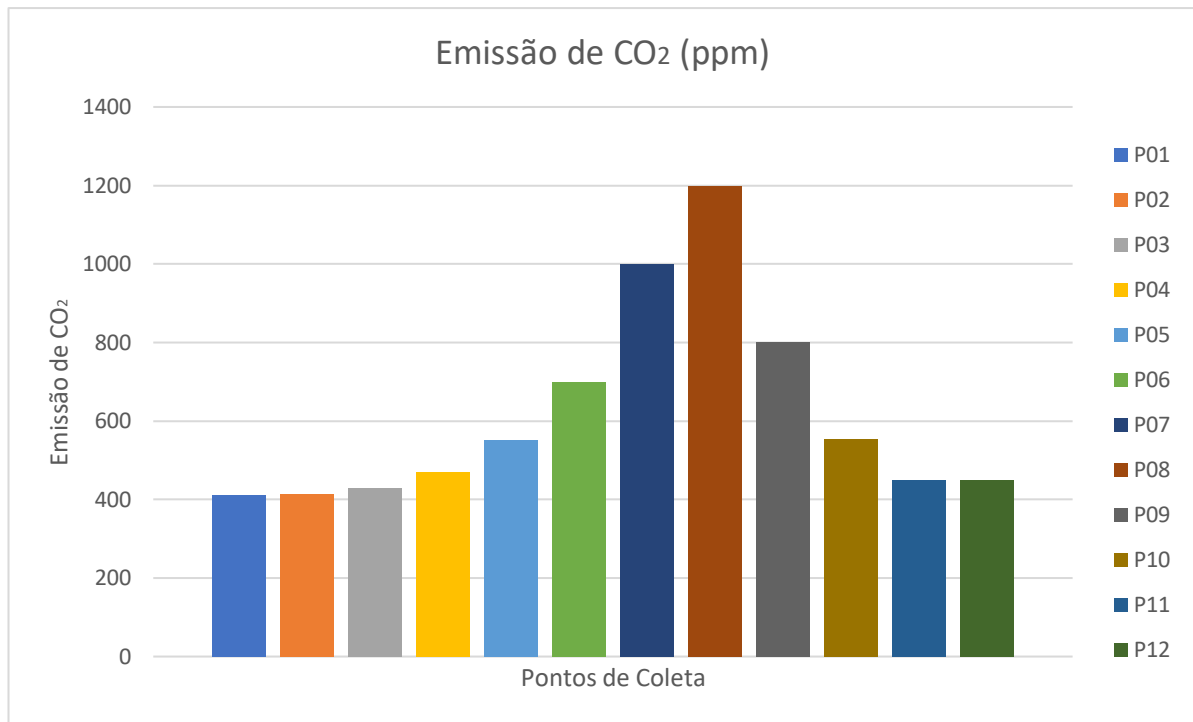
Com os dados em mãos, foi possível fazer a comparação das emissões de gases de CO₂ e CH₄ nos diversos pontos coletados. A análise de comparação foi feita nos dois locais de medição, as coletas foram realizadas em pontos próximos aos locais de recreação, onde a influência humana contribuiu com o aumento dos gases emitidos, e também em locais de estagnação, sem influência humana, e mais afastado da barragem do reservatório. Podendo assim, comparar os dados obtidos nos dois pontos distintos do reservatório.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Testes dos Componentes

Os três sensores, MHZ-19 para medir a emissão de CO₂, MQ-2 para medir a emissão de CH₄ e o sensor BMP 280 para medir pressão, altitude e temperatura foram testados separadamente, porém em um mesmo ambiente. Os testes foram realizados no interior de uma sala sem a influência de intempéries ambientais, seguindo a metodologia aplicada.

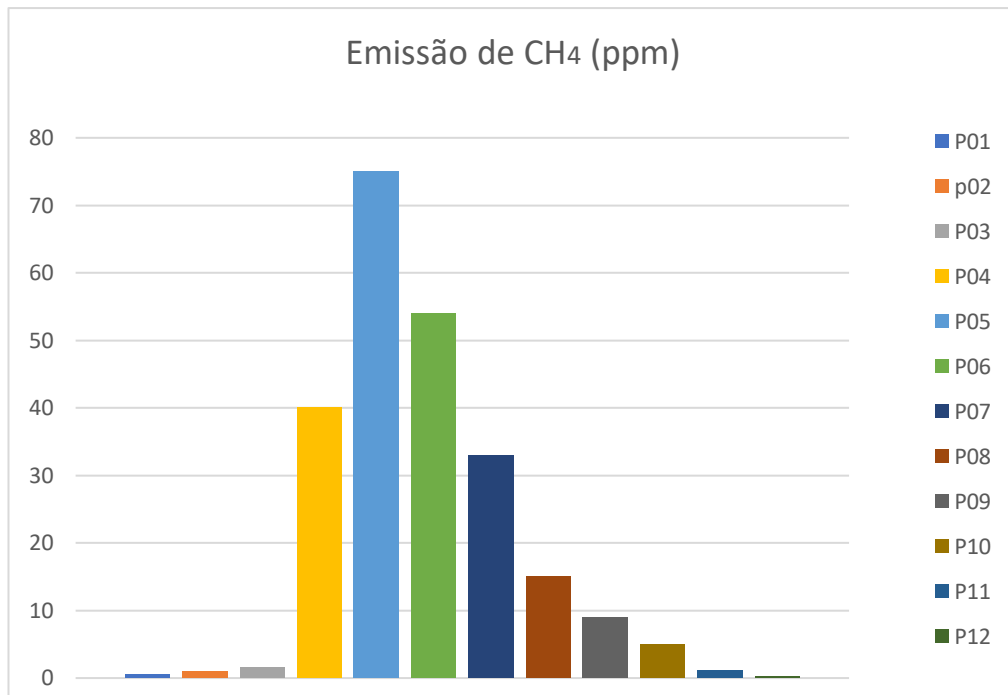
Para o MHZ-19, observou-se um bom desempenho durante os testes, abaixo no Gráfico 1, pode-se observar os dados coletados no ambiente de teste, foram feitas doze coletas para cada tipo de sensor, afim de obter uma curva padrão nas análises. O sensor MHZ-19 fornece os dados na unidade de medida ppm (partes por milhão). No ponto mais alto do gráfico, na coleta de número 8, foi o pico da coleta, no qual atingiu o valor de 1200 ppm. Após atingir o pico, a solução começou a perder o gás, isso explica a queda no gráfico. Durante os testes foi observado que o ponto inicial do sensor, se encontra no valor 400, ou seja, quando o sensor coleta os dados em um ambiente externo o valor mínimo é de 400ppm, e quando está em um ambiente interno, o normal é fornecer um valor mínimo de 700ppm, portanto, quando o sensor atinge o valor próximo a 400, significa que o ambiente possui um baixo teor de emissão de dióxido de carbono.

Gráfico 1 - Teste Sensor MHZ-19.

Fonte: Autoria Própria (2020).

O sensor MQ-2 também obteve bom desempenho durante a fase de testes. Seguindo a metodologia, o sensor fez 12 coletas para análise dos dados. O Gráfico 2 expõe o comportamento do sensor. Através do gráfico, foi possível verificar que o sensor aumenta o valor gradativamente, e após atingir o pico ele decai bruscamente, tendo um comportamento inverso aos dados anteriores ao pico. O sensor MQ-2, assim como o MHZ-19, fornece os dados na unidade ppm, atingindo seu ponto máximo durante os testes em aproximadamente 6 ppm.

Diferente do sensor de CO₂, o sensor de gás metano possui seu início no valor 0, por esse motivo os valores se apresentam mais baixos que os valores do sensor MHZ-19.

Gráfico 2 - Teste Sensor MQ-2.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Para o teste do sensor BMP280, os valores não tiveram oscilação, já que o ambiente não teve alteração e mudança de local, o que foi satisfatório, já que os valores se mantiveram na mesma medida. Na Tabela 3, se observam os valores apresentados pelo sensor durante os testes, foram realizadas oito coletas, conforme metodologia.

Tabela 3 - Teste sensor BMP280.

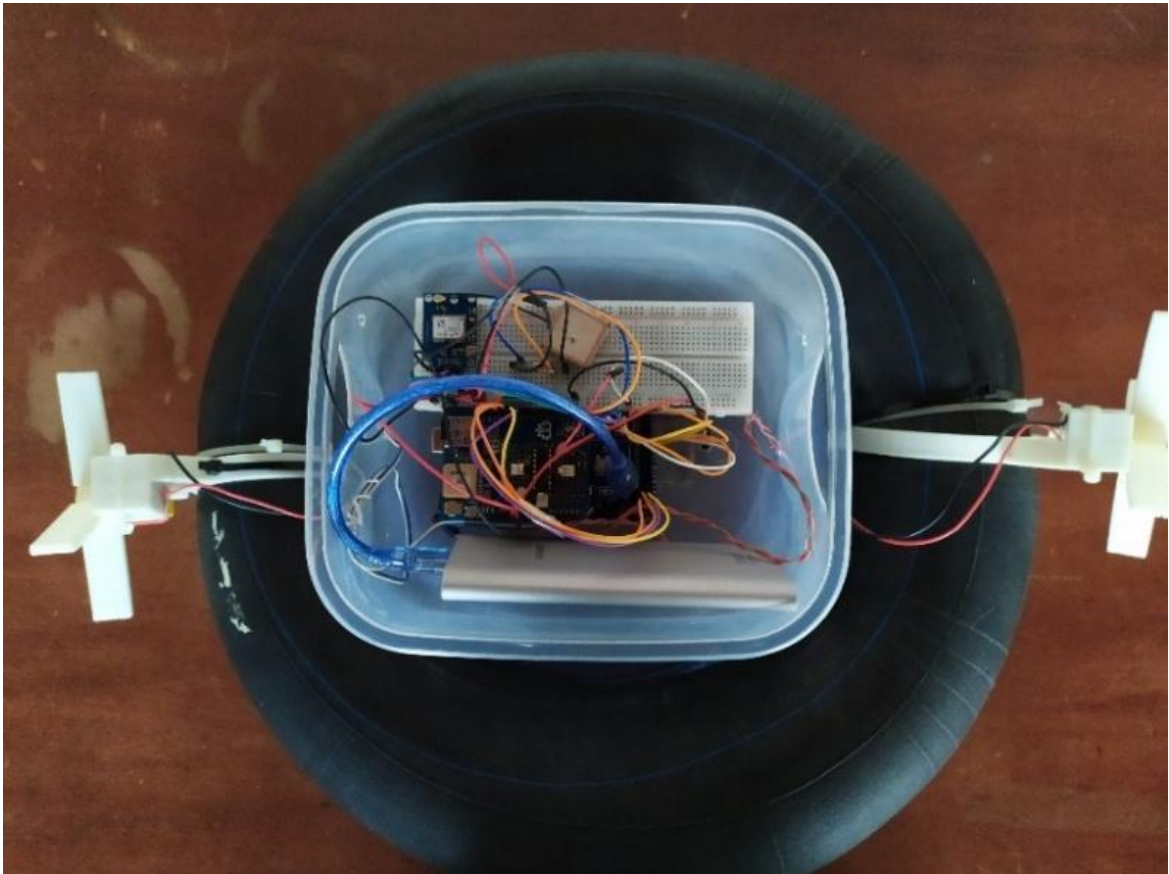
	PRESSÃO hPa	ALTITUDE m	TEMPERATUR A °C
1	94924,37	547,07	27,45
2	94926,59	546,86	27,45
3	94927,44	546,95	27,46
4	94922,23	547,26	27,43
5	94925,75	546,67	27,46
6	94925,91	546,93	27,46
7	94927,09	547,11	27,46
8	94923,84	547,00	27,46

Fonte: Autoria Própria (2020).

6.2 Testes em Superfície Aquática

Após os testes com cada sensor, foi possível fazer a montagem final do robô, para que todos os componentes trabalhassem em conjunto para formar o objeto do trabalho. Na Figura 15 é possível verificar a imagem do robô montado em perspectiva de cima, com todos os seus componentes, incluindo boia, motores, hélices, recipiente de armazenamento dos gases, recipiente de proteção dos componentes eletrônicos. No recipiente dos componentes eletrônicos é possível verificar o GPS, bússola, cartão de memória e powerbank, todos eles interligados através de cabos de energia para transmitir as informações programadas através do Arduino.

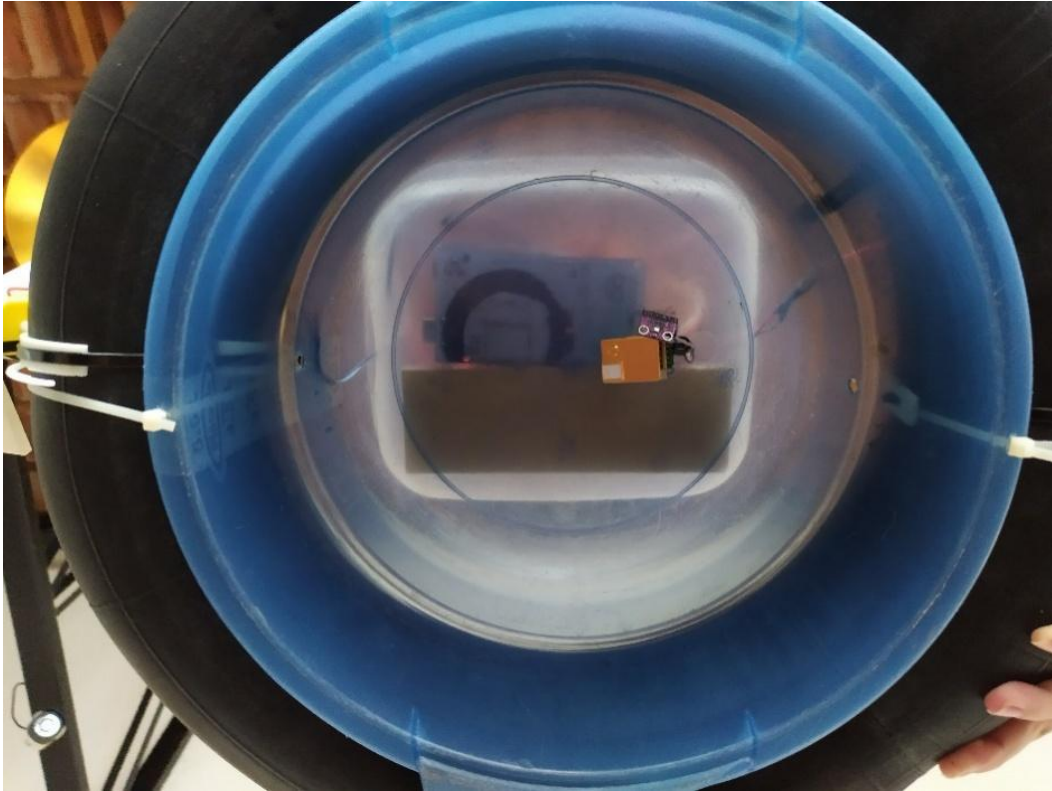
Figure 15 - Vista de cima do robô.



Fonte: Autoria Própria (2020).

A Figura 16, mostra vista de baixo do robô, podendo verificar a localização dos sensores dentro do recipiente de armazenamento de gases. É nesse espaço em que os gases emitidos da água do reservatório são armazenados e entram em contato com os sensores para leitura dos dados.

Figure 16 - Vista de baixo do robô.



Fonte: Autoria Própria (2020).

6.2.1 Teste em lago do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira

No dia 08 de novembro de 2019 foi realizado o primeiro teste com o protótipo em meio aquático, no lago do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira. Durante o teste foi avaliado como o modelo se portava diante de uma superfície aquática, bem como suas hélices, motor e sensores. Durante o teste foi possível verificar que o robô conseguiu se locomover, porém o vento conseguia facilmente mover o robô de posição, devido seu peso leve. Outro fato observado foi, que as plantas tanto rasas como as que possuem raízes se enroscaram nos motores, o que acarretou a parada do motor. Na Figura 17, é possível verificar o protótipo na água enroscado nas plantas.

Figure 17 - Primeiro teste do robô.



FONTE: Autoria própria (2020).

O sensor de CO₂ e o sensor BMP, que mede temperatura, altitude e pressão também foram testados e obtiveram bom desempenho, porém foram testados em uma bacia pequena com água dentro de uma sala fechada, para verificar se os sensores estavam trabalhando da maneira correta. Na Tabela 4 é possível os dados emitidos pelos sensores.

Tabela 4 - Resultados de emissão de CO₂, temperatura ambiente e altitude através do monitor serial do Arduino.

TEMP. °C	ALTITUDE m	PRESSÃO hPa	CO ₂ Ppm
24	593,73	94394,02	256
24	593,65	94394,86	410
24	593,56	94397,39	410
24	593,61	94395,34	1584
24	593,52	94396,41	1387
24	593,68	94394,49	1338
24	593,59	94394,15	1322
24	593,71	94394,15	1287
24	593,71	94394,00	1244
24	593,73	94394,15	1221
24	593,71	94394,82	1172
24	593,75	94391,92	1125
24	593,91	94395,46	1103
24	593,60	94392,94	1058
24	593,61	94394,78	1009
24	593,68	94394,53	959
24	593,83	94392,86	896
24	593,73	94392,94	860
24	593,70	94394,36	840
24	593,56	94395,87	803
24	594,16	94389,06	774
24	593,67	94394,70	760

FONTE: Autoria própria (2020).

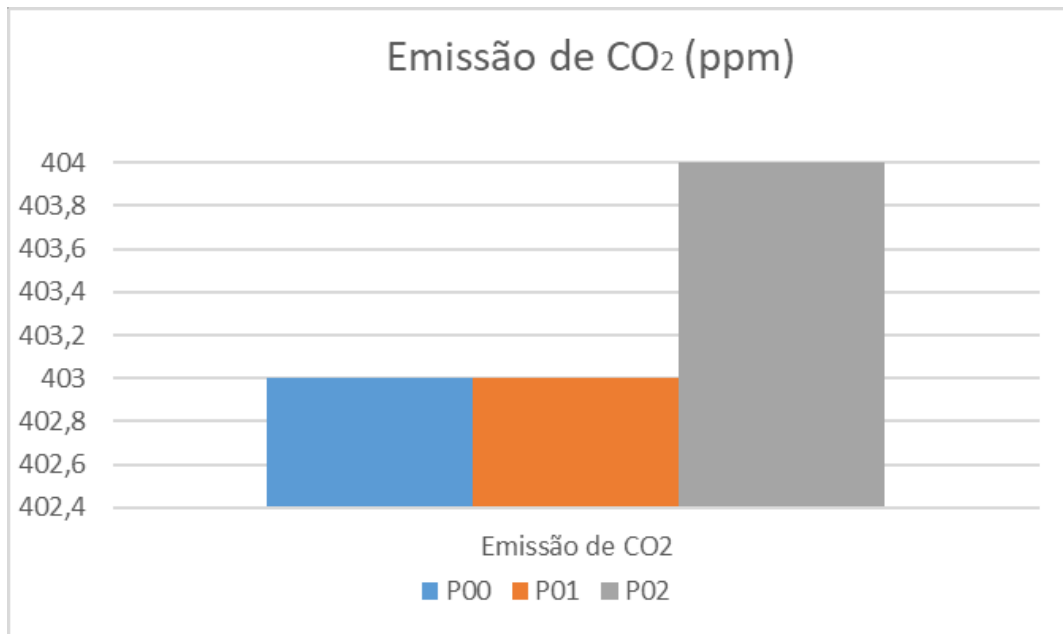
6.3 Testes no Reservatório da Usina Mourão

6.3.1 Testes em área afastada da área urbanizada

O primeiro teste do robô em superfície aquática no reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão – objeto de estudo - foi realizado em uma região do lago afastada da interferência humana. O teste foi realizado próximo a borda a uma distância de aproximadamente 1,5 m dentro do reservatório. Foram coletados dados de 3 pontos,

sendo eles o ponto de partida (P00), o ponto 1 (P01) e o ponto 2 (P02). Nos pontos 1 e 2 foram realizadas 4 coletas em cada ponto. Cada coleta demorou cerca de 1 segundo para coletar os dados, entre o ponto de partida e o ponto 1 o robô demorou cerca de 30 segundos para chegar ao ponto programado, o mesmo tempo foi considerado para a distância entre o ponto 1 e o ponto 2. O robô fez a coleta somente quando chegou nos pontos indicados, durante o trajeto de um ponto ao outro os sensores não estiveram ligados. No Gráfico 3 é possível verificar o comportamento do robô nos três pontos em relação à emissão CO₂.

Gráfico 3 - Emissão de CO₂.



Fonte: Autoria Própria (2020).

No Gráfico 3 foi considerado os pontos P00, P01 e P02. Os resultados para as 4 coletas de dados dos pontos P01 e P02 se mantiveram em 403 ppm e 404 ppm, respectivamente. O valor da emissão de CO₂ para o local em estudo foi relativamente baixo, pois não houve alterações bruscas nos valores dos sensores. Como o local é afastado da interferência humana, tendo ali uma estagnação na qualidade da água, e a mata ciliar ao seu redor, acabou influenciando na filtragem da emissão de CO₂, diminuindo a quantidade de poluição no local.

A Tabela 5 mostra os dados coletados do sensor BMP280, coletados no mesmo momento em que o sensor MHZ-19 fez a coleta. Através da tabela, é possível verificar que os dados não oscilaram, o que representa uma boa trabalhabilidade do

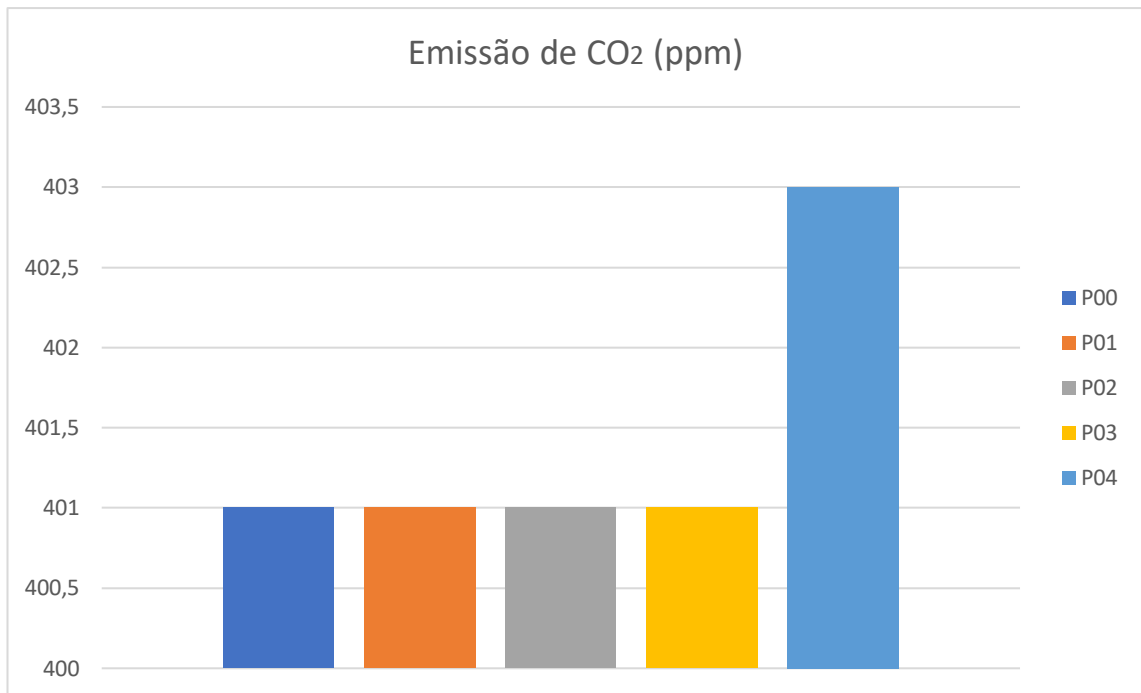
sensor BMP280 no local. É importante salientar que a pressão atmosférica diminui com a altitude. Quando existe uma variação na altitude, vai sempre existir uma variação na pressão devido as condições de temperatura do ar.

Tabela 5 - Dados do sensor BMP280.

	PRESSÃO	ALTITUDE	TEMPERATURA
	hPa	m	°C
P00	94192,81	611,48	36,93
P01;1	94161,47	614,25	36,9
P01;2	94161,64	614,24	36,9
P01;3	94161,80	614,22	36,91
P01;4	94161,88	614,04	36,91
P02;1	94154,09	614,90	36,21
P02;2	94157,38	614,61	36,21
P02;3	94152,88	615,01	36,21
P02;4	94149,07	615,35	36,22

Fonte: Autoria Própria (2020).

O segundo teste foi realizado com o robô já em movimento, foram feitas 5 coletas, com uma distância de tempo de 1 segundo de um ponto a outro. Nesse teste o robô não parou nos pontos determinados para fazer a coleta como no primeiro teste, conforme ele foi se locomovendo ele foi realizando as coletas dos dados. O Gráfico 4 mostra o comportamento da emissão de CO₂ nos pontos coletados. De acordo com o gráfico, o valor da emissão de CO₂ se manteve a mesma nas três primeiras coletas e só teve alteração na última coleta. Porém como o sensor emite um dado de 400 ppm considerando que seja o valor de 0, a emissão de dióxido de carbono no local ainda é relativamente baixa para constatar uma emissão de efeito estufa.

Gráfico 4 - Emissão de CO₂.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Considerando os dados do sensor BMP280, não obtiveram alteração brusca novamente. Isso se dá pela calibração do sensor e por serem dados de um mesmo ambiente, uma vez que não teve mudança no local. Na Tabela 6, é possível verificar os dados do sensor.

Tabela 6 - Sensor BMP280.

	PRESSÃO	ALTITUDE	TEMPERATURA
	hPa	m	°C
P00	94117,56	618,13	32,09
P01	94116,53	618,22	32,11
P02	94117,25	618,16	32,13
P03	94115,19	618,34	32,13
P04	94114,93	618,10	32,14

Fonte: Autoria Própria (2020).

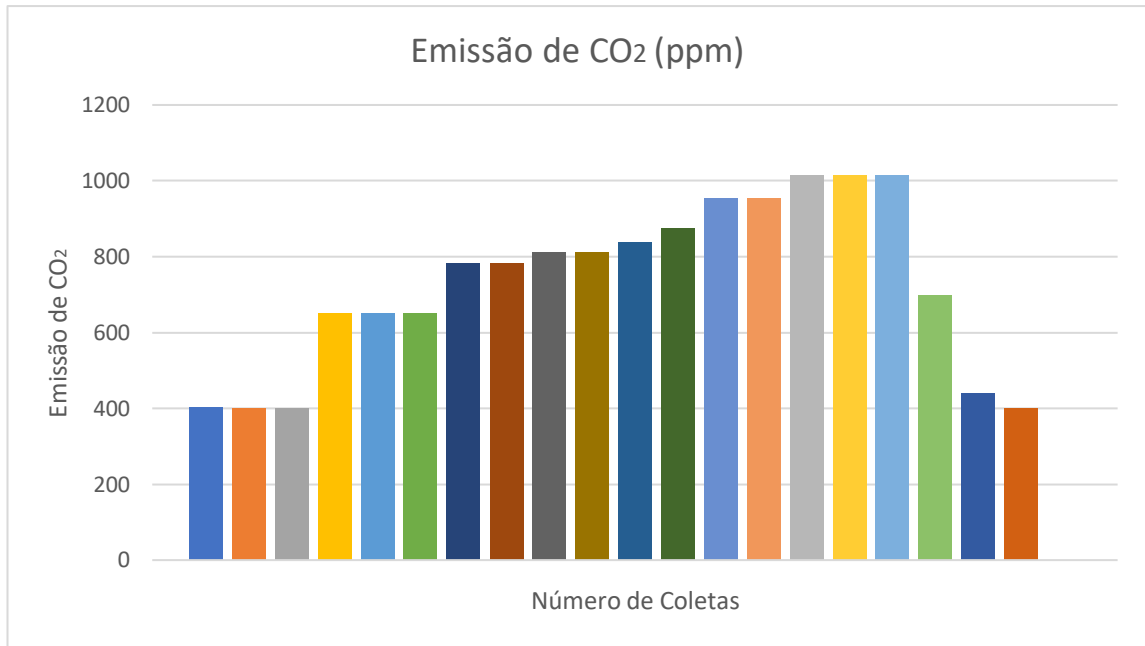
6.3.2 Testes em área urbanizada

O segundo local de coleta dos dados dentro do reservatório da usina hidrelétrica Mourão, foi realizado em uma região que possui habitações de lazer e moradia. É a região do lago com maior número de influência humana, sendo ela caracterizada pelas construções de divisa de terreno, imóveis, trapiches, quiosques, entre outras interferências consideradas de lazer. O local é muito utilizado pelos moradores, no qual utilizam a água do reservatório para se banhar.

De acordo com os moradores da região, há um tempo atrás as casas podiam ser construídas próximas ao lago, sem qualquer plano diretor para o local. Atualmente a administração da Usina possui um plano diretor de construção, mantendo uma distância mínima do lago até o imóvel de aproximadamente 20 metros, além disso os trapiches devem ser de madeira e barris para flutuação, para evitar o aumento da poluição do lago com materiais da construção civil como concreto e aço. A administração também implantou a APP, área de preservação permanente, próxima ao lago, assegurando que os moradores não utilizem a área para construção ou desmatamento.

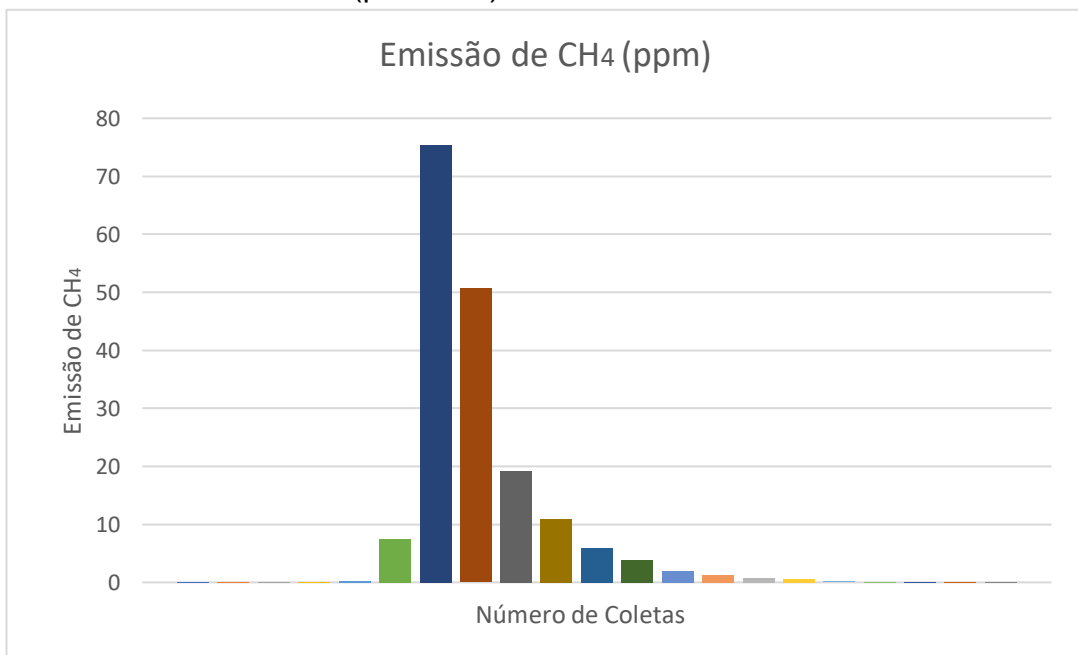
Antes de iniciar os testes com o robô na superfície aquática, foi realizado um pré-teste com o robô fora da água para verificar se os sensores estavam realmente funcionando. Para o sensor MHZ-19 foi realizado uma série de assopros próximos ao sensor para detectar o CO₂ que o corpo humano emite ao expirar. Já para o sensor MQ-2, foi acendido um fósforo próximo ao sensor para detectar os dados do CH₄ emitidos pela fumaça do fósforo.

No Gráfico 5, é possível verificar os dados coletados do pré-teste de CO₂. No gráfico é possível verificar a linha exata do aumento do dióxido de carbono quando o sensor detecta o gás.

Gráfico 5 - Emissão de CO₂ (pré-teste).

Fonte: Autoria Própria (2020).

No Gráfico 6, é possível verificar o aumento do gás metano assim que o sensor detecta o gás emitido pelo fósforo. Um fator de extrema importância observado durante os testes foi que o sensor MHZ-19 demanda mais tempo para detecção do gás, já o MQ-2 detectar de imediato.

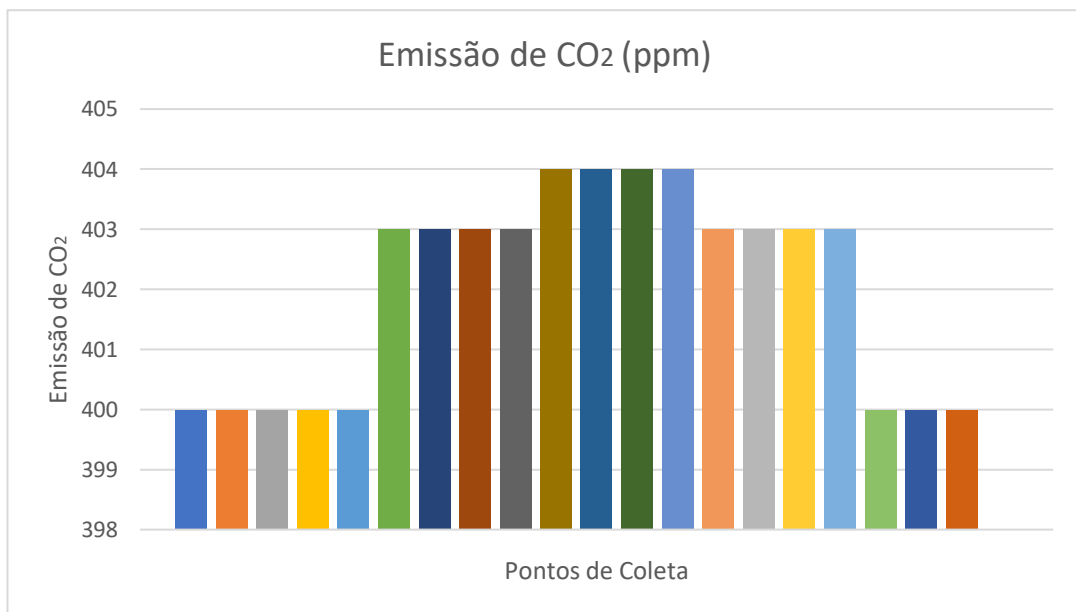
Gráfico 6 - Emissão de CH₄ (pré-teste).

Fonte: Autoria Própria (2020).

Finalizados os testes iniciais, o robô foi para a superfície aquática. Os dados foram coletados de três pontos distintos, um ponto mais próximo a margem do lago, outro ponto mais afastado e o último ponto estavam próximo ao trapiche. Foram realizadas 75, 100 e 120 coletas respectivamente. Como os sensores fazem as coletas com 1 segundo de intervalo, pode-se coletar uma alta quantidade de dados para curva de análise.

No Gráfico 7 é possível observar os dados coletados do sensor MHZ-19 para os três pontos de coletas. Os dados se mantiveram na faixa dos 400 ppm, variando até 404 ppm, o que é considerado baixo para o local. Já os dados do sensor MQ-2 não tiveram oscilações, se mantendo em 0,01 ppm, podendo considerar uma faixa negativa para poluição de gás metano.

Gráfico 7 - Emissão de CO₂.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Após a coleta dos dados foi verificado que os sensores, tanto o MHZ-19 e o MQ-2 estavam conectados via bluetooth e por conta disso a programação é diferente quando os sensores estão ligados via cabo por um computador. Os sensores no pré-teste, realizado antes do robô ser inserido no meio aquático, estavam ligados através de cabo por computador, isso justifica a diferença dos dados entre o pré-teste e o teste no lago.

O sensor BMP280 teve um bom desempenho, é através dele que se pode verificar se os sensores estão em funcionamento, pois ele emite os dados de temperatura. Durante os testes o sensor BMP280 entrou em contato com a água acidentalmente, porém os dados não foram comprometidos e nem mesmo o seu funcionamento, o sensor continuou fazendo a coleta de dados. Na Tabela 7, tem-se os valores coletados pelo sensor.

Tabela 7 - Dados do sensor BMP280.

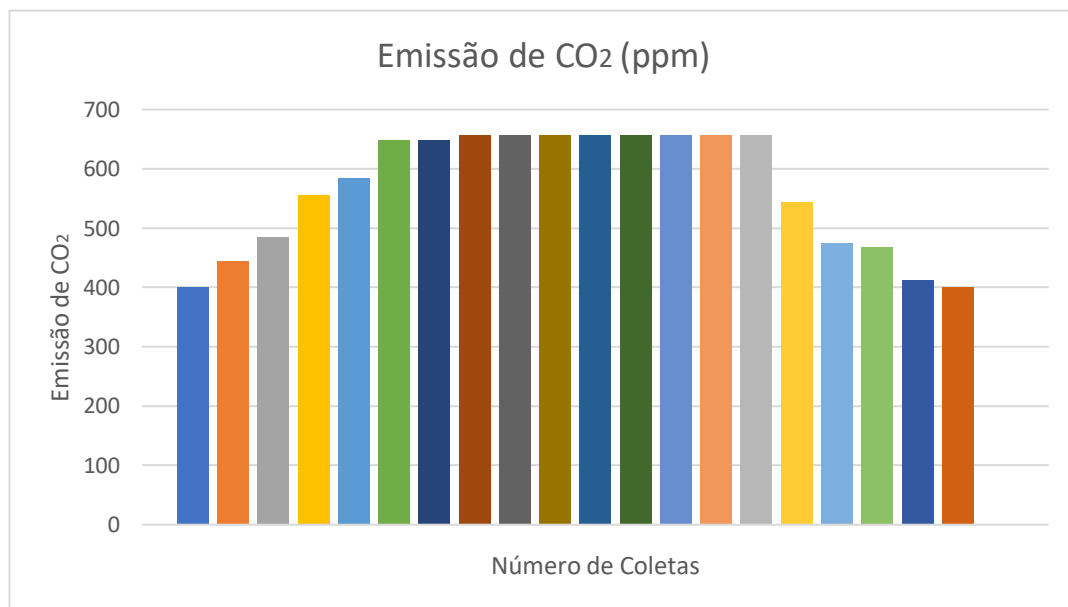
	PRESSÃO hPa	ALTITUDE m	TEMPERATURA °C
P01;1	94610,35	574,67	31,66
P01;2	94599,00	575,67	31,51
P01;3	94611,56	574,56	31,28
P01;4	94612,29	574,50	31,27
P01;5	94594,53	576,06	31,00
P01;6	94600,80	575,51	31,04
P01;7	94604,38	575,19	31,03
P01;8	94593,05	576,19	31,06
P02;1	94612,69	574,46	31,08
P02;2	94603,13	575,30	31,13
P02;3	94599,31	575,64	31,22
P02;4	94618,80	573,93	31,28
P02;5	94601,17	575,48	31,46
P02;6	94597,72	575,78	31,47
P02;7	94596,63	575,88	31,40
P02;8	94602,20	575,39	31,33
P03;1	94618,73	573,93	31,36
P03;2	94610,00	574,70	31,37
P03;3	94595,67	575,96	31,60
P03;4	94596,18	575,92	31,75
P03;5	94612,63	574,47	32,36
P03;6	94580,52	575,29	32,47
P03;7	94586,59	576,76	32,54
P03;8	94590,06	576,45	32,57

Fonte: Autoria Própria (2020).

Após constatar o erro na programação dos sensores MHZ-19 e MQ-2 na conexão via bluetooth, foi realizado um novo teste com os sensores para averiguar os valores.

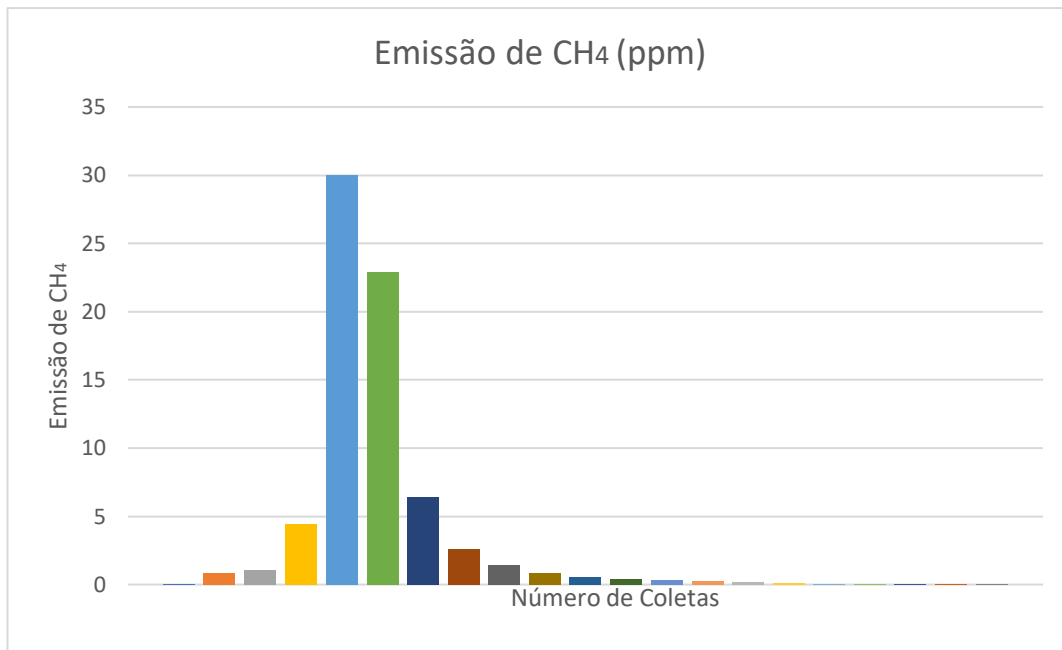
Foram realizados quatro novos testes, considerando 3 pontos com 50 coletas cada uma. O primeiro teste foi para verificar a trabalhabilidade dos sensores antes de inserir o robô na água, para a metodologia, foi utilizado o mesmo processo do teste do dia anterior, para o MHZ-19 foi realizado diversos assopros para coletar o gás CO₂ da expiração humana. Já para o sensor MQ-2 utilizamos a fumaça do fósforo aceso para coletar os dados de metano. No Gráfico 8 se tem os dados coletados do primeiro teste antes do sensor ir para a superfície aquática.

Gráfico 8 - Emissão de CO₂.



Fonte: Autoria Própria (2020).

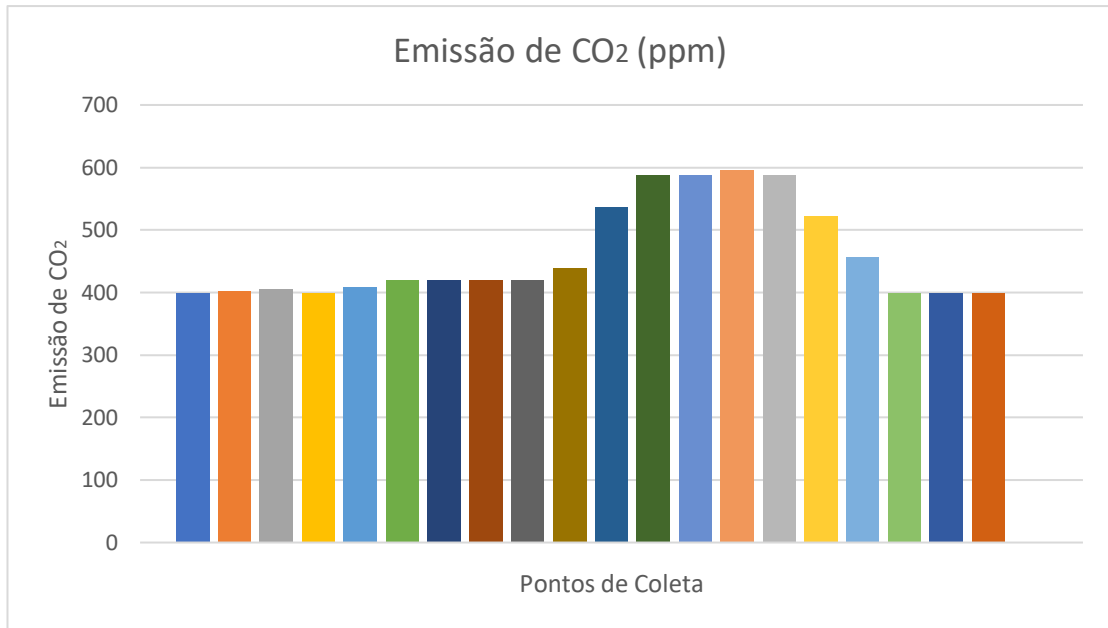
No Gráfico 8, é possível verificar o aumento da quantidade de emissão de CO₂ durante o pré-teste, o mesmo acontece no Gráfico 9 com a quantidade de emissão de CH₄.

Gráfico 9 - Emissão de CH₄.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Após o pré-teste, o robô foi inserido na superfície aquática, foram realizados três testes dentro da água, o primeiro teste foi realizado próximo a margem, o segundo teste foi feito com uma profundidade maior e o terceiro teste foi realizado próximo a margem, porém horizontalmente, para verificar a influência do subsolo nos dados coletados.

Para o primeiro teste de coleta foram coletadas 50 amostras em 3 pontos, indo do ponto mais próximo a margem até o ponto mais longe. O Gráfico 10 explica como foi o comportamento do sensor MHZ-19 e sua coleta de dados. Durante a coleta, foi identificado que em um ponto específico no lago, a uma profundidade de 0,50 m do solo até a lamina d'água, o sensor coletou uma variação na emissão de CO₂ dentro do reservatório, essa variação ocorreu após o solo ser mexido. Foi o ponto de maior valor de emissão. O maior problema no lago da usina seja o solo, que provavelmente possui decomposição de matéria orgânica e está liberando uma certa quantia de gás.

Gráfico 10 - Emissão de CO₂.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Já os dados para o sensor MQ-2 não tiveram alteração, se mantiveram na faixa de 0,01 a 0,08ppm, o que é considerado um valor quase igual a 0, ou seja, o sensor não conseguiu detectar emissão de CH₄ para os pontos coletados. Os dados de pressão, altitude e temperatura é possível verificar na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados do sensor BMP280.

	PRESSÃO hPa	ALTITUDE m	TEMPERATURA °C
P01;1	94345,69	597,99	31,36
P01;2	94400,41	593,16	31,10
P01;3	94368,20	596,00	31,02
P01;4	94371,09	595,75	31,01
P01;5	94371,77	595,69	30,97
P01;6	94372,79	595,60	30,97
P01;7	94370,50	595,80	30,91
P01;8	94369,64	595,88	30,92
P02;1	94359,77	596,75	31,01
P02;2	94369,61	595,88	31,06
P02;3	94363,88	595,39	31,16
P02;4	94363,78	596,39	31,26
P02;5	94322,73	600,01	31,26
P02;6	94368,75	595,95	31,23

P02;7	94383,20	594,68	31,24
P02;8	94355,50	597,12	31,22
P03;1	94399,34	593,26	31,24
P03;2	94369,93	595,85	31,19
P03;3	94349,13	597,68	31,19
P03;4	94368,02	593,02	31,19
P03;5	94370,08	595,84	31,18
P03;6	94367,55	596,06	31,23
P03;7	94375,68	595,34	31,27
P03;8	94366,92	596,12	31,27

Fonte: Autoria Própria (2020).

O segundo teste, realizado com uma profundidade da lamina d'água até o solo de 1,00 m, os valores dos sensores não obtiveram alterações, o sensor MHZ-19 se manteve em 400 a 403 ppm, já o sensor MQ-2 não ultrapassou a margem de 0,03 ppm. Os valores coletados são relativamente baixos. Durante o teste, foi utilizada a mesma metodologia do teste anterior para que o solo emitisse bolhas para a superfície afim de o sensor realizar a coleta, porém a força do gás não foi o suficiente para chegar até os sensores, devido à altura da profundidade.

No terceiro teste, foi colocado o robô para fazer a coleta dos gases em uma linha horizontal no rio, se mantendo na altura de 0,50 m de profundidade da lamina d'água, mesma altura na qual o sensor conseguiu coletar uma variação na emissão do gás dióxido de carbono, os dados coletados se mantiveram na mesma faixa da segunda coleta, tanto para o sensor MHZ-19 quanto para o sensor MQ-2. A Figura 18 mostra o robô realizando as coletas dentro da superfície aquática no reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão.

Figure 18 - Robô realizando a coleta de dados.



Fonte: Autoria Própria (2020).

7 PRODUTO

O modelo apresentado neste presente trabalho é um instrumento eficaz de auxílio em pesquisas futuras sobre o impacto ambiental, não só sendo utilizado em reservatório de usinas hidrelétricas, mas em diversas superfícies aquáticas, sendo elas lagoas, rios, nascentes, lagos, entre outros. Pode ser utilizado desde o diagnóstico de qualidade de uma superfície aquática, até o documento final, considerando o enquadramento dos corpos hídricos, objetivando um aumento da eficácia da gestão.

O protótipo totalmente automatizado foi programado para coletar dados de emissão de gases de CO₂ e CH₄ em superfícies aquáticas, através de sensores que auxiliam a medição. Além disso, o robô dispõe de GPS para se locomover de forma autônoma.

O robô foi pensado para que fosse capaz de coletar dados, obter resultados e se movimentar sem o pesquisador por perto, de forma autônoma. O protótipo é liberado no local de estudo pelo pesquisador para fazer a análise e em seguida ele se desloca aos pontos indicados para fazer a coleta dos dados, ficando estático por alguns segundos. Ao final do processo o robô retorna ao ponto inicial. Os dados coletados pelos sensores são armazenados em um cartão de memória, facilitando a leitura dos dados pelo pesquisador.

Figure 19 - Robô.



Fonte: Autoria própria (2020).

8 CONCLUSÃO

O produto apresentado neste trabalho obteve um bom resultado perante os objetivos do estudo. O protótipo conseguiu fazer a coleta dos gases de efeito estufa em um reservatório de usina hidrelétrica, além disso, de acordo com os dados coletados, o modelo apresentou um bom desempenho de acordo com a operacionalidade de cada item que compõe o robô.

No primeiro teste do robô realizado em 2019 no lago do Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira, foi possível detectar que o robô poderia facilmente ser conduzido pelo vento, movendo-o de uma posição a outra. Além disso, o design das hélices contribuiu para que as plantas rasas se enroscassem no motor, acarretando a parada do mesmo.

Já nos testes seguintes, foi possível identificar que o modelo de metodologia desenvolvido teve um bom desempenho para avaliar os níveis de dióxido de carbono e gás metano na superfície aquática do reservatório da Usina Hidrelétrica Mourão.

O reservatório em estudo apresentou baixo nível de emissão de gases de efeito estufa. Nos dois locais do experimento, os valores foram próximos, não diferindo os níveis de emissão da área urbana com a área rural dentro dos limites da Usina Hidrelétrica Mourão.

O baixo nível de emissão deve-se às áreas de proteção permanentes (APP), área que se tornou obrigatória nas margens do lago, para evitar o desmatamento devido a urbanização do local e ainda auxiliar na fauna e flora da área, auxiliando assim na absorção de gases de efeito estufa através da área verde mantida. Além disso a baixa carga de lançamento de esgoto no local contribuiu para o controle da emissão de gases.

Durante as campanhas de campo, observaram-se eventos de emissão de gases através de bolhas, quando o subsolo era mexido, no local provavelmente existe sedimentação da matéria orgânica podendo ter origem pela descarga de fundo da barragem existente. Srissia (2008) relatou a presença de gases no solo do reservatório, isso se deu pelo lamaçal inundado do reservatório durante a implantação da usina. Se não houvesse a barragem, essa sedimentação ao longo do rio provavelmente causaria emissões mais distribuídas.

Através das medições foi verificado que quanto mais próximo da margem do lago, o gás emitido pelo subsolo aquático chega mais rápido até os sensores para fazer a coleta. Quanto maior a profundidade da lâmina d'água do reservatório, o valor da emissão dos gases era menor, acredita-se então que a falta de pressão e velocidade do gás para chegar à superfície, dificultou a coleta pelos sensores.

Ainda durante as coletas os motores do robô não obtiveram um bom desempenho devido a programação usada no GPS para a movimentação, impedindo o uso do mesmo para os testes de locomoção. Durante o estudo o robô não se movimentou com destreza de um ponto a outro, em alguns pontos de coleta ele não conseguiu se locomover, ficando estático no local. A programação utilizada no GPS será estudada novamente para obter um melhor desempenho.

Vale ressaltar que as coletas ocorreram durante os meses mais quentes do ano, a temperatura variou de 28 a 32°, além disso, os níveis de água do reservatório estavam abaixo do nível médio esperado para os meses em questão devido à falta de chuva.

Considerando todos os dados coletados, o robô obteve um bom desempenho relacionado a coleta dos dados no reservatório da usina, foi considerado apenas os dados do protótipo, é necessário utilizar outro medidor já existente no mercado de pesquisas, qualificado e certificado, que faça a medição de gases de efeito estufa para certificação dos dados do robô. Além disso, não foram considerados parâmetros como oxigênio dissolvido na água e a demanda bioquímica de oxigênio, o que auxiliaria na determinação da poluição presente.

Quanto a estrutura do robô, é importante realizar estudos e testes para melhor aproveitamento dos motores, para que permitam a locomoção de forma autônoma e rápida, otimizando o tempo do pesquisador, além disso as hélices precisam de reajuste, já que podem encostar em objetos e plantas presentes na água.

Com isso, sentiu-se a necessidade de incorporar os sensores dentro da superfície aquática para um melhor parâmetro dos dados com efeito de comparação, uma vez que os sensores não são a prova d'água e coletavam os dados dos gases que a água emitia para atmosfera.

Devido a pandemia pelo Covid-19, enfrentada no ano do estudo, houveram limitações para aplicar a metodologia determinada, isso acarretou na falta de resultados para aprimorar o estudo, impedindo que o protótipo fosse comparado com

outros medidores de emissão de gases, através do uso de laboratório para análise dos dados.

As recomendações para pesquisas futuras mostram que o estudo de medição de gases de efeito estufa em reservatórios de usinas hidrelétricas é uma atividade complexa, que demanda diferentes áreas do conhecimento e constante estudo.

REFERÊNCIAS

ABRIL, G.; GUÉRIN, F.; RICHARD, S.; DELMAS, R.; GALY-LACAUX, C.; GOSSE, P.; TREMBLAY, A.; VARFALVY, L.; SANTOS, M. A.; MATVIENKO, B. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, 2005. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2005GB002457>. Acesso em: 10 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – Brasília, DF, 3ª ed. 236 p. 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/PxpKsZ8YdPpl/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835?inheritRedirect=false. Acesso em: 21 mai. 2019.

ANDERSON, D. E. Greenhouse gas flux measurements using eddy covariance and chamber techniques over lakes and reservoirs. *In*: **SEMINAR ON GREENHOUSE FLUXES FROM HYDRO RESERVOIR AND WORKSHOP ON MODELING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RESERVOIR AT WATERSHED LEVEL**, 2005, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, COPPE/UFRJ, 2005.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BARROS, N.; FARIA, F. A. M.; JARAMILLO, P.; SAWAKUCHI, H. O.; RICHEY, J. E.. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. **Cartas de Pesquisa Ambiental**, v. 10, n. 12, 2015. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124019>. Acesso em: 25 mar. 2019.

BARROS, N.; COLE, J. J.; TRANVIK, L. J.; PRAIRIE, Y. T.; BASTVIKEN, D.; HUSZAR, V. L. M.; DEL GIORGIO, P.; ROLAND, F. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. **Nature Geoscience**, n. 4, p. 593–596, 2011. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ngeo1211>. Acesso em: 25 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 16 out. 2020.

DEEMER, B. R.; HARRISON, J. A.; LI, S.; BEAULIEU, J. J.; DELSONTRO, T.; BARROS, N.; BEZERRA-NETO, J. F.; POWERS, S. M.; DOS SANTOS, M. A.; VONK, J. A. Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: a new global synthesis. **BioScience**, n. 66, p. 949-964, 2016. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/66/11/949/2754271>. Acesso em: 15 abr. 2020.

EPE, Empresa de Pesquisas Energética. **Balço energético nacional: relatório síntese**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.

FARIA, F. A. M.; JARAMILLO, P.; SAWAKUCHI, H. O.; RICHEY, J. E.; BARROS, N.. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. **Environmental Research Letters**, n. 12, v. 10, 2015. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124019/meta>. Acesso em: 06 set. 2019.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications. **Water, air and soil pollution**, v. 133, p. 69-96. 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1012971715668>. Acesso em: 06 set. 2019.

FEARNSIDE, P. M. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: o papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. **A Ecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 100–115, 2008.

FEARNSIDE, P. M. Emissões de gases de efeito estufa de reservatórios hidrelétricos na Amazônia: O exemplo de Tucuruí e comparação com as alternativas de combustível fóssil. p. 161-177. *In*: FEARNSIDE, P. M., **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**, v. 2. 297 p., Manaus, 2015. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/35341>. Acesso em: 06 set. 2019.

FRANKIGNOULLE, M.; BOURGE, I.; WOLLAST, R. Atmospheric CO₂ fluxes in a highly polluted estuary (the Scheldt). **Limnology and Oceanography**, v. 41, p. 365–369, 1996. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4319/lo.1996.41.2.0365>. Acesso em: 16 jan. 2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ; SEMA; IAP. **Plano de manejo parque estadual lago azul**. 2005. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Plano-de-Manejo-Parque-Estadual-Lago-Azul>. Acesso em: 16 jan. 2020.

HUTTUNEM, J. T.; MARTIKAINEN P. J. Long-term net methane release from finish hydro reservoirs. *In*: SANTOS, M. A.; ROSA, L. P. **Global warming and hydroelectric reservoirs. Proceedings of international seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoirs & workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed level**. Rio de Janeiro, 2005.

IHA (International Hydropower Association). **Assessment of the GHG status of freshwater reservoirs**. 2008.

IHA (International Hydropower Association). **GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs**. 2010. Disponível em: https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/5fa83e0697a884a4f0e30785_GHG%20Measurement%20Guidelines%20for%20Freshwater%20Reservoirs.pdf. Acesso em: 16 jan. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global energy e CO2 status report**. Paris: IEA, 2018. Disponível em: <https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018>. Acesso em: 20 mai. 2018.

IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, 996 p., 2007a. Disponível em: <https://www.cambridge.org/br/academic/subjects/earth-and-environmental-science/climatology-and-climate-change/climate-change-2007-physical-science-basis-working-group-i-contribution-fourth-assessment-report-ipcc?format=PB&isbn=9780521705967>. Acesso em: 10 jun. 2019.

IPCC. Climate change 2007: synthesis report. **Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Genebra, Suíça, 104 p., 2007b. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/944235>. Acesso em 10 jun. 2019.

IPCC. Climate change 2013: scientific basis. **The basis of physical Science workink to contribute to the group V evaluation report by the intergovernment panel on climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, 210 p., 2013. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg1_spmportuguese.pdf. Acesso em: 20 jul. 2018.

JÚNIOR, E. M. M. **Modelagem e simulação da dispersão de metano no reservatório de Santo Antônio – Rondônia**. 2017. Tese de Doutorado (Doutorado em física ambiental) - Programa de pós graduação em física ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2017.

KAHN, B. **Earth's carbon dióxido level is set to make one of it's biggest anual leaps ever recorded**. GizModo. 2020. Disponível em: <https://earthier.gizmodo.com/earths-carbon-dioxide-level-is-set-to-make-one-of-its-b-1841202387>. Acesso em: 20 ago. 2020.

KEMENES, A., FORSBERG, B. R., E MELACK, J. M. CO2 emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). **Jornal de pesquisa geográfica**, n. 116, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/896953/co2-emissions-from-a-tropical-hydroelectric-reservoir-balbina-brazil>. Acesso em: 20 ago. 2020.

LAMBERT, M.; FRÉCHETTE, J. L. **Analytical techniques for measuring fluxes of CO₂ and CH₄ from hydroelectric reservoirs and natural water bodies**. Cap. 2, p. 37–60, 2005, Nova York. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-26643-3_3. Acesso em: 20 ago. 2020.

LIMA, I. B. T.; RAMOS, F. M.; BAMBACE, L. A. W.; ROSA, R. R. Methane emissions from large dams as renewable energy resources: a developing nation perspective. **Mitigation and adaptation strategies for global change**, v. 13, p. 193-206. 2008. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/spr/masfgc/v13y2008i2p193-206.html>. Acesso em: 06 set. 2019.

LORKE, A.; BODMER, P.; NOSS, C.; ALSHBOUL, Z.; KOSCHORRECK, M.; SOMLAI-HAASE, C.; BASTVIKEN, D.; FLURY, S.; MCGINNIS, D. F.; MAECK, A.; MÜLLER, D.; PREMKE, K. Technical note: drifting versus anchored ux chambers for measuring greenhouse gas emissions from running waters. **Biogeosciences**, n. 12, p. 7013–7024, 2015. Disponível em: <https://bg.copernicus.org/articles/12/7013/2015/>. Acesso em: 06 set. 2019.

MANNICH, M. **Estimativa de emissão de gases de efeito estufa em reservatórios e lados** – contribuições para o monitoramento e modelagem 1d-vertical. 2013. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MENDONÇA, R.; KOSTEN, S.; SOBEK, S.; BARROS, N.; COLE, J. J.; TRANVIK, L.; ROLAND, F. Hydroelectric carbon sequestration. **Nature Geoscience**, n. 5, p. 838–840, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ngeo1653>. Acesso em: 06 set. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, Ano Base 2019**. 2020. 256 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em 30 ago. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). **Acordo de Paris**. 2017. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 30 ago. 2020.

MIRANDA, M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil**: implicações da aplicação da avaliação do ciclo de vida. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

NASA. **Wordview**. Disponível em: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>. Acesso em: 16 out 2020.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões de GEE no Brasil – suas aplicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris.** Sistema de Estimativa de Emissão de Gases. 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil.** 2019. Disponível em: http://www.observatoriodoclima.eco.br/wpcontent/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020.

PARALOVO, S.; MANNICH, M. Utilização de câmaras flutuantes para medição de fluxos de gases na interface ar-água: uma revisão. *In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS.* 2017, Florianópolis. **Anais da Associação Brasileira de Recursos Hídricos.** Florianópolis, 2017.

SANTOS, M. A.; MATVIENKO, B.; ROSA, L. P.; SIKAR, E. Carbon Dioxide and Methane Emissions from Hydroelectric Reservoirs in Brazil. *In: SANTOS, M. A.; Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs in Tropical Regions.* v. 66. p. 9-21. 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:CLIM.0000043158.52222.ee>. Acesso em: 07 jul. 2018.

SANTOS, D; MISKALO, B.; PEREIRA, L.; PEREIRA, L.; ABREU, L.; VALENTIN, L.; GONÇALVES, P. Robocó-Um robô medidor de emissão de CO₂ em meios aquáticos. *In: MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA (MNR).* 2017, Curitiba. **Anais da VII Mostra Nacional de Robótica.** Curitiba: FIEP, 2017. Disponível em: <http://www.mnr.org.br/wp-content/uploads/2019/06/MNR-Anais2017.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2018.

SHIMAKO, M. Z. O potencial hidrelétrico brasileiro e a maior usina geradora de energia do mundo. **Portal Biossistemas Brasil.** 2018. USP. Disponível em: <http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=7865>. Acesso em: 03 set. 2020.

ROSA, L. P. **Global warming and hydroelectric reservoirs. proceedings of international seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoirs & workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed level.** Rio de Janeiro, COPPE/UFRj, Eletrobrás. 197 p., 2005.

SBRISSIA, R. **Modelagem das espécies de carbono na coluna de água e predição de gases de efeito estufa em reservatórios, estudo de caso: PCH Salto Natal, Campo Mourão-PR.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCHUCHTER, G. P. **Emissão de gases de efeito estufa em reservatórios hidrelétricos.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em

Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

St. LOUIS, V. L.; KELLY, C. A.; DUCHEMIN, É.; RUDD, J. W. M.; ROSENBERG, D. M. Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate. **BioScience**, v. 50, n. 9. 2000. Disponível em: <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/505416f0e4b097cd4fcfd50f>. Acesso em: 20 mai. 2018.

SVENSSON, B. Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs: A Global Perspective. *In*: SANTOS, M. A., ROSA, L. P. **Global warming and hydroelectric reservoirs: proceedings of international seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoirs & workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed level**. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Eletrobrás. 197 p., 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229038730_Greenhouse_gas_emissions_from_hydroelectric_reservoirs_A_global_perspective. Acesso em: 20 mai. 2018.

TEODORU, C. R.; BASTIEN, J.; BONNEVILLE, M. C.; DEL GIORGIO, P. A.; DEMARTY, M.; GARNEAU, M.; HÉLIE, J. L.; PELLETIER, L.; PRAIRIE, Y. T.; ROULET, N. T.; STRACHAN, I. B.; TREMBLAY, A. The net carbon footprint of a newly created boreal hydroelectric reservoir. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 26, 2012. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2011GB004187>. Acesso em: 20 mai. 2018.

TRANVIK, L. J.; DOWNING, J. A.; COTNER, J. B.; LOISELLE, S. A.; STRIEGL, R.G.; BALLATORE, T. J.; DILLON, P.; FINLAY, K.; FORTINO, K.; KNOLL, L. B.; KORTELAINEN, P. L.; KUTSER, T.; LARSEN, S.; LAURION, I.; LEECH, D. M.; McCALLISTER, S. L.; McKNIGHT, D. M.; MELACK, J. M.; OVERHOLT, E.; PORTER, J. A.; PRAIRIE, Y.; RENWICK, W. H.; ROLAND, F.; SHERMAN, B. S.; SCHINDLER, D. W.; SOBEK, S.; TREMBLAY, A.; VANNI, M. J.; VERSCHOOR, A. M.; von WACHENFELDT, E.; WEYHENMEYER, G. A. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. **Limnology Oceanography**, v. 54, 2009. Disponível em: https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298. Acesso em: 20 mai. 2018.

UNEP - United Nations Environment Programme's Information Unit for Conventions. **Climate Change - Information Kit**, 2001. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/iuckit/cckit2001en.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2018.

UNITED NATIONS. **Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change**. 1998. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.png>. Acesso em: 20 mai. 2018.

UNITED NATIONS. **Agenda 2030: objetivos de desenvolvimento sustentável.** 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 03 jan. 2020.

VACHON, D.; PRAIRIE, Y. T.; COLE, J. J. The relationship between near-surface turbulence and gas transfer velocity in freshwater systems and its implications for floating chamber measurements of gas exchange. **Limnology and Oceanography**, v. 55, p. 1723–1732, 2010. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2010.55.4.1723>. Acesso em: 20 mai. 2018.

WAYNE, R. P. **Chemistry of atmospheres: an introduction to the chemistry of the atmospheres of earth, the planets, and their satellites.** 3 ed. Oxford University Press, 775 p. Nova York. 2000.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Declaration of the World Climate Conference.** 1979. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/003/00376/037648eb.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2018.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Concetrações Globais de CO₂ atingem novo recorde.** 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/11/1695581>. Acesso em: 20 ago. 2020.

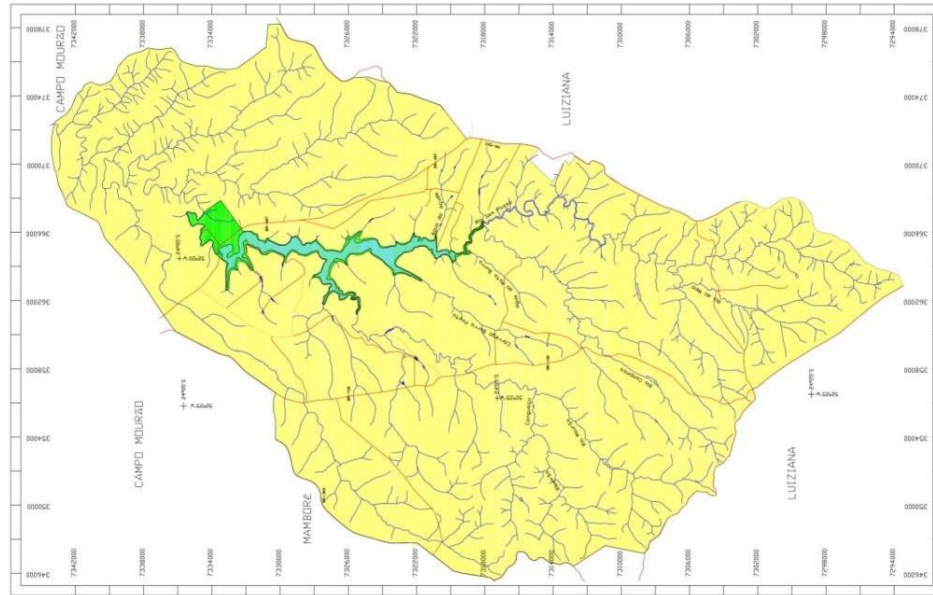
YANG, L.; LU, F.; ZHOU, X.; WANG, X.; DUAN, X.; SUN, B. Progress in the studies on the greenhouse gas emissions from reservoirs. **Acta Ecologica Sinica**, v. 34, p. 204–212, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203214000249>. Acesso em 20 mai. 2018.

ANEXO A – Mapa Hidro-Geológico do Estado do Paraná

ANEXO B – Localização e Detalhe da Bacia Hidrográfica

**PLANO DE MANEJO DO PARQUE ESTADUAL LAGO AZUL - PELA
CAMPO MOURÃO - LUIZIANA
PARANÁ**

**MAPA DE LOCALIZAÇÃO
DA ÁREA DE ESTUDO
Detalhe da Bacia Hidrográfica**



LEGENDA

-  ÁREA DE ESTUDO
PARQUE ESTADUAL LAGO AZUL
-  BACIA DE CONTRIBUIÇÃO
PARCIAL DO RIO MOURÃO

Fonte: Carta de Declividade – Folha SG-22-V-B
Programa Paraná Rural
Governador do Estado do Paraná
Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral
IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
Ministério do Exército, Departamento de Engenharia e Comunicações
Folhas SG.22-V-B-I-1, MI-2803/1 e SG.22-V-B-I-3, MI-2803/3,
1990, Escala 1:50.000, SG.22-V-A-III, MI-2802, 1990, Escala 1:100.000

- CONVENÇÕES
-  ESTRADAS PAVIMENTADAS
 -  ESTRADAS SECUNDÁRIAS
 -  REDE DE DRENAGEM
 -  LIMITES DA ÁREA DE ESTUDO
 -  PARQUE ESTADUAL LAGO AZUL
 -  RESERVATÓRIO USINA
HIDRELÉTRICA MOURÃO I

Escala indicada



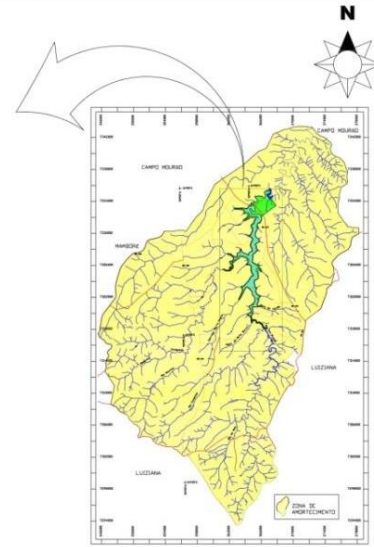
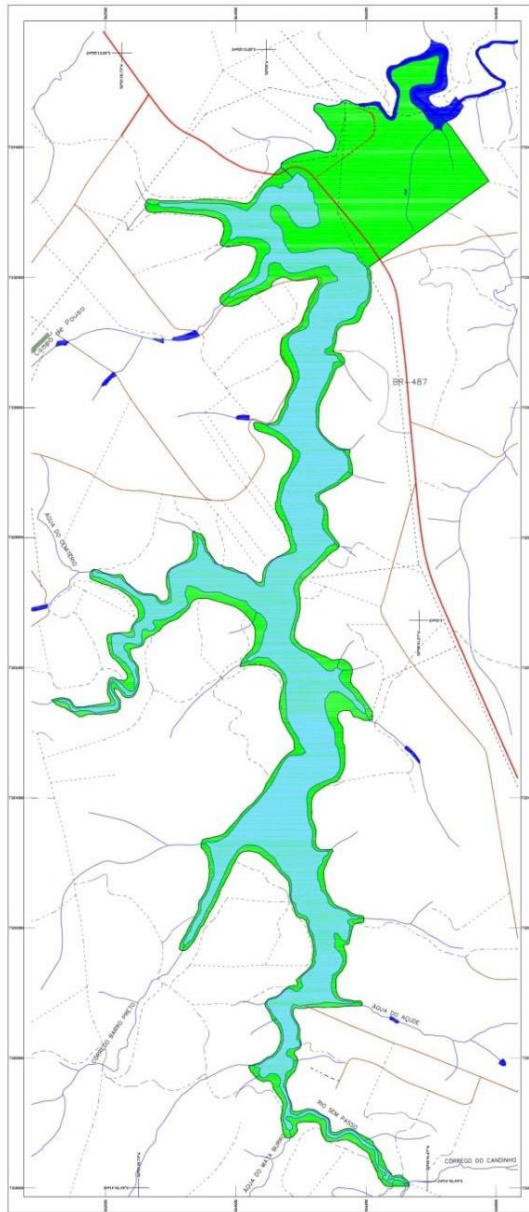
Fonte: Digitalização Simplificada das Folhas 1:50000
Coordenadas UTM - 19S
Luziana MI = 2803/3



**PLANO DE MANEJO DO PARQUE ESTADUAL
LAGO AZUL - PELA
CAMPO MOURÃO - LUIZIANA
PARANÁ**

2
13

ANEXO C – Mapa de Drenagem



PLANO DE MANEJO DO PARQUE ESTADUAL LAGO AZUL
CAMPO MOURÃO - LUIZIANA
PARANÁ

MAPA DA REDE DE DRENAGEM

LEGENDA

- RESERVATÓRIO USINA HIDRELÉTRICA MOURÃO I
- RESERVATÓRIO PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA SALTO NATAL - BRASCAN
- REDE DE DRENAGEM NATURAL
- AQUEDUCES

<p>CONDIÇÕES</p> <ul style="list-style-type: none"> — ESTRADAS PRINCIPAIS — ESTRADAS SECUNDÁRIAS <p>— REDE DE DRENAGEM</p> <p>— LIMITE DA ÁREA DE ESTUDO</p> <p>— PARQUE ESTADUAL LAGO AZUL</p> <p>— LINHAS DE ALTA TENSÃO</p> <p>— RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA MOURÃO I</p>	<p>Escala 1:35.000</p> <p>Área Total do PELA 1955,92 ha</p> <p>Fone: Delineamento Geométrico em Folha 1:50000</p> <p>Carta: escala de 1:250.000</p> <p>Coordenada: W 2861,2</p>	
---	---	--

