

PLANO DE TRABALHO

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS E PROCESSOS PARA A RECUPERAÇÃO E MONITORAMENTO DE NUTRIENTES A PARTIR DE ÁGUAS RESIDUAIS E SENSORIAMENTO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO

Este documento foi assinado digitalmente por Fabiane Franciscone. Este documento foi assinado eletronicamente por Eduardo Letti Borghetti, Paulo Roberto Dantas Marangoni e Agne Roani de Carvalho Jorge.
Para verificar as assinaturas vá ao site <https://sistemafep.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código 0306-97A5-5AE9-AE27.

Este documento foi assinado digitalmente por Fabiane Franciscone. Este documento foi assinado eletronicamente por Eduardo Letti

Borghetti, Paulo Roberto Dantas Marangoni e Agne Roani de Carvalho Jorge.

Inserido ao protocolo 19.188.308-0 por Priscila Alves dos Anjos em: 08/07/2022 16:03. As assinaturas deste documento constam às fls. 62a. A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço: <https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento> com o código: **daaced112ed5a8537545a8677c615c9c**.

DADOS DO PROJETO

Unidade Operacional Executora: Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica

Nome do Projeto: DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS E PROCESSOS PARA A RECUPERAÇÃO E MONITORAMENTO DE NUTRIENTES A PARTIR DE ÁGUAS RESIDUAIS E SENSORIAMENTO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO.

Prazo de execução: 28 meses

Gestora do Projeto no ISI Eletroquímica: Alana Cristine Pellanda

Gestor do Projeto na Sanepar: Gustavo Rafael Collere Possetti

Gestor do Projeto na Master Robotics: Isabela Brugalli Borghetti

1 Introdução

A escassez de água é uma crise emergente que ameaça países em todo o mundo. Várias partes do globo sofrem com a falta de recursos hídricos, incluindo regiões como Europa, Oriente Médio e América do Sul. Alternativas comuns para muitos países são as novas iniciativas para tratar águas residuais antes de despejá-las em cursos de água naturais ou da sua reintegração ao ciclo de consumo. Um dos principais fatores poluentes é o excesso de nutrientes (como nitrogênio e fósforo) que ameaçam a saúde humana e o meio ambiente. Uma grande quantidade de fósforo e nitrogênio na água, por exemplo, pode promover o crescimento de algas, levando à eutrofização de rios, lagos e mares em todo o mundo. Além disso, a reciclagem de águas residuais proporciona a recuperação de subprodutos importantes para a indústria agrícola, uma vez que são fontes valiosas de elementos essenciais para a fabricação de fertilizantes. Dentro deste contexto, águas residuais de estações de tratamentos de esgoto costumam ser uma fonte de água rica em nutrientes.

Muitas tecnologias são empregadas para recuperação de diferentes nutrientes, como fósforo e nitrogênio, incluindo precipitação química, adsorção, sistemas biológicos, processos e sistemas eletroquímicos e separação por membrana. A precipitação química é o processo mais empregado nas estações de tratamento para a recuperação do fósforo e nitrogênio em águas residuais. Neste método são utilizados sais de metais que interagem com o fosfato ou nitrato presente na água formando um composto insolúvel (precipitado). O precipitado é composto pelo íon metálico e o elemento de interesse (fósforo ou nitrogênio). O hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pode ser utilizado para a precipitação do fósforo, porém um parâmetro importante é o pH do meio. Meios alcalinos (pH aproximadamente 10) e com o excesso dos íons Ca^{2+} em solução favorecem a formação da hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) a qual irá precipitar. A hidroxiapatita obtida pode ser utilizada como fertilizante, podendo ser aplicada diretamente no solo. Além do cálcio podem ser ainda empregados outros íons metálicos multivalentes, como compostos de alumínio e de ferro.

A adsorção é um processo que ocorre na superfície do material, onde um líquido ou gás (adsorbato) irá interagir com um substrato (adsorvente), fazendo com que átomos, íons ou moléculas com mais afinidade à superfície do material fiquem aderidas

no adsorvente, possibilitando assim a remoção de compostos indesejados do adsorbato. Estas espécies que ficam aderidas ao substrato podem ser recuperadas para posterior uso, tendo em vista que a interação adsorbato e adsorvente pode ser reversível. Vários materiais podem ser empregados como adsorvente, como por exemplo, compostos de carbono, polímeros, estruturas organometálicas, zeólitas, compósitos, entre outros. Dentre os compostos de carbono um que tem despertado grande interesse é o grafeno, o qual possui características desejáveis em materiais adsorventes, como elevada área superficial (porosidade) e possibilidade de funcionalização.

Compósitos baseados em grafeno, como óxido de grafeno, óxido de grafeno reduzido e grafeno modificado são alguns dos materiais que estão sendo estudados para aplicação no tratamento de águas residuais. Um exemplo de compósito é o de dupla camada de hidróxidos e grafeno (DCH). Este material apresenta estruturas únicas em sua superfície, além de excelentes propriedades físico-químicas. Os DCH são formados por uma camada de hidróxidos divalentes (M^{2+}) parcialmente substituídos por cátions trivalentes (M^{3+}). Estes compósitos têm recebido grande destaque por serem materiais com o viés da química verde, removendo substâncias danosas ao meio ambiente.

A remoção biológica de nutrientes de efluentes pode ser feita através do crescimento de microrganismos (bactérias e microalgas) e de plantas aquáticas. Estes atuam na redução ou remoção principalmente de nitrogênio e fósforo. Uma vez que esses nutrientes são assimilados à biomassa destes organismos, se torna mais fácil a sua recuperação para posterior uso em outros setores. A rota biológica mais utilizada no tratamento de águas residuárias é o processo de lodo ativado, composto majoritariamente por matéria orgânica e microrganismos. Nesta etapa há incorporação de fosfatos e nitratos pelas células microbianas, que se dá principalmente através da nitrificação aeróbia e da desnitrificação anóxica. Os principais gêneros envolvidos neste processo são *Nitrosomonas* e *Nitrospira*. Usando um processo anóxico, por exemplo, é possível recuperar nitrogênio e fósforo no mesmo processo.

A fim de potencializar os sistemas biológicos, pode-se fazer a adição de microrganismos conhecidos, que, através de processos fermentativos, são capazes de acumular ainda mais nutrientes na biomassa microbiana. Além disso, os efluentes

contêm fontes de carbono e micronutrientes que servem de substrato para o crescimento microbiano. A remoção de fósforo, por exemplo, pode ser realizada de modo eficiente pelo processo EBPR (do inglês *Enhanced biological phosphorus removal*). Os microrganismos que realizam EBPR são acumuladores de polifosfato (polyphosphate-accumulating organisms - PAO), e possuem uma fisiologia complexa, que envolve a formação de biopolímeros intracelulares (polifosfato, glicogênio e polihidroxicarboxilatos), o gênero de microrganismos *Acinetobacter* é conhecido por desempenhar esta função. O uso desses microrganismos, além de atuarem na remoção de nutrientes, pode também fazer a redução de contaminantes tóxicos, como os metais pesados, e diminuir o teor de bactérias patogênicas presentes no esgoto. Outra rota biológica ocorre através do uso de sistemas de *Wetlands*, uma tecnologia que usa compartimentos de efluentes contendo espécies de plantas aquáticas. Exemplos de espécies incluem *Typha* spp. e *Schoenoplectus* spp. Essas criam no mesmo sistema ambientes anaeróbios e aeróbios, favorecendo a formação de uma microbiota única próxima das raízes. As plantas, juntamente com os microrganismos, degradam a matéria orgânica do esgoto, removendo nutrientes e reduzindo odores e emissões de metano. No entanto, a remoção de nutrientes é sazonal (mais baixa durante o período de senescência das plantas) e, também, limitada a sorção aos sólidos afluentes que são removidos.

Os processos biológicos possuem bom custo-benefício, porém, são muito sensíveis e requerem um controle cuidadoso de muitos parâmetros operacionais como pH, temperatura, teor de ácidos graxos voláteis, concentração de cátions, concentração de oxigênio dissolvido, razão substrato-microrganismo, tempo de retenção hidráulica, tempo de retenção de sólidos e composição de águas residuais.

Outra abordagem possível para a recuperação de fósforo e nitrogênio é via processos eletroquímicos, principalmente por meio da precipitação da estruvita. A estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) é um composto formado por concentrações equimolares de fósforo, nitrogênio e magnésio, a qual pode ser utilizada como fertilizante. De forma geral, a reação eletroquímica que induz a precipitação de estruvita, a partir da aplicação de um sinal de corrente constante, ocorre em uma célula eletroquímica composta por um anodo, podendo este ser inerte (platina, grafite, carbono vítreo, entre outros) ou de sacrifício (atuando como a fonte de algum reagente, como magnésio, por exemplo) e um cátodo (aço inoxidável, níquel, grafite e platina). A precipitação de estruvita também

5

Este documento foi assinado digitalmente por Fabiane Franciscone. Este documento foi assinado eletronicamente por Eduardo Letti Borghetti, Paulo Roberto Dantas Marangoni e Agne Roani de Carvalho Jorge. Para verificar as assinaturas vá ao site <https://sistemaiefp.portaleassinaturas.com.br:443> e utilize o código 0306-97A5-5AE9-AE27.

depende dos compostos presentes no eletrólito da célula eletroquímica (fonte de água residual contendo os íons Mg^{2+} , PO_4^{3-} e NH_4^+ e outros reagentes) e dos íons OH^- gerados no cátodo, devido a redução da água ou do oxigênio dissolvido. De forma análoga, outra reação de precipitação induzida eletroquimicamente resulta na formação de hidroxiapatita ($Ca_5(OH)(PO_4)_3$). Assim, as metodologias eletroquímicas atuam na formação de precipitados a partir da disponibilização dos reagentes no meio (eletrólito) e a aplicação de corrente constante. Os processos eletroquímicos não dependem da adição de reagentes alcalinizantes e possibilitam a produção simultânea de gás hidrogênio, um combustível em potencial. Como desvantagem, existe a necessidade de gasto energético para alimentar a reação eletrolítica, além da possibilidade da precipitação de impurezas.

Existe ainda a alternativa da combinação de uma ou mais técnicas para a elaboração de um sistema de recuperação de nutrientes como, por exemplo, a combinação do processo adsorptivo, com material adsorvente a base de óxido de grafeno, seguido de uma recuperação por precipitação induzida eletroquimicamente, com eletrodos de grafeno e manganês, com aplicação de corrente constante. Outra combinação possível pode ser realizada entre o processo biológico anaeróbico, a partir de uma fermentação em biorreator sob condições controladas de pH e temperatura, com um sistema eletroquímico com eletrodos de carbono e níquel. De forma análoga, as fermentações aeróbicas também podem ser empregadas em combinação com técnicas eletroquímicas, alguns trabalhos relatam a precipitação eletroquímica de estruvita como produto final do processo. A estruvita também pode ser obtida, por exemplo, da combinação de bioprocessos alternados de aerobiose e anaerobiose e associados com a precipitação química. Portanto, muitas possibilidades são possíveis e bastante vantajosas, pois permitem principalmente o aumento da eficiência dos processos.

A necessidade de métodos de quantificação de nitrogênio e fósforo a fim de monitorar a qualidade das águas reutilizadas é uma preocupação iminente, uma vez que o reaproveitamento e melhor uso dos recursos naturais tem se tornado uma prática necessária, principalmente em estações de tratamento de água e esgoto. Com relação aos nutrientes abordados no presente projeto, nitrogênio e fósforo, que tem grande ação fertilizante em solos, ambos são possíveis de serem detectados para avaliar assim a eficiência da metodologia de recuperação de tais nutrientes em águas residuais.

O método padrão para a determinação de fósforo é a espectrometria de fosfomolibdato azul, que também é o método de medição de fósforo comumente utilizado no mundo. No entanto, a turbidez na amostra de água afeta diretamente o valor de absorbância medido e existem muitos fatores de interferência, por isso é necessário fazer uma compensação e correção. Desta forma, o espectrômetro tradicional não pode atender às necessidades de monitoramento ambiental moderno, como online rápido, simples e em tempo real.

No campo de sensores eletroquímicos, a aplicação da tecnologia para detecção de fósforo em água tem-se empregado eletrodos seletivos de íons de fosfato de membrana líquida e eletrodos seletivos de íons de fosfato de membrana sólida devido à sua alta sensibilidade e seletividade, ampla faixa linear, tempo de resposta rápido, possibilidade de análise online e controle automático, podendo ser utilizado em monitoramento in situ.

Para a detecção de nitrogênio, sensores eletroquímicos à base de cobre têm sido utilizados com sucesso. Nanomateriais baseados em nanopartículas de cobre, nanotubos de carbono de paredes múltiplas e óxido de grafeno reduzido (Cu/MWCNT/rGO) foram preparados como o material de detecção. O cobre também foi relatado como um excelente material para a eletro-redução de nitrato e nitrito. Além disso, a atividade eletroquímica é facilitada pela integração das nanopartículas com óxido de grafeno reduzido e nanotubos de carbono de paredes múltiplas devido suas vantagens intrínsecas, como grande área de superfície e propriedades superiores de transferência de carga.

Desta forma, o objetivo principal deste projeto é desenvolver uma metodologia robusta para recuperação de nutrientes de águas residuais a partir de abordagens físico-químicas, eletroquímicas, biológicas e até mesmo a associação de duas ou mais abordagens, além do desenvolvimento de sensores para monitoramento da eficiência dos processos de recuperação que serão avaliados.

2 Objetivo Geral

Explorar o potencial do acúmulo de nutrientes em águas residuais para o desenvolvimento de um processo de recuperação e reciclagem destes nutrientes e, desta forma, criar uma fonte alternativa de extração e produção de insumos agrícolas, apoiando um processo circular e economicamente viável para a agricultura e indústrias de fertilizantes. Além disso, objetiva-se também desenvolver uma metodologia para o monitoramento da concentração dos nutrientes recuperados a partir de sensores eletroquímicos.

3 Atividades

A seguir são descritas as atividades planejadas para o desenvolvimento, dentro de cada Macroentrega (pacotes de trabalho).

Todas as atividades técnicas serão desenvolvidas pelos pesquisadores do ISI Eletroquímica e haverá apoio das equipes técnicas da Sanepar e da Master Robotics nas discussões de resultados. As amostras de esgoto serão coletadas diretamente na Estação de Tratamento de Esgoto escolhida para fornecimento das mesmas, na Sanepar, após agendamento prévio entre as equipes envolvidas.

Macroentrega 1

Levantamento bibliográfico, aquisição de itens, design de experimentos e caracterização das amostras de águas residuais; Delineamento experimental com estudo e seleção de estratégias (de acordo com a sensibilidade requerida) para a construção de eletrodos e desenvolvimento de sensores para determinação de nitrogênio e fósforo em águas residuais.

Smart Materials

- Contratação de pesquisadores dedicados ao projeto;
- Levantamento bibliográfico e seleção teórica das principais metodologias (eletroquímica, biológica e físico-química) e materiais que serão aplicados para a recuperação de nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- Aquisição de eletrodos, componentes, reagentes, membranas de separação, sistemas de cultivo, materiais adsorventes, cepas de microrganismos e demais materiais para a elaboração das metodologias recuperação (eletroquímica, biológica e físico-química) de nutrientes e reagentes e materiais necessários para os experimentos de caracterização e avaliação do processo;
- Caracterização físico-química de amostras de águas residuais:
 - Espectroscopia de absorção molecular no UV-vis: determinação da concentração de fósforo total e nitrogênio total;
 - Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente: determinação de potássio e cálcio;
 - Teor de sólidos;
 - pH.

Smart Biosensors

- Levantamento bibliográfico;
 - Delineamento experimental com estudo e seleção de estratégias (de acordo com a sensibilidade requerida) para a construção de eletrodos e desenvolvimento de sensores para determinação de nitrogênio e fósforo em águas residuais;
 - Aquisição de materiais e reagentes para a construção dos eletrodos e desenvolvimento dos sensores (eletrodos tipo bulk, conectores, reagentes para tampões e eletrólitos, metais, soluções-padrão, biomoléculas). Mapeamento de serviços de terceiros para usinagem de peças e/ou impressão 3D;
 - Contratação de pesquisadores dedicados ao projeto.
- **Produto Macroentrega 1– escopo Smart Materials e Smart Biosensors:**
- Relatório técnico descritivo sobre a revisão bibliográfica realizada, materiais e delineamentos experimentais selecionados com as respectivas justificativas

técnicas e caracterização físico-químicas das amostras do efluente fornecido por parte da SANEPAR.

Macroentrega 2

Screening de processos de recuperação de nutrientes (eletroquímicos, físico-químicos e biológicos); Seleção de substratos e testes de eletrodos; Seleção de técnica eletroanalítica para testes iniciais com amostras simuladas.

Smart Materials

- Testes de diferentes metodologias (biológicas e físico-químicas) para a recuperação do nitrogênio e fósforo.
- Teste de diferentes metodologias eletroquímicas para a precipitação de estruvita e outros precipitados de interesse em amostras simuladas de nutrientes e amostras reais de águas residuais.
- Caracterização dos produtos formados durante os diferentes processos de recuperação e obtenção de nutrientes:
 - FTIR (do inglês, *Fourier transform infrared spectroscopy* – Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier);
 - EDS (do inglês, *energy-dispersive spectrometry* – espectroscopia de raios X por dispersão em energia);
 - TGA (do inglês, *Thermogravimetric analysis* – Análise termogravimétrica).
 - FRX (do inglês, *Energy dispersive x ray spectroscopy* – Espectroscopia de raios X por dispersão em energia).
 - DRX (do inglês, *X ray diffractometry* – difração de raios-x)
- Determinação da eficiência dos processos de precipitação induzidos eletroquimicamente:
 - Espectroscopia de absorção molecular no UV-Vis: determinação da concentração de fósforo total e nitrogênio total;
 - Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente: determinação de potássio e cálcio;

Smart Biosensors

- Seleção de substratos e testes de eletrodos, onde serão testados eletrodos metálicos e a base de carbono tanto comerciais quanto desenvolvidos no próprio instituto. Testes de eletrodos modificados com arquiteturas de carbono (nanotubos, grafeno, óxido de grafeno, óxido de grafeno reduzido, *carbon black*) e nanopartículas metálicas para amplificação do sinal analítico;
- Seleção de técnica eletroanalítica para testes iniciais com amostras simuladas;
 - Potenciostato: avaliação de perfis eletroquímicos frente a sonda eletroquímica e padrões de nitrogênio e fósforo na forma de suas espécies mais presentes na amostra;
 - *Glovebox*: no caso de utilização de eletrodos impressos metálicos, estes serão construídos por evaporação ou *sputtering* de metais;
 - *Screen-printing*: no caso de utilização de eletrodos impressos a base de carbono, estes serão construídos por meio da técnica de serigrafia;

➤ **Produto Macroentrega 2 – escopo Smart Materials e Smart Biosensors:**

- Relatório técnico descritivo contendo:
 - Smart Materials: descrição das metodologias e todos os experimentos testados durante o *screening* de técnicas para a recuperação dos nutrientes nitrogênio e fósforo a partir das rotas biológicas, físico-químicas e eletroquímicas. Análise comparativa considerando a viabilidade técnica das propostas, caracterização físico-química dos produtos à base de nutrientes obtidos e a eficiência de recuperação.
 - Smart Biosensors: descrição dos substratos e materiais testados para o desenvolvimento de sensores eletroquímicos e a definição do eletrodo que será utilizado para a continuação do projeto. Apresentação dos resultados obtidos por diferentes técnicas eletroanalíticas utilizadas para os testes iniciais com amostras simuladas.

Macroentrega 3

Otimização das metodologias de recuperação de nutrientes mais promissoras; Curva analítica em amostras simuladas para definição das figuras de mérito (limite de detecção, limite de quantificação, sensibilidade e intervalo linear do método).

Smart Materials

- Otimização das metodologias com maior potencialidade para recuperação de nutrientes, considerando as rotas biológicas, físico-químicas e eletroquímicas e determinação dos melhores parâmetros experimentais envolvidos em cada técnica.
- Caracterização dos produtos formados durante a otimização dos processos:
 - FTIR;
 - EDS;
 - TGA;
 - FRX;
 - DRX.
- Determinação da eficiência dos processos de recuperação de nutrientes:
 - Espectroscopia de absorção molecular no UV-Vis: determinação da concentração de fósforo total e nitrogênio total;
 - Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente: determinação de potássio e cálcio.
 - Correlação das concentrações de nutrientes determinadas pelos métodos convencionais com os resultados obtidos pelo método eletroquímico de sensoriamento em desenvolvimento.

Smart Biosensors

- Construção de curva analítica em amostras simuladas para definição das figuras de mérito (limite de detecção, limite de quantificação, sensibilidade e intervalo linear do método). Curva analítica realizada sobre o eletrodo modificado na etapa

anterior de forma otimizada para a detecção dos analitos em questão (nitrogênio e fósforo);

- Início de testes em amostras reais provenientes da recuperação realizada pelas metodologias propostas e comparação dos valores obtidos por técnica padrão;
- Início de testes de interferentes;
 - Potenciostato: construção de curva analítica e testes com amostras reais;
- Elaboração de relatório parcial de resultados.

➤ **Produto Macroentrega 3 – escopo Smart Materials e Smart Biosensors:**

- Relatório técnico descritivo contendo:
 - Smart Materials: descrição dos experimentos realizados para a otimização dos parâmetros experimentais envolvidos durante cada abordagem (biológicas, físico-químicas e eletroquímicas), considerando as metodologias com maior potencialidade para recuperação de nutrientes. A seleção dos melhores parâmetros experimentais será embasada principalmente a partir dos resultados de caracterização dos produtos à base de nutrientes e eficiência de recuperação.
 - Smart Biosensors: descrição dos resultados obtidos durante o desenvolvimento da metodologia eletroanalítica (construção de curva analítica em amostras simuladas para definição das figuras de mérito). Aplicação do sensor e metodologia de detecção em amostras reais e comparação com metodologias convencionais de determinação do teor de nitrogênio e fósforo. Investigação dos interferentes presentes na amostra real.

Macroentrega 4

Estudo da viabilidade técnica da combinação de duas ou mais metodologias para elaboração do sistema de recuperação de nutrientes; Resultado de testes em amostras reais e de interferentes.

Smart Materials

- Estudo da viabilidade da combinação de duas ou mais metodologias/técnicas para recuperação de nutrientes;
- Elaboração de um sistema final, utilizando a combinação de metodologias ou não, para recuperação de nutrientes;
 - Ajuste dos parâmetros experimentais para a adaptação das especificidades de cada processo.
- Caracterização dos produtos dos processos de recuperação:
 - FTIR;
 - EDS;
 - TGA;
 - FRX;
 - DRX.

Smart Biosensors

- Conclusão dos testes em amostras reais e de interferentes;
- Testes de eficiência do processo selecionado no presente projeto para recuperação de nutrientes;
 - Potenciostato: detecção dos analitos.
- Elaboração de relatório parcial de resultados.

➤ **Produto Macroentrega 4 – escopo Smart Materials e Smart Biosensors:**

- Relatórios técnico descritivo contendo:
 - Smart Materials: descrição dos estudos da viabilidade da combinação de duas ou mais metodologias/técnicas para recuperação de nutrientes e definição de processo final, utilizando a combinação de metodologias ou não. A seleção do processo final será embasada a partir dos resultados

de caracterização dos produtos à base de nutrientes e eficiência de recuperação.

- Smart Biosensors: descrição da metodologia final desenvolvida para a determinação de nutrientes em amostras reais e finalização do estudo de interferentes.

Macroentrega 5

Estudo de performance em ambiente simulado e de viabilidade econômica e teste; Conclusão dos testes em amostras reais e de interferentes; Testes finais de eficiência do processo de recuperação de nutrientes por meio da unidade sensora.

Smart Materials

- Performance em ambiente relevante de forma qualitativa e laboratorial: estimar a eficiência dos produtos produzidos a partir da metodologia de recuperação otimizada como fertilizante em ambientes simulados;
- Viabilidade econômica: estimar o desempenho econômico dos materiais e método desenvolvidos para recuperação de nutrientes;
- Ajustes e definição na rota de recuperação de nutrientes baseados nos estudos de performance e viabilidade técnica.
- Transferência das tecnologias de monitoramento e recuperação de nutrientes presentes em águas residuais em escala laboratorial.

Smart Biosensors

- Testes de eficiência do processo de recuperação de nutrientes;
 - Potenciostato: detecção dos analitos.
- Transferência de tecnologia do desenvolvimento dos sensores para monitoramento de processo de recuperação de nutrientes presentes em águas residuais em escala laboratorial.
- Elaboração de relatório final.

- **Produto Macroentrega 5 – escopo Smart Materials e Smart Biosensors:**
 - Relatório técnico descritivo contendo:
 - Smart Materials: descrição dos experimentos realizados para verificação dos produtos à base de nutrientes desenvolvidos em ambiente simulado, estudo da viabilidade técnica do sistema final desenvolvido e transferência de tecnologia.
 - Smart Biosensors: descrição dos experimentos realizados para verificação da metodologia de sensoriamento desenvolvida em ambiente simulado e transferência de tecnologia.

4 Cronograma

A seguir, as atividades do projeto estão distribuídas ao longo dos 28 meses de execução e divididas em cinco macroentregas. Os entregáveis (produtos) referentes a cada Macroentrega estão descritos acima, no item 3 – Atividades. Os responsáveis pelas entregas em cada marco do projeto são os pesquisadores da equipe técnica do ISI Eletroquímica.

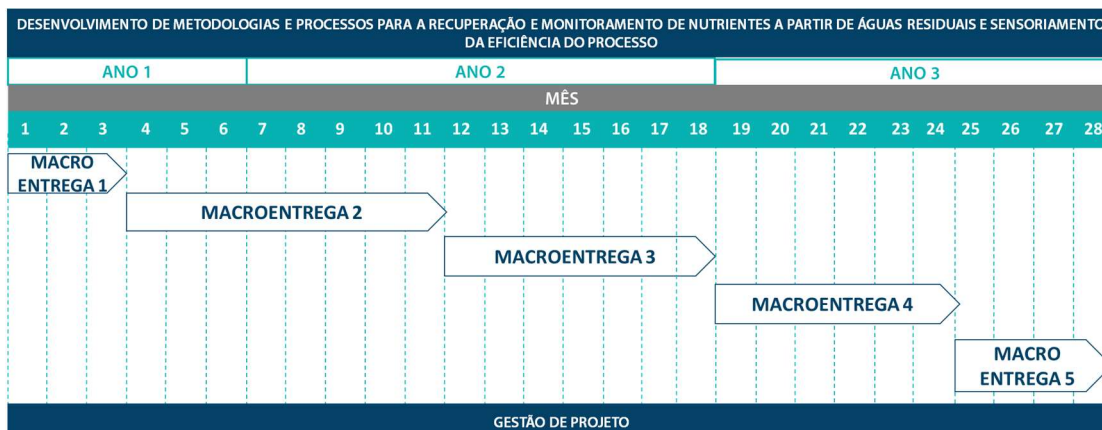
Macroentrega 1: 3 meses de duração - mês 1 ao mês 3

Macroentrega 2: 8 meses de duração - mês 4 ao mês 11

Macroentrega 3: 7 meses de duração - mês 12 ao mês 18

Macroentrega 4: 6 meses de duração - mês 19 ao mês 24

Macroentrega 5: 4 meses de duração - mês 25 ao mês 28



5 Plano de Transferência de Conhecimentos e Tecnologia Desenvolvida e Acompanhamento Periódico do Projeto

- *Report* do andamento técnico do projeto (apresentação do tipo PowerPoint) em reuniões mensais (ou quinzenais, dependendo da etapa do projeto que tiver volume maior ou menor de resultados) entre equipes técnicas brasileiras (ISI-EQ, SANEPAR e Master Robotics);
- *Report* do andamento técnico do projeto (apresentação do tipo PowerPoint) em reuniões mensais entre o lado brasileiro e o lado sueco (ISI-EQ, SANEPAR, Master Robotics, IVL e Enwa);
- *Report gerencial* do andamento do projeto em reuniões bimestrais entre ISI-EQ e SANEPAR, associadas às entregas de Prestações de Contas para a Sanepar;
- Apresentação dos resultados para a equipe estendida da SANEPAR no formato de seminários, ao fim da Macroentrega 3 e ao fim da Macroentrega 5.

6 TRL do projeto

O projeto apresenta TRL final 5, que consiste na validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante. Entende-se por componentes as respectivas metodologias e estratégias de recuperação dos nutrientes do efluente e a metodologia de sensoriamento desenvolvida; o ambiente relevante é configurado pela utilização de amostras reais de efluentes.

7 Riscos

A seguir estão detalhados os riscos atrelados a este projeto, bem como o plano de resposta a cada risco considerado.

Risco identificado	Exposição ao Risco	Impacto	Plano de Resposta ao Risco	Responsável*
Aquisição dos insumos dentro do prazo previsto no cronograma	Média	Médio	Mitigar: Envolvimento constante das partes no desenvolvimento do projeto. Monitoramento do andamento das etapas envolvidas	Líder do projeto
Não contratação de bolsista no prazo de 1 mês	Baixa	Alto	Mitigar: Realização de processo para seleção de perfis de pesquisadores para atuação no projeto. Caso exista uma extensão no prazo da contratação, ocasionaria um aumento de tempo para execução sem elevação no custo do projeto.	Líder do projeto
Problema na recuperação de	Média	Alto	Mitigar: Serão avaliadas diferentes estratégias para a	Líder do projeto/Gerente

nutrientes nas fontes de água residuais disponibilizadas a partir do processo desenvolvido			recuperação de nutrientes, sendo que a combinação de abordagens também será considerada. Etapas de pré-tratamento das amostras de águas residuais poderão ser utilizadas, caso seja necessário.	do projeto na empresa
Problema na detecção do analito na estratégia delineada	Média	Alto	Mitigar: Serão avaliadas diferentes técnicas eletroanalíticas e estratégias para a detecção do analito de interesse dentro da sensibilidade requerida	Líder do projeto

*Líder do projeto: no instituto
Gerente do projeto: na empresa

8 Não escopo

- Fornecimento de materiais ou equipamentos necessários para aplicação da tecnologia desenvolvida no projeto em campo (análises in loco ou fora de escala de laboratório), testes em cultivos vegetais dos nutrientes recuperados em relação a seu potencial de fertilização, serviços em campo ou visitas técnicas que demandem deslocamento de equipe (exceto o que for combinado no plano de trabalho ou se patrocinado pela empresa contratante);

- Certificação/homologação (perante órgãos competentes como MAPA, ANVISA etc.) de materiais, equipamentos, procedimentos ou qualquer outro tipo de produto/material;

- Indicação de fabricantes e fornecedores, salvo as exceções onde elas se aplicam e desde que acordado entre as partes;

- Escalonamento do processo de recuperação de nutrientes. Será realizada apenas o processo de recuperação de nutrientes desenvolvido em escala laboratorial para a prova de conceito e testes durante a execução do projeto. Todo e qualquer sistema de recuperação de nutrientes construído ao longo do projeto não poderá ser utilizado para fins comerciais, pois trata-se de protótipos em escala laboratorial;

- Produção de sensores em escala não laboratorial. Apenas serão produzidos os materiais para a prova de conceito e testes durante a execução do projeto. Todo e qualquer material produzido ao longo do projeto não poderá ser utilizado para fins comerciais, pois trata-se de protótipos e sensores em escala laboratorial.

9 Cronograma Financeiro

O investimento necessário para a execução do Projeto em **28 meses** é de **R\$ 2.400.000,00 (dois milhões e quatrocentos mil reais)**. Tal montante é composto por:

a) Recursos financeiros:

- EMBRAPPII aportará ao SENAI/DR/PR para aplicação no Projeto: **R\$ 660.000,00 (seiscentos e sessenta mil reais)**;

- SENAI/DR/PR aplicará no Projeto: **R\$ 165.000,00 (cento e sessenta e cinco mil reais)**;

- SANEPAR aportará ao SENAI/DR/PR para aplicação no Projeto: **R\$ 1.210.000,00 (um milhão, duzentos e dez mil reais)**. O aporte será feito mediante repasse único, na forma da Cláusula Quinta do Convênio.

b) Recursos econômicos:

- SENAI/DR/PR aplicará no Projeto: **R\$ 165.000,00 (cento e sessenta e cinco mil reais)**;

- MASTER ROBOTICS aplicará no Projeto: **R\$ 200.000,00 (duzentos mil reais)** a serem entregues ao SENAI/DR/PR na forma de produtos de grafeno e

seus derivados, com as otimizações e especificidades que forem sendo identificadas como necessárias durante a execução do Projeto, os quais serão empregados em diversos testes em algumas estratégias para a recuperação de nutrientes das águas.

9.1 Plano de Aplicações e Rubricas

Item	Valor (R\$)	Natureza da Contrapartida	Rubrica SIT - TCE-PR
Master Robotics			
Materiais (grafeno e derivados) para testes em algumas estratégias para a recuperação de nutrientes das águas	200.000,00	Econômica	3.3.90.30.0 - Material de consumo
Embrapii			
Hora Homem – Senai/DR/PR	660.000,00	Financeira	3.1.90.11.01 - Vencimentos e salários
ISI Eletroquímica			
Hora Homem – Senai/DR/PR	165.000,00	Financeira	3.1.90.11.01 - Vencimentos e salários
Hora Máquina – Senai/DR/PR	165.000,00	Econômica	3.3.90.36.18 - Manutenção e conservação de máquinas e equipamentos
Sanepar			
Hora Homem – Contratação de Bolsistas	546.000,00	Financeira	3.3.90.20.00 - Auxílio financeiro a pesquisadores
Material de consumo	274.000,00	Financeira	3.3.90.30.35 - Material laboratorial
Viagens – Diárias	150.000,00	Financeira	3.3.90.14.14 - Diárias no país
Viagens – Passagens	140.000,00	Financeira	3.3.90.33.01 - Passagens para o país
Serviços de terceiros	100.000,00	Financeira	3.3.90.39.51 - Serviços de análises e pesquisas científicas
Valor Total do Projeto	2.400.000,00		

Caso ocorra a necessidade de remanejamento de valores entre as rubricas durante a execução do convênio, esta deverá ser solicitada por escrito à Sanepar para análise e realização de Termo Aditivo de Convênio a qualquer tempo ou até 90 dias do término do convênio.

10 Instituições envolvidas

- ✓ Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar (Curitiba – PR)
- ✓ Master Robotics (São Marcos – RS)
- ✓ Senai PR:
 - Instituto SENAI de Inovação em Eletroquímica (Curitiba – PR)

11 Equipe técnica

O ISI Eletroquímica desenvolve projetos no tema transversal de revestimentos inteligentes dentro das áreas de *Smart Materials* e *Smart (Bio) Sensors* desde 2013 para vários segmentos industriais, tendo sido desenvolvidos de forma integral **13 projetos de inovação na área** totalmente aplicados às necessidades das empresas parceiras, além dos outros 11 projetos que se encontram em andamento nas áreas.

A equipe do ISI-EQ é multidisciplinar, formada por pesquisadores com extensa formação nas áreas de **química, ciências, microbiologia e engenharia de materiais**.

Abaixo estão os contatos e os links dos Currículos Lattes dos pesquisadores envolvidos, para maiores detalhes.

Paulo Roberto Dantas Marangoni

paulo.marangoni@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7433; (41) 98856-2933

<http://lattes.cnpq.br/5308291459171937>

Agne Roani de Carvalho Jorge

agne.carvalho@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7659; (41) 98823-7167

<http://lattes.cnpq.br/3323584335424117>

Marcos Antonio Coelho Berton

marcos.berton@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7868; (41) 99957-0581

<http://lattes.cnpq.br/6221087878705919>

Alana Cristine Pellanda

alana.pellanda@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7480

<http://lattes.cnpq.br/0968965963689769>

Camila Rizzardi Peverari

camila.peverari@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7433

<http://lattes.cnpq.br/7484809088151829>

Eduardo Pagano

Eduardo.pagano@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7881

<http://lattes.cnpq.br/2018791569371467>

Francielle Calegari

francyelle.calegari@sistemafiep.org.br

(41) 3271-7448

Instituto SENAI de Inovação em Eletroquímica
Av. Comendador Franco, 1341 – Jardim Botânico
CEP: 80215-090, Curitiba-PR
www.senaipr.org.br/instituto-de-inovacao

Equipe Técnica da Sanepar

Gustavo Rafael Collere Possetti

gustavorcp@sanepar.com.br

(41) 3330-7264

<http://lattes.cnpq.br/1494555066863202>

Bárbara Zanicotti Leite

barbarazl@sanepar.com.br

(41) 3330-7398

<http://lattes.cnpq.br/4433040559762051>

Fernanda Janaina Gomes da Costa

janainaogc@sanepar.com.br

(41) 3330-7501

<http://lattes.cnpq.br/5127093788941307>

Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR

Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças

CEP: 80215-900, Curitiba-PR

<https://site.sanepar.com.br/>

Equipe Técnica da Master Robotics

Gabriela Gobbi

gabriela.gobbi@boomatech.com.br

(54) 99973-0847



ePROTOCOLO



Documento: **4_B_PlanodeTrabalhoEmbrapii_SANEPAR_V3_30062022.pdf**.

Assinatura Qualificada realizada por: **Jose Carlos Pereira Marconi da Silva** em 30/08/2022 11:56.

Assinatura Simples realizada por: **Gustavo Rafael Collere Possetti** em 01/09/2022 10:34.

Inserido ao protocolo **19.188.308-0** por: **Priscila Alves dos Anjos** em: 08/07/2022 16:03.



Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021.

A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço:

<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento> com o código:

daaced112ed5a8537545a8677c615c9c

Este documento foi assinado digitalmente por Fabiane Franciscone. Este documento foi assinado eletronicamente por Eduardo Letti Borghetti, Paulo Roberto Dantas Marangoni e Agne Roani de Carvalho Jorge.

Para verificar as assinaturas vá ao site <https://sistemafiep.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código 0306-97A5-5AE9-AE27.

Este documento foi assinado digitalmente por Fabiane Franciscone. Este documento foi assinado eletronicamente por Eduardo Letti Borghetti, Paulo Roberto Dantas Marangoni e Agne Roani de Carvalho Jorge.
Para verificar as assinaturas vá ao site <https://sistemafiep.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código 0306-97A5-5AE9-AE27.

PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Sistema Fiep. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://sistemafiep.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/0306-97A5-5AE9-AE27> ou vá até o site <https://sistemafiep.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido.

Código para verificação: 0306-97A5-5AE9-AE27



Hash do Documento

39039694DC60FC190A68FA9BDABE6F0CF943F38D00D1E0A77B971B4375FE43FC

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 15/09/2022 é(são) :

- Eduardo Letti Borghetti (Diretor da Master Robotics) - 396.156.420-53 em 15/09/2022 09:57 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: eduardo.borghetti@masterpower.com.br

Evidências

Client Timestamp Thu Sep 15 2022 09:56:08 GMT-0300 (GMT-03:00)

Geolocation Location not shared by user.

IP 200.215.209.130

Hash Evidências:

475504146C18EA15EC8D430AE075E01E18C2A2CB5545D2689CEBBBE12CD75D4E

- Fabiane Franciscone (Diretora Regional do Senai/PR) - 448.142.400-15 em 15/09/2022 09:10 UTC-03:00
Nome no certificado: Fabiane Franciscone
Tipo: Certificado Digital
- Paulo Roberto Dantas Marangoni (Gerente Negócios ISI/IST) - 044.216.769-50 em 14/09/2022 21:37 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: paulo.marangoni@sistemafiep.org.br

Evidências

Client Timestamp Wed Sep 14 2022 21:37:47 GMT-0300 (Brasilia Standard Time)

Geolocation Latitude: -26.3100219 Longitude: -48.8530123 Accuracy: 11.706999778747559

IP 177.58.255.68

Hash Evidências:

0C2530F856E72E7408BC6504E3A02891BB736CC50A9123643988CDF307727A0A

- Agne Roani De Carvalho Jorge (Testemunha) - 004.501.589-93 em 14/09/2022 10:31 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: agne.carvalho@sistemafiep.org.br

Evidências

Client Timestamp Wed Sep 14 2022 10:31:29 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -23.62277 Longitude: -46.5495165 Accuracy: 600

IP 200.173.162.254

Hash Evidências:

FE0C0E47D2EF41E586F3A1055801D96DFFA7DF1DA9B57D95E7F683C5BE79638A

