



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GIA/30

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

GESTÃO DE ÁGUA EM COMPLEXO DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

Alika Solange Ferraro Pires*
INSTITUTOS LACTEC

Juliane de Melo Rodrigues
INSTITUTOS LACTEC

Gheysa do Rocio Morais Pires
INSTITUTOS LACTEC

Flávio Chiesa
UEGA

Letícia Gonçalves
INSTITUTOS LACTEC

RESUMO

Considerando o elevado consumo de água decorrente dos padrões de consumo atuais, o reúso de água vem sendo estudado e estimulado como uma alternativa promissora. Este trabalho apresenta os resultados parciais de projeto de P&D para investigação das fontes alternativas de água para reúso em termelétrica a gás na região metropolitana de Curitiba (PR). Ensaio com água de ETA Industrial, em escala laboratorial para nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI), foram realizados. Os resultados apontam que a nanofiltração atenderia aos parâmetros físico-químicos adequados aos processos industriais da termelétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Reuso de água, Gestão sustentável, Gestão de recursos hídricos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Desde os anos de 1980, a captação de água doce tem aumentado mundialmente cerca de 1% ao ano devido principalmente à crescente demanda dos países em desenvolvimento (ONU, 2016). Esse aumento tem impactado a disponibilidade desse recurso principalmente em áreas densamente urbanizadas, onde se tem observado um stress hídrico decorrente dos usos múltiplos da água. O Brasil possui aproximadamente 13% de toda a reserva de água doce do planeta (ANA, 2013), porém essa distribuição é irregular havendo regiões com abundância e outras com escassez de água em nosso território. Ainda, a disponibilidade de água é altamente dependente da sua qualidade, uma vez que a água de baixa qualidade pode não ser adequada para vários usos e os custos envolvidos para seu tratamento podem se constituir em um fator proibitivo.

No Paraná, a demanda hídrica da Bacia Hidrográfica do Iguaçu é de aproximadamente 16.000 L/s, sendo que 81% desta vazão provém de mananciais superficiais e 19% de mananciais subterrâneos. Conforme o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES (2013) o Paraná se apresenta ainda em situação confortável em relação ao balanço hídrico, sendo que a relação entre a disponibilidade e a demanda hídrica superficial mostra que apenas 2,6% da água superficial do Estado é utilizada. A bacia que concentra o maior número de usuários e demanda a maior quantidade hídrica total é a bacia do Alto Iguaçu, com cerca de 23% do volume total demandado no Estado, sendo que 90% da água demandada na bacia do Iguaçu é de manancial superficial. No entanto, esta bacia apresenta elevados níveis de poluição, recebendo esgotos não tratados e efluentes industriais clandestinos.

Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017) mostram que o Brasil possui 2.946 empreendimentos do setor termelétrico em operação, totalizando 42.792.950 kW de potência outorgada. Na matriz energética do país as termelétricas são responsáveis por 28% do total da capacidade de geração de energia elétrica. Conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (MME/EPE, 2015), para atender de forma adequada ao crescimento da carga de energia prevista no horizonte deste plano, a expansão do parque gerador termelétrico agregará cerca de 10.500 MW até 2024. Esse aumento do parque gerador está previsto em termos de

segurança energética e ocasionará um aumento do requerimento hídrico nas bacias hidrográficas nas quais serão instalados, principalmente ao levar em consideração que essas unidades normalmente estão localizadas próximas aos centros urbanos, já submetidos a um stress hídrico qualiquantitativo.

As usinas termelétricas são responsáveis por aproximadamente 80% da produção mundial de eletricidade e constituem-se em grandes usuárias de água. Seus sistemas de resfriamento consomem cerca de 43% do total de água doce na Europa e 50% nos Estados Unidos, que são utilizados nas unidades de processo, sistemas de geração de vapor, torres de resfriamento, sistemas de combate a incêndio e para fins potáveis (UNESCO, 2014). No sistema de resfriamento, a água de reposição (make-up) tem a função principal de repor as perdas naturais ocorridas por evaporação. Nesse contexto, a utilização de tecnologias para reúso de água surge como uma alternativa e uma oportunidade para o setor industrial, no sentido de diversificar as possíveis fontes de água para seus processos, reduzir a carga poluente lançada aos corpos receptores e contribuir para uma boa governança ambiental.

2.0 - DESCRIÇÃO DO ESTUDO

2.1 Apresentação do projeto

O projeto intitulado “Gestão de Água em Complexo de Geração Termelétrica” está sendo desenvolvido pelos Institutos Lactec e pela Usina Elétrica a Gás de Araucária (UEGA) desde o mês de outubro de 2015 e terá duração de quatro anos, ao longo dos quais serão testadas as rotas tecnológicas necessárias para permitir a prática do reúso de água na usina. A Figura 1 apresenta o cronograma proposto para as etapas a serem desenvolvidas durante o projeto.



FIGURA 1: Cronograma proposto para o desenvolvimento do projeto.

2.2 A Usina termoeétrica

A UEGA destina-se à geração de energia elétrica utilizando como combustível o gás natural, com capacidade nominal de 480MW em ciclo combinado, contando com duas turbinas a gás, dois sistemas de recuperação de calor e uma turbina a vapor. Está localizada no município de Araucária, na região metropolitana de Curitiba, conforme Figura 2.

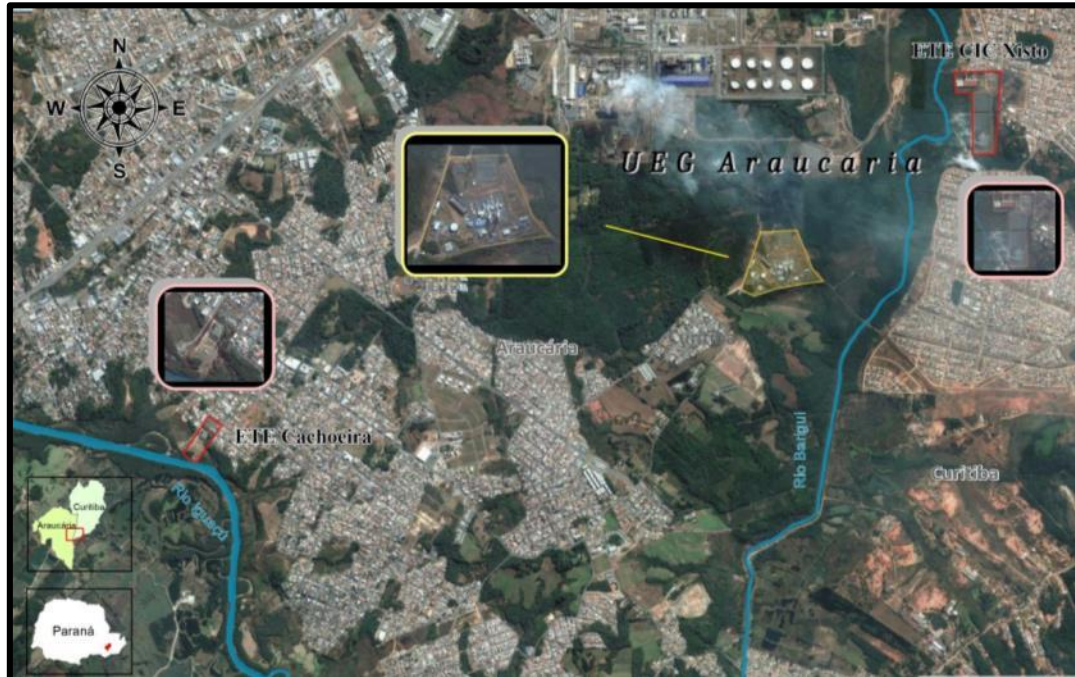


FIGURA 2: Localização da UEGA em relação à ETA Industrial e ETE's.

O abastecimento da água para a Usina é realizado através de fornecimento direto pela Estação de Tratamento de Água Industrial pertencente à concessionária estadual, que é responsável pelo abastecimento de indústrias localizadas na região. A água da ETA industrial é utilizada no processo de geração de energia termelétrica e após tratamento é lançada no rio Barigüi com características reconhecidamente melhores do que as apresentadas pelo corpo receptor. A disposição do efluente final da Usina no rio Barigüi obedece aos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 430/2011 e atende às condicionantes do licenciamento ambiental junto ao Instituto Ambiental do Paraná.

3.0 - OBJETIVOS

O projeto de pesquisa tem como objetivo principal estabelecer a gestão da oferta e da demanda de água para uso industrial por meio do estudo das seguintes possibilidades, em escala laboratorial e escala piloto:

- Melhoria da qualidade da água de estação de tratamento de água industrial (ETA Industrial);
- Obtenção de água de reúso a partir do esgoto tratado de estação de tratamento de efluente (ETE);
- Obtenção de água de reúso a partir do esgoto bruto;
- Reúso de águas pluviais incidentes na área da usina;
- Reúso do efluente industrial.

4.0 - METODOLOGIA

Durante o período do projeto serão realizados ensaios de tratabilidade em escala de laboratório e em escala piloto para as opções de correntes aquosas visando a definição da melhor rota tecnológica, sempre verificando o atendimento aos requisitos internos da usina. As correntes selecionadas para o estudo foram:

- Água industrial após tratamento por ETA Industrial;
- Esgoto doméstico bruto;
- Esgoto doméstico tratado por processo biológico convencional;
- Efluente industrial;
- Águas pluviais.

Serão testadas as rotas tecnológicas listadas na Tabela 1 e na Tabela 2. Também será realizado o estudo de viabilidade ambiental, técnico e econômico do projeto, a partir do terceiro ano. A rota tecnológica que apresentar melhor desempenho técnico, econômico e ambiental será detalhada em projeto executivo.

A etapa laboratorial do projeto vem sendo desenvolvida no Laboratório de Processos de Separação com Membranas – PAM, do Programa de Engenharia Química da COPPE/UFRJ, utilizando as amostras encaminhadas pelos Institutos LACTEC. Nesta etapa, serão realizados os ensaios de laboratório constantes na Tabela 1.

TABELA 1 – Tecnologias testadas na etapa laboratorial

| | ETA Industrial | Esgoto Bruto | Esgoto Tratado | Efluente Industrial | Água Pluvial |
|---------------------------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|--------------|
| Microfiltração | X | | | X | |
| Ultrafiltração | X | | X | X | X |
| Nanofiltração | X | X | X | X | |
| Osmose Inversa | X | X | X | X | |
| Troca Iônica | X | X | X | X | |
| Biorreator de Membrana Submersa | | X | X | X | |
| Reator de Ultravioleta | | | | X | X |
| Ozonização | | | | X | X |

A determinação do Índice de Densidade de Sedimentos (SDI) foi realizada conforme norma ASTM: D 4189 – 2002. Este índice indica o potencial de provocar incrustações na superfície da membrana. Em geral, pode-se considerar que a alimentação ocorre de maneira satisfatória quando o SDI possui valores abaixo de 5,0 (OLIVEIRA, 2007).

Para a realização dos ensaios laboratoriais de Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI) foram utilizadas as membranas NF-90 e BW-30, respectivamente, ambas da DOW Filmtec. Para a verificação da integridade das membranas antes do início dos ensaios, foram seguidas as recomendações do fabricante. Um volume de 4 litros de permeado da microfiltração (MF) submersa foi concentrado quatro vezes, através de coleta de permeados da NF e da OI, separadamente. As correntes de Concentrado NF/OI, Permeado NF e Permeado OI foram caracterizadas a cada meia hora em relação à condutividade iônica, rejeição e permeabilidade hidráulica. Foram realizadas análises de caracterização das correntes de acordo com parâmetros de interesse dos processos.

O fluxograma e o sistema de Nanofiltração e Osmose Inversa seguem ilustrados na Figura 3 e Figura 4, respectivamente.

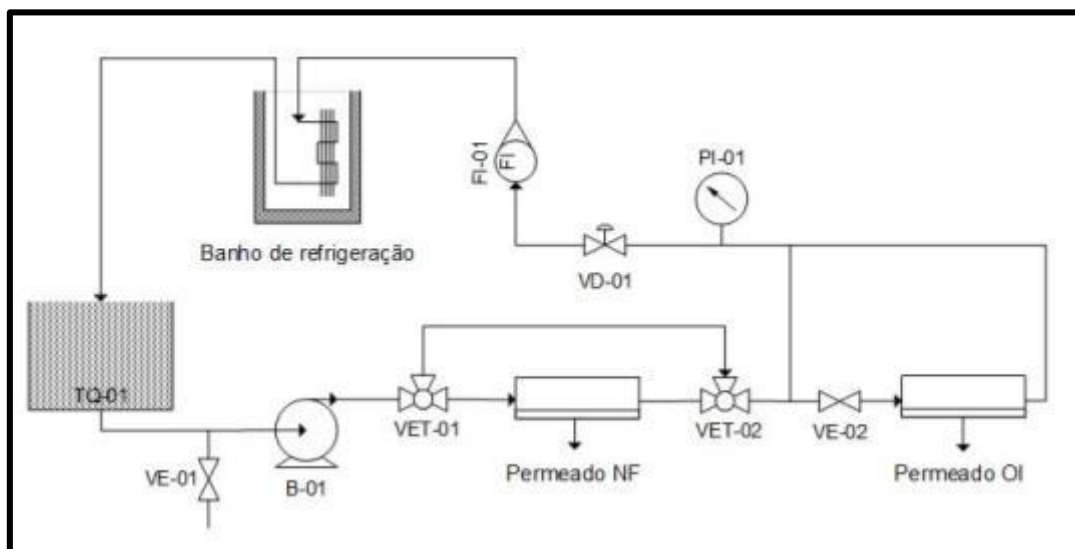


FIGURA 3 – Fluxograma de Unidade de Bancada de NF e OI



FIGURA 4 – Foto de Unidade de Bancada de NF e OI

A etapa piloto do projeto será desenvolvida em uma planta piloto pertencente à empresa WEHRLE UMWELT GmbH. Nesta etapa, serão analisadas três das correntes anteriormente citadas, não sendo testadas as amostras provenientes de águas pluviais e de esgoto bruto, por razões logísticas. Os testes a serem executados nesta etapa estão relacionados na Tabela 2.

TABELA 2 – Tecnologias testadas na etapa piloto

| | ETA Industrial | Esgoto Tratado | Efluente Industrial |
|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------|
| Biorreator de Membrana Submersa | | X | |
| Osmose Inversa | X | X | X |

5.0 - RESULTADOS PARCIAIS

Os resultados apresentados nesse trabalho referem-se à etapa laboratorial realizada para a água industrial utilizada na Usina, proveniente da ETA Industrial. Foram investigados os processos de separação com membranas (PSM), considerados como principais alternativas para tratamento, que possibilitam a redução conjunta de custos operacionais, do tamanho de equipamentos e da geração de resíduos. No dia 16/05/2016 foram encaminhados 30 litros da amostra de água industrial, coletada na saída da água tratada pela concessionária. A Figura 5 apresenta a amostra submetida aos ensaios



FIGURA 5 - Água ETA

Inicialmente foi realizada a caracterização físico-química da amostra, cujos resultados são apresentados na Tabela 3 com o objetivo de determinar as condições para operação dos processos de tratamento selecionados. Nesta tabela estão apresentados os resultados quantitativos e suas respectivas incertezas de medição.

TABELA 3 – Caracterização de Água Após ETA

| Análise | Unidade | Água Após ETA |
|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Turbidez | NTU | 1,07 +/- 6,84% |
| pH | - | 7,55 +/- 0,17% |
| Condutividade iônica | $\mu\text{S.cm}^{-1}$ | 384,41 +/- 0,6% |
| Cor aparente | μH | 10,91 +/- 0,96% |
| Cor verdadeira | μH | 8,88 +/- 1,19% |
| DQO | mg.L^{-1} | 19,13 +/- 1,31% |
| TOC | mg.L^{-1} | 2,43 (após MF) +/- 0,03% |
| TIC | mg.L^{-1} | 13,37 (após MF) +/- 0,81% |
| Dureza | mg.L^{-1} | 72,5 +/- 0% |
| Alcalinidade | mg.L^{-1} | 65,0 +/- 0 % |
| Sólidos totais | mg.L^{-1} | 272,7 +/- 12,86 % |
| Sólidos suspensos | mg.L^{-1} | 0,0 +/- 0% |
| Sólidos dissolvidos | mg.L^{-1} | 272,7 +/- 25,28% |
| SDI ₅ | - | 2,30 +/- 18,2% |
| MFI | s.L^{-2} | 27,53 +/- ** |
| Cálcio | mg.L^{-1} | 8,90 +/- 0,96% |
| Magnésio | mg.L^{-1} | 5,61 +/- 0,21% |
| Sódio | mg.L^{-1} | 28,65 +/- 0,59% |
| Potássio | mg.L^{-1} | 5,35 +/- 0,19% |
| Ferro | mg.L^{-1} | < 0,5 +/- * |
| Manganês | mg.L^{-1} | < 0,25 +/- * |
| Sulfato | mg.L^{-1} | 46,11 +/- * |
| Sílica | mg.L^{-1} | 6,6 +/- 0,11% |
| Cloreto | mg.L^{-1} | 51,5 |
| Nitrogênio amoniacal | mg.L^{-1} | 7,1 +/- 2,89% |

Considerando que a amostra estudada apresentou baixo teor de sólidos suspensos e de matéria orgânica, utilizou-se o processo de microfiltração (MF) para remoção de material coloidal e sólidos suspensos finos. Para a amostra analisada foi obtido o valor de 2,3 para o SDI, o que indica que o pré-tratamento para o processo de dessalinização pode ser simplificado para uma filtração convencional. A Figura 6 apresenta o módulo de bancada para a determinação do SDI.



FIGURA 6 – Sistema de SDI/MFI

Os resultados obtidos para os testes de microfiltração (MF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI) são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 – Resultados das Correntes de Processos com Membranas (- não realizado/ não se aplica)

| Análise | Unidade | Água Após ETA | Permeado MF | Permeado NF | Permeado OI | Concentrado OI/NF |
|----------------------|----------------------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Turbidez | NTU | 1,07 | 0,31 | < 0,02 | < 0,02 | 1,33 |
| pH | - | 7,55 | 7,80 | 6,56 | 6,36 | 8,09 |
| Condutividade iônica | $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ | 384,41 | 388,11 | 22,81 | 18,88 | 1330,5 |
| Cor aparente | μH | 10,91 | 7,37 | - | - | - |
| Cor verdadeira | μH | 8,88 | 5,41 | 0,0 | 0,15 | 16,75 |
| DQO | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 19,13 | 15,06 | 1,27 | 3,41 | 24,91 |
| TOC | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 2,43 (após MF) | 2,43 | 0,0 | 0,0 | 6,28 |
| TIC | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 13,37 (após MF) | 13,37 | 0,0 | 0,0 | 35,88 |
| Dureza | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 72,5 | 70,0 | 0,0 | 0,0 | 170,0 |
| Alcalinidade | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 65,0 | 77,5 | 2,0 | 0,0 | 165,0 |
| Sólidos Totais | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 272,7 | 181,8 | - | - | - |
| Sólidos Suspensos | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Sólidos Dissolvidos | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 272,7 | 181,8 | - | - | - |
| SDI ₅ | - | 2,30 | - | - | - | - |
| MFI | - | 27,53 | - | - | - | - |
| Cálcio | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 8,90 | 9,48 | 0,31 | 0,25 | 32,21 |
| Magnésio | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 5,61 | 5,34 | 0,02 | 0,002 | 15,09 |
| Sódio | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 28,65 | 27,33 | 2,78 | 2,20 | 147,76 |
| Potássio | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 5,35 | 4,59 | 0,05 | 0,07 | 16,57 |
| Ferro | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 |
| Manganês | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | < 0,25 | < 0,25 | < 0,25 | < 0,25 | < 0,25 |
| Sulfato | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 46,11 | 52,22 | 0 | 0 | 113,06 |
| Sílica | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 6,6 | 6,6 | 0,15 | 0,1 | - |
| Cloreto | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 51,5 | - | 0,002 | 5,5 | 313,1 |
| Nitrogênio amoniacal | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 7,1 | - | 1,7 | 1,0 | - |
| Alumínio | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 |
| Bário | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | < 2,5 | < 2,5 | < 2,5 | < 2,5 | < 2,5 |
| Cloreto | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | 51,5 | - | < 0,1 | 5,5 | 313,1 |

Os resultados obtidos nessa primeira etapa do projeto mostram uma expressiva redução dos valores para os parâmetros condutividade iônica, demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (TOC), dureza, alcalinidade e sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos, o que, em princípio, atenderia aos requisitos da água de processo da usina. Devido à baixa concentração de sólidos dissolvidos na água de origem não foi observada diferença significativa entre os processos de Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI). Ambos permitiram um grau de recuperação de água de 72% mantendo a condutividade do permeado inferior a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e permeabilidade hidráulica constante (sem presença de incrustações). Além disso, ambos apresentaram eficiências médias de remoção da ordem de 99,95% para os parâmetros analisados.

6.0 - CONCLUSÃO

Com base nos resultados laboratoriais apresentados para a água industrial há fortes indícios que a NF seria suficiente para fornecer água com parâmetros físico-químicos que atenderiam aos requisitos internos da usina, notadamente para uso como água de reposição da torre de resfriamento. Esse resultado deve ser corroborado nos ensaios em escala piloto. A melhoria da qualidade da água industrial permitirá um aumento do número de ciclos de concentração na torre de resfriamento, o que impactará na diminuição do volume de água de reposição, resultando no uso mais racional dos recursos hídricos e permitindo a implementação de uma gestão cada vez mais sustentável do mesmo no estado do Paraná. Espera-se que as ações combinadas resultantes desse projeto de pesquisa tragam implicações práticas diretas ao setor termelétrico, com a diminuição dos custos referentes a esse importante insumo e um menor impacto ambiental na bacia hidrográfica.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013. Brasil. 2013.
- (2) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of water. ASTM D 4189 – 95. Estados Unidos. 2002.
- (3) CARTAXO, J.M; FERREIRA, W.B; SILVA, S.K; PEREIRA, M.L.F; SILVA, J.N; MONTEIRO, G.S; FRANÇA, K.B. Avaliação de Técnicas de Pré-Tratamentos de Águas Salobras Para Fins de Dessalinização Via Osmose Inversa. Brasil. 2006.
- (4) INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). Indicadores de Desenvolvimento Sustentável Por Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná. Brasil. 2013.
- (5) MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Brasil. 2015.
- (6) MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Cenário Econômico 2050. Brasil, 2015.
- (7) OLIVEIRA, D.R. Pré-Tratamento do Processo de Osmose Inversa Utilizando Microfiltração e Investigação de Técnicas de Limpeza e Recuperação de Membranas. Brasil. 2007.
- (8) ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), World Water Assessment Programme. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2015 – Água Para um Futuro Sustentável. Itália. 2016.
- (9) ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), World Water Assessment Programme. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016 - Água e Emprego - Itália. 2016.
- (10) ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). The United Nations World Water Development Report 2015. França. 2015.
- (11) PEIG, D.B. Modelo Para Otimização do Projeto de Sistemas de Ultrafiltração. Brasil. 2011.
- (12) SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SEMA), Instituto das Águas do Paraná. Bacias Hidrográficas do Paraná: Série histórica. Brasil. 2015.
- (13) SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SEMA), Instituto das Águas do Paraná. Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Autor de Contato: Alike Solange Ferraro Pires
 Local e ano de nascimento: Curitiba, 1964.
 Graduação: Engenharia Química - Universidade Federal do Paraná (1982 – 1986)
 Pós-graduação: Engenharia de Segurança do Trabalho (UTFPR, 1992);
 Economia e Meio Ambiente (UFPR, 2015); Mestrado em Meio Ambiente e
 Desenvolvimento (Institutos Lactec, em andamento).
 Experiência profissional: Atua na área ambiental em estudos de
 impacto ambiental, auditoria ambiental, projetos de pesquisa e
 desenvolvimento para tratamento e destinação de resíduos sólidos
 e reuso de água. Tem interesse adicional nos temas governança
 ambiental, contabilidade e economia circular.