


AVALIAÇÃO DA ÁGUA DE REUSO DA ESTAÇÃO PINHEIROS DE METRÔ DA CIDADE DE SÃO PAULO (BRASIL) QUANTO A PRESENÇA DE METAIS PELA TÉCNICA DE FLUORESCENCIA DE RAIOS X COM RADIAÇÃO SÍNCROTRON

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.031-029>

Ariston da Silva Melo Júnior

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Departamento de Saneamento Básico, Campinas, SP, Brasil.

E-mail: ariston.melo@fmu.br

Moisés Alves Cordeiro

Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU, São Paulo, SP, Brasil.

Igor de Souza Silva

Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU, São Paulo, SP, Brasil.

Samuel José Salicio

Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU, São Paulo, SP, Brasil.

Richard Kauê da Silva Dias

Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU, São Paulo, SP, Brasil.

Juciel de Paulo Felix de Moura

Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: juniorariston@gmail.com

RESUMO

A garantia da conservação das reservas hídricas é um desafio para toda a humanidade, o que faz com que seja fundamental o estudo de forma contínua de novas formas de tratamento e de uso das fontes d'água no planeta. Um dos focos da conservação e sustentabilidade hídrica está no reuso de fontes de água de modo a garantir a continuidade das reservas principais de água potável para atividades de sedentação e produção de alimento. A presente pesquisa teve como intuito pesquisar a qualidade da água utilizada para reuso na estação de metrô Pinheiros na cidade de São Paulo (Brasil) de modo a avaliar o grau quanto à presença de metais pesados e demais elementos químicos pela técnica de fluorescência de raios X por radiação sincrotron do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). O levantamento de dados para uma amostra coletada no verão e analisada revelaram um pH de 6,8 e a presença de 19 elementos químicos pela técnica com concentrações na ordem de ng.mL^{-1} , com destaque para a presença de chumbo (Pb).

Palavras-chave: Água. Reuso. Sustentabilidade. Economia Hídrica.



1 INTRODUÇÃO

O recurso hídrico é um importante constituinte para a existência de vida. À sobrevivência de todos os seres vivos e o seu fornecimento em quantidade e qualidade é vital para a manutenção da humanidade.

O reflexo da importância das fontes de água potável pode ser notado pela presença e desenvolvimento de civilizações milenares como egípcia, babilônica e greco-romana. Uma vez que tais povos só prosperaram e se desenvolveram graças a reservas de água potável próximas em seus territórios.

Segundo Shiklomanov (1997) em termos quantitativos, o volume total de água existente na Terra é constante e apenas 2,5% deste são constituídos por água doce. Contudo, da parcela de 2,5% de água doce, somente 0,3% constitui a porção superficial de água presente em rios e lagos, as quais estão passíveis de exploração e uso pelo humano.

Shiklomanov (1997) expôs que ao se analisar em termos qualitativos, a água é uma molécula composta de hidrogênio e oxigênio capaz de transportar substâncias e moléculas bióticas e abióticas da superfície terrestre até os rios, lagos, oceanos e aquíferos, tornando-os um ponto de concentração dos materiais carreados, tal característica dá à água o título de solvente universal.

O crescimento vertiginoso da população humana e o grande recrudescimento do setor industrial e tecnológico acarretou uma demanda cada vez mais acelerada e maciça por fontes de água limpa para abastecimento público e como matéria prima para o setor primário e secundário.

Pelo fato das reservas superficiais serem constantes e o grande impacto ambiental gerado pelo mau uso das fontes hídricas, o que ocasiona em grandes desastres ambientais com a poluição desenfreada dos corpos d'água, torna importante o estudo de tecnologias e metodologias que visem preservar as fontes potáveis e consequentemente preservar a vida no planeta.

Segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) indicam que, se a tendência de consumo e poluição persistir, em 2050 mais de 45% da população mundial estará vivendo em países que não poderão garantir a cota diária mínima de 50 litros de água por pessoa (MELO JÚNIOR *et al.*, 2019).

2 OBJETIVO

A proposta da pesquisa foi avaliar a relação de metais pesados e demais elementos químicos presentes na água de reuso, oriunda da fonte pluvial, captada e armazenada em poço para utilização de atividades gerais na estação do metrô de Pinheiros na cidade de São Paulo, Brasil. Lembrando que o uso empregado no local é variado com exceção para a potabilidade.

Para tal estudo se utilizou a tecnologia de alto padrão por radiação sincrotron graças ao apoio do Laboratório Nacional de Luz Sincrotron (LNLS).



3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Segundo Lima (1999) em função da dimensão territorial do Brasil, o mesmo apresenta grandes variações relacionadas ao clima, geologia, relevo, vegetação e também de recursos hídricos, desenvolvimento econômico e social e de distribuição da população.

Com base na distribuição das águas superficiais, o território brasileiro comporta 13,7% da água doce do globo terrestre. Ressaltando que as reservas superficiais de água doce no planeta são apenas 0,3% (MARTINS, 2003).

A maior parte das reservas brasileiras de água doce superficial encontram-se 73% (dos 13,7% em reserva global) na região norte na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população brasileira (LIMA, 1999).

Por outro lado, apenas 27% dos recursos hídricos superficiais brasileiros estão disponíveis para as demais regiões, onde residem 95% da população do país (LIMA, 1999).

À má distribuição hídrica, ocasiona problemas a possíveis crises de abastecimento nos centros de maior demanda, tendo que os problemas são maiores em bacias hidrográficas onde as retiradas de água superam a disponibilidade hídrica, o que obriga a busca de fontes alternativas de água pela população. Neste contexto, as bacias próximas a grandes centros urbanos são as mais prejudicadas, além de ter a agravante do comprometimento da qualidade das águas devido à urbanização descontrolada, que ocasiona o aumento nos custos de tratamento e restringe os usos da água (ANA, 2005).

Já no meio rural, as principais interferências aos recursos hídricos se dá pela destruição das áreas de vegetação permanentes, pela utilização indiscriminada de agrotóxicos e de fertilizantes e pela má destinação dos dejetos animais e humanos. Todos esses contaminantes são carregados pela água com as partículas de solo ou são depositados diretamente nos mananciais hídricos superficiais (GONÇALVES, 2003).

Segundo Gonçalves (2003) um dos grandes limitadores de produtividade das culturas é a oferta de água. Assim, o uso de tecnologias voltadas à irrigação das culturas aumenta cada vez mais e com ela vem um maior consumo de água, um aumento no número de barragens, de reservatórios, de exploração de rios e até mesmo de água subterrânea. Além disso, na agricultura o desperdício de água é muito grande, principalmente na irrigação de culturas, quando se utiliza sistemas por sulcos ou por inundação. Desta forma, em termos quantitativos, a agricultura se torna a grande usuária dos recursos hídricos.

Conforme Shiklomanov (1997) em média, o setor agrícola utiliza 70% do total da água doce consumida, seguido pelo industrial (20%) e pela água destinada ao abastecimento (10%).

Concomitantemente, a aquisição de insumos como fertilizantes e agrotóxicos tem aumentado significativamente, os quais são considerados produtos imprescindíveis para se obter tetos de produtividade elevados. Contudo, a utilização massiva destes insumos pode trazer sérias consequências para o meio ambiente e ao próprio homem, podendo causar a contaminação tanto dos recursos terrestres quanto aquáticos (LIMA, 1999).

Assim, segundo Von Sperling (2000) a agricultura vem se tornando grande fonte de poluição difusa das águas superficiais, devido à utilização do solo sem respeitar sua capacidade de suporte e simplificação da produção, via adoção de pacotes tecnológicos.

3.2 OS AVANÇOS NA LEGISLAÇÃO PARA O MEIO AMBIENTE

No Brasil, em 1930, o Chefe do Governo Provisório da República dos Estados Unidos do Brasil, usando das atribuições que lhe confere o 1º do decreto nº 19.398, de 11/11/1930, e, em 10 de julho de 1943, através do Decreto nº 24.643 estabelece o Código de Águas. Dentre as formulações da legislação, encontra-se o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, apresentando 16 princípios, dentre os quais se destaca o princípio 16, descrito a seguir: Princípio 16 - A educação ambiental deve ajudar a desenvolver uma consciência ética sobre todas as formas de vida com as quais compartilhamos este planeta, respeitar seus ciclos vitais e impor limites à exploração dessas formas de vida pelos seres humanos. Ao assinar este Tratado, as organizações propuseram-se a programar vinte e duas diretrizes essenciais, e concordaram, entre outras coisas, a difundir e promover em todos os países o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e responsabilidade Global através de campanhas individuais e coletivas, promovidas por Ongs, movimentos sociais e outros (MARTINS, 2003).

No Brasil, a Lei nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, completa 22 anos em 2019 e trouxe avanços no campo do gerenciamento dos recursos hídricos nacionais, como por exemplo, a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), aprovado em 2006 (MARTINS, 2003).

3.3 REUSO DA ÁGUA

Conforme relatado pela Cetesb (2023) a reutilização ou o reuso de água ou o uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. No entanto, a demanda crescente por água tem feito do reuso planejado da água um tema atual e de grande importância.

Neste sentido, deve-se considerar o reuso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água (CETESB, 2023).



Dentro dessa ótica, os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, entre outros.

3.3.1 Tipos de Reuso

Segundo a própria CETESB (2023) a reutilização de água pode ser direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não pelo setor responsável. Sendo importante a diferenciação de cada tipo de água de reuso.

3.3.1.1 Reuso indireto não planejado da água

Tal processo ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).

3.3.1.2 Reuso indireto planejado da água

Esse tipo de reuso ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para ser utilizada a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reuso objetivado (CETESB, 2023).

3.3.1.3 Reuso direto planejado da água

Nesse tipo de reuso seu processo de uso ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação (CETESB, 2023).

3.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Kneip e Laurer (1972) descrevem as vantagens da fluorescência de raios X por dispersão em energia em relação à dispersão por comprimento de onda. Inicialmente, a análise quantitativa com a XRF necessitava de muitos padrões, para construção de curvas de calibração do sistema ou para cálculos dos chamados coeficientes alfa.



Os coeficientes alfa são fatores de correções constantes e são necessários pelo menos $n-1$ padrões; onde n é o número de elementos presentes na amostra (KNEIP e LAURER, 1972)

Este método é baseado em correções que são realizadas, devido às interferências produzidas por um elemento i_1 na intensidade da radiação fluorescente de um elemento i_2 presente na amostra.

Outro método, utilizando os princípios físicos de produção de fluorescência de raios X, foi desenvolvido por Criss e Birks (1968). Ele é conhecido como Método dos Parâmetros Fundamentais, esse método baseia-se na solução analítica de equações teóricas que descrevem a dependência da intensidade da radiação fluorescente em termos dos parâmetros físicos fundamentais e de parâmetros instrumentais. O método é simples e não requer uma grande quantidade de padrões, tornando-se atualmente, num dos métodos mais utilizados e difundidos em termos de XRF.

3.4.1 Fluorescência de radiação síncrotron por reflexão total (TXRF)

Yap *et al.* (1989), usaram a fluorescência de raios X por reflexão total para a análise de amostras finas de areia mineral.

O método fluorescência de raios X por reflexão total foi testado com amostras certificadas de rochas (JB-3J). Avaliaram que o método possui algumas vantagens, sendo: multi-elementar; com preparação de amostras simplificada; contribuição da radiação espalhada baixa e necessidade de pequenas quantidades de amostras digeridas, cerca de 2 ml, para a análise.

Chen *et al.* (1990), mostraram que as fontes de radiação síncrotron possuem importantes características para análise de materiais, principalmente, pela capacidade de determinação da composição elementar e da estrutura molecular. Relataram que para a análise microscópica (micro caracterização de materiais), as fontes de radiação síncrotron oferecem uma resolução espacial de 10 μm com um limite de detecção entre 10 e 100 ppb.

Salvador (2003) utilizou um sistema de fluorescência de raios X por reflexão total (TXRF) para analisar amostras de óleos mineral e vegetal, usando diferentes técnicas de preparo das amostras. A preparação direta de soluções diluída de óleo mostrou bons resultados para as concentrações de elementos em níveis de traços superiores a 1 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

Liendo *et al.* (1999), descreveram um estudo comparativo entre PIXE e a TXRF para as análises de Cl, K, Ca, Fe, Cu, Zn e Br em fluido amniótico humano. Constataram uma concordância nas medidas realizadas com as duas técnicas para os seguintes elementos: K (100%), Cl (60%), Fe (80%), Cu (50%) e Zn (50%). Relataram a necessidade de efetuarem-se mais estudos para poderem estabelecer as condições experimentais ideais que levem a uma completa concordância entre a TXRF e o PIXE.

4 METODOLOGIA

4.1 ESTUDO DE CASO

A pesquisa se baseou em analisar a água de reuso da estação de metrô Pinheiros localizada na cidade de São Paulo, Brasil.

A figura 1 apresenta uma visualização da localização da estação.



Figura 1: Visão geral da estação Pinheiros de metrô.

A região compreendida pela figura 1 (acima) tem com característica fundamental se tratar de uma região de grande importância e circulação em massa de pessoas. A estação Pinheiros tem um fluxo médio de 60 mil passageiros por dia. Sendo ainda um importante intercambiador de transportes, com acesso a Metrô e à Companhia Paulista de Transportes Metropolitanos (CPTM).

A linha 4 (vide figura 1) que corresponde a linha de estudo, denominada de linha amarela, tem cerca de 13 km de percurso com 11 estações alocadas ao longo do trajeto.

A estação conta com o processo de captação da rede pluvial local de modo a utilizar a água de chuvas para atividades gerais dentro de sua instalação, ou seja, utilização de um sistema de reuso de água pluvial de modo a minimizar custos e permitir um processo de sustentabilidade local.

Dessa forma, a pesquisa teve como intuito verificar a qualidade da água em relação aos níveis de metais pesados e demais elementos químicos presentes pela técnica de radiação síncrotron.

Foi tomada uma alíquota de 500 mL de água de reuso da localidade de interesse de estudo para análise na pesquisa científica. A amostra foi coletada no período do verão brasileiro e congelada para sua análise multielementar e de grau de acidez/alcalinidade.

4.2 ANÁLISE POR RADIAÇÃO SÍNCROTRON POR REFLEXÃO TOTAL

O projeto de pesquisa contou com análise da concentração elementar química presente numa amostra de água de reuso proveniente de chuvas da localidade de interesse de estudo (figura 1).

A alíquota de amostra coletada foi de 500 mL, sendo previamente congelada a -5°C para conservação de suas características iniciais.

A técnica para análise adota foi realizada no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) em Campinas pelo processo de reflexão total com uso da radiação síncrotron que permite uma análise multielementar dos compostos químicos presentes na água engarrafada de chuva sem necessidade de destruição das amostras por ação ácida. Tal processo permite uma análise mais clara e concisa da concentração e uma faixa espectral mais ampla de análise pelo feixe de radiação adotado.

4.2.1 Radiação Síncrotron com Reflexão Total ferramenta de detecção de metais

Na análise por reflexão total, retirou-se uma alíquota de 1 mL de água de reuso (dos 500 mL engarrafao) de estudo e adicionou-se com uso de pipeta automática um padrão de Gálio de 100 μL ($102,5 \text{ mg.L}^{-1}$) usado como padrão interno, resultando em uma concentração de $9,32 \text{ mg.L}^{-1}$ do padrão na amostra.

O padrão interno foi utilizado para eliminar a não uniformidade da alíquota no suporte, porque o filme fino formado sobre o substrato não possui geometria regular. Desta forma, a intensidade dos raios X obtida na irradiação da amostra depende da posição em que esta foi colocada no suporte, conforme relata Melo Júnior (2007). Com a adição do padrão interno, o resultado obtido será sempre em relação a este padrão, não importando, dessa forma, a posição da amostra (MELO JÚNIOR, 2007).

Ao final do preparo 5,0 μL da solução resultante foi então pipetada sob uma placa de lúcite e secou-se com auxílio de uma lâmpada infravermelha a amostra, conforme exposto na figura 2.

Figura 2: Suporte de lúcite utilizado para a deposição da amostra.



4.2.2 Instalações da Linha de Radiação Síncrotron – Técnica de Reflexão Total

A linha de radiação síncrotron para reflexão total destina-se à análise da composição química multielementar ($Z \geq 13$) em aplicações científicas de determinação de elementos traços em ciências ambientais, biológicas e materiais, perfil de profundidade química de filmes finos e mapeamento químico. Ela opera com feixe de 4 a 23 KeV, na tabela 1 verifica-se outras características da linha (MELO JÚNIOR, 2007).

Tabela 1 - Características Gerais. Fonte: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. www.lnls.br (2023).

| | |
|--------------------------------|---|
| Fonte | Ímã defletor D09B(15°), $\sigma_y = 0.222$ mm, fluxo na amostra: 4×10^9 fótons/s a 8 keV. |
| Monocromador | Monocromador <i>channel-cut</i> . |
| Cristais | Si (111) ($2d=6.217$ Å): 4-14 keV ($E/\Delta E=2800$); Si (220) ($2d=3.84$ Å): 5-23 keV ($E/\Delta E=15000$). |
| Detectores | Detectores de estado sólido de Ge hiperpuro (resolução de 150 eV) e Si(Li) (resolução de 165 eV); fotodiodos e câmeras de ionização. |
| Óptica | Óptica capilar com 20 μm de resolução espacial. |
| Manipulação de amostras | Câmara de vácuo (2-10 mbar) com geometria de excitação convencional ($45^\circ - 45^\circ$). Estações para experiências a incidência rasante e mapeamento 2D, ambas com controle total de posicionamento de amostras. |

Na figura 3 é apresentada a tubulação da linha D09B – XRF, utilizada no experimento, por onde passa o feixe de luz síncrotron do anel para a estação experimental de fluorescência localizada no LNLS.

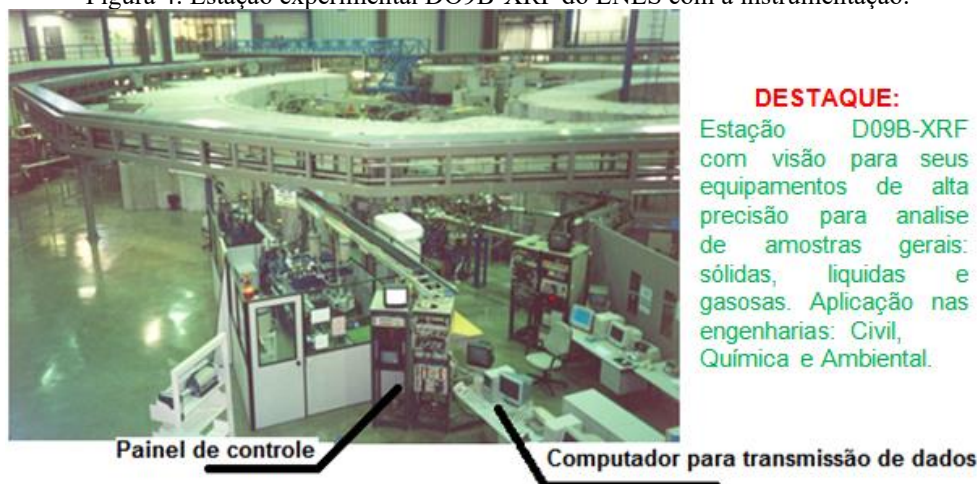
Figura 3: Foto da tubulação do anel para a linha D09B – XRF do LNLS.



Na estação experimental de fluorescência de raios X (figura 3), para a detecção dos raios X foi utilizado um detector semicondutor de Ge hiperpuro, com janela de berílio de 8 μm de espessura, uma área ativa de 30 mm^2 , acoplado a um módulo amplificador e com uma placa analisadora multicanal, inserida em microcomputador.

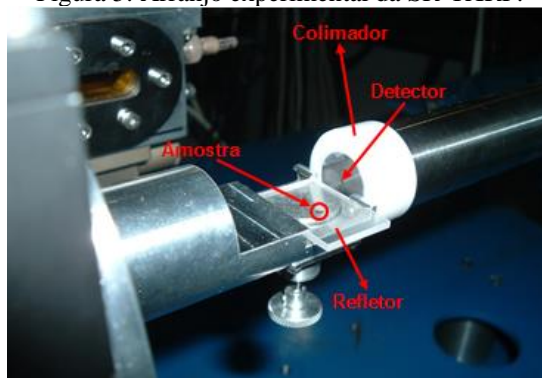
A figura 4 mostra a estação D09B-XRF e uma visão parcial do anel de radiação.

Figura 4: Estação experimental DO9B-XRF do LNLS com a instrumentação.



O arranjo experimental permite a rotação e a translação da amostra de forma a obter a condição para a reflexão total do feixe incidente sobre a amostra que está alocada na placa retangular de lúcite (*Perspex*) fixada no porta-amostra, permitindo a medida dos elementos químicos contidos na amostra. A figura 5 mostra em detalhe a amostra de água de chuva (reuso) depositada sobre o refletor e o detector com o colimador. Importante destacar que para efeito estatístico foram feitas triplicatas da mesma amostra para uma melhor acuidade dos dados captados pela técnica.

Figura 5: Arranjo experimental da SR-TXRF.



4.3 ANÁLISE PH

Foi tomado o cuidado de se analisar o grau de acidez/alcalinidade da amostra foco da pesquisa.

Para tanto foi utilizado um medidor convencional de pH, sendo adotado o modelo PH- 127 Digital da Conteck.

Esse medidor tem amplo uso em piscinas e pela sua praticidade e custo baixo foi o escolhido para uso nos laboratórios parceiros da Unicamp junto ao LNLS.

5 RESULTADOS

5.1 ANALISE MULTIELEMENTAR

5.1.1 Análise pela Técnica Radiação Síncrotron – Validação

Para garantir que os valores detectados são confiáveis foi construída uma curva característica com padrões definidos. Assim, obteve-se um grau de confiabilidade para depois avaliar as amostras coletadas.

A sensibilidade elementar foi calculada usando cinco soluções padrões com elementos conhecidos e em diferentes concentrações, acrescidos do elemento gálio (Ga) usado como padrão interno. Para isso denomina-se de série K a faixa para essa curva de padrão.

Os valores determinados da sensibilidade experimental para os elementos contidos nas soluções e os resultados obtidos são apresentados na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Sensibilidade experimental para a série K.

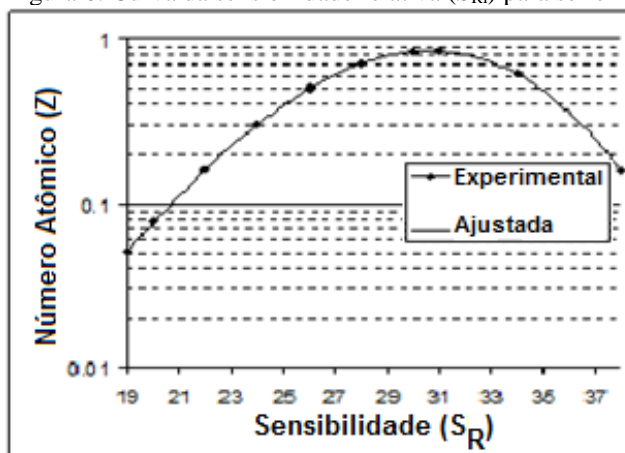
| Número Atômico | Elemento Químico | Sensibilidade |
|----------------|------------------|---------------|
| 19 | K | 0,083270 |
| 20 | Ca | 0,086387 |
| 22 | Ti | 0,199891 |
| 24 | Cr | 0,393820 |
| 26 | Fe | 0,593576 |
| 28 | Ni | 0,796228 |
| 30 | Zn | 0,897568 |
| 31 | Ga | 0,975819 |
| 34 | Se | 0,809614 |
| 38 | Sr | 0,306673 |

5.1.2 Curva de confiabilidade

Ao utilizar os dados obtidos da tabela 2 foi levantada a curva de grau de confiabilidade a partir de uma curva gráfica característica, denominada curva da sensibilidade relativa para série K. Na figura 6 (a seguir) observa-se a curva característica de confiabilidade para os elementos na faixa de interesse de estudo.

Tal curva é importante para se alinhar o desvio de erro e refletir na acuidade das análises e garantindo uma confiabilidade dos dados analisados.

Figura 6: Curva da sensibilidade relativa (S_{Ri}) para série K.



A curva de sensibilidade apresentada na figura 6 permitiu que inicialmente se utilizassem amostras certificadas com valores conhecidos. Isso possibilitou que ao se utilizar o mesmo feixe de energia na curva de sensibilidade para as amostras certificadas, os valores fossem próximos aos pré-definidos, então permitindo que as amostras coletadas e analisadas tivessem seus valores realmente dentro da realidade sem erros de detecção.

5.1.3 Ajuste de padrão pelo NIST

O ajuste foi feito com um padrão certificado pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

Na tabela 3 têm-se as amostras certificadas pela NIST para o padrão denominado pela NIST como *Drinking Water Pollutants*, com os valores medidos no LNLS e os certificados pela NIST, respectivamente.

Tabela 3 - Comparação dos valores medidos no LNLS e certificados pela NIST.

| Elemento | Valor Medido e Intervalo de Confiança (mg.L ⁻¹) | Valor Certificado e Intervalo de Confiança (mg.L ⁻¹) |
|----------|---|--|
| Cr | 8,91 ± 0,18 | 8,89 ± 0,45 |
| As | 8,66 ± 0,17 | 8,77 ± 0,45 |
| Se | 4,87 ± 0,07 | 4,69 ± 0,23 |
| Cd | 4,55 ± 0,64 | 4,54 ± 0,23 |
| Ba | 89,99 ± 0,76 | 91,89 ± 4,55 |
| Pb | 10,03 ± 1,01 | 10,09 ± 0,45 |

5.1.4 Resultados levantados da amostra de chuva

Só após essa validação do sistema foi então que se utilizou a amostra de água de chuva seca na placa de lúcite, na qual pela tabela 4 podem-se avaliar as concentrações médias dos elementos químicos medidos.

Tabela 4 - Concentração média (ng.mL⁻¹) dos elementos presentes na amostra de chuva.

| Elemento Químico Símbolo | Concentração ng.mL ⁻¹ |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Al | 126,40 |
| S | 140,00 |
| Cl | 372,70 |
| K | 16,80 |
| Ca | 738,50 |
| Ti | 1,60 |
| Cr | 19,60 |
| Mn | 13,00 |
| Fe | 118,50 |
| Co | 0,60 |
| Ni | 0,80 |
| Cu | 29,95 |
| Zn | 679,60 |
| As | 2,20 |
| Se | 0,70 |
| Br | 1,30 |
| Sr | 2,32 |
| Hg | 10,50 |
| Pb | 35,90 |

Os valores encontrados dos elementos na tabela 4 possibilita verificar o grau de qualidade da água. Pode-se notar que a presença de concentrações de chumbo (Pb), cromo (Cr) e mercúrio (Hg) entre as demais reflete a localidade de estudo que possui um elevado nível de veículos automotores de combustão de hidrocarbonetos que emitem esses compostos no ar, sendo “lavados” do ar local pela chuva e armazenados na água de reuso.

5.2 ANALISE PH

Graças ao uso do medidor de pH modelo PH- 127 Digital da Conteck. Foi possível medir o valor médio do pH da água de chuva coletada que revelou um pH médio de 6,8. Isso mostrou uma ligeira acidez da água pluvial estudada em questão.

Os valores encontrados pela tabela 4 (anterior), bem como de pH apresentaram um valor de qualidade da água de reuso aceitável para atividades gerais que não envolvam: a sedentação humana, banhos ou uso em alimentos hortifrúti; uma vez que não se tem dados sobre a presença e concentração por exemplo de coliformes fecais da água de chuva que fica armazenada num tanque de contenção de reserva pluvial na estação Pinheiros.

Deve-se levar também em consideração que a amostra foi uma coleta pontual o que não reflete a qualidade da água ao longo de uma maior amplitude temporal.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa teve um foco importante por difundir mais o uso de uma técnica apurada e de alta tecnologia empregada no campo científico. Contudo, o fato de utilizar apenas uma coleta de água de



chuva não se pode generalizar e garantir que a qualidade da água seja a mesma durante o decorrer do ano.

Como implicativos tem-se o fato da necessidade de coletas em mais dias da semana, bem como durante as estações climáticas, sobretudo destaque para o verão e inverno que ocorre a menor distribuição de chuva e conseqüentemente um maior acúmulo nos níveis de contaminantes no período inverno em dissonância ao verão brasileiro. Tal implicação se dá nas concentrações elevadas de compostos oriundos da combustão automotiva na atmosfera, em maior destaque no inverno.

Se houvessem coletas nesse período do inverno seria muito interessante para se verificar os níveis dissolvidos na água de reuso no momento da “lavagem” dos elementos dispersos na atmosfera.

Mas a pesquisa teve o mérito da preocupação em se pesquisar e estudar a qualidade de uma água de reuso que tem grande importância, mostrando uma significativa evolução na preocupação ambiental do setor governamental paulista e uma clara evolução das metas da Organização das Nações Unidas (ONU) para 2050 com relação à preservação hídrica.

Outro fato que pode ser levantado é a necessidade continua de troca da matriz energética, sobretudo da malha terrestre representada pelo setor veicular, com adoção de novas praticas que minimizem a concentração automotiva em regiões como a estudada que reflete pela presença de elementos químicos tóxicos e nocivos ao ser humano, em destaque o chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) detectados.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Caderno de recursos hídricos: Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Brasília – DF, 2005. 134p.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Site visitado: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/> Acesso: 20/05/2023.

CHEN, J. R.; CHAO, E. C. T.; MINKIN, J. A., et al. The Uses of Synchrotron Radiation Sources for Elemental and Chemical Microanalysis. *Nuclear Instruments and Methods.*, v. 49B, p. 533-543, 1990.

CRISS, J. W.; BIRKS, L. S. Calculation methods for fluorescent X-ray spectrometry empirical coefficients vs. fundamental parameters, *Analytical Chemistry*, v. 40, n° 7, p. 1080-1086, 1968.

GONÇALVES, C. S. Qualidade de águas superficiais na microbacia hidrográfica do arroio Lino Nova Boêmia – Agudo – RS. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

KNEIP, T. J. e LAURER, G. R. Isotope excited X-Ray Fluorescence. *Analytical Chemistry*, v. 44, n° 14, p. 57A-68A, 1972.

Laboratório Nacional de Luz Sincrotron (LNLS). www.lnls.br. Acesso: 10/05/2023.

LIENDO, J. A.; GONZÁLEZ, A. C.; CASTELLI, C., et al. Comparison between Proton-Induced X-Ray Emission (PIXE) and Total Reflection X-ray Fluorescence (TXRF) Spectrometry for Elemental Analysis of Human Amniotic Fluid, *X-Ray Spectrometry*, v. 28, p. 3-8, 1999.

LIMA, J. E. F. W; FERREIRA, R. S. A; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: Estado das águas no Brasil – 1999: Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. SIH/ANEEL/MME; SRH/MMA. 1999, p. 73-82.

LIMA, C. C. INDUSTRIALIZAÇÃO DA ÁGUA MINERAL. Universidade Católica de Goiás. Monografia. 65p. 2003.

MARTINS, A. O planeta está sedento. *Folha Universal*, São Paulo, p. 2A, 16 nov. 2003.

MELO JÚNIOR, A. S. Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios x e reflexão total usando radiação síncrotron. Tese de Doutorado. UNICAMP. 2007.

SPERLING, M. Von. Poluição de ambientes aquáticos: tendências futuras para os países latino-americanos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 27, 2000, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ABRH, 2000. CD ROM.

SHIKLOMANOV, I. A. Comprehensive assessment of the Freshwater resources to the world. In: Assessment water resources and water availability in the world. WMO/SEI, 1997. 85p.

SALVADOR, V. L. Introdução à técnica de fluorescência de raios X. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN (IPN-014), 2003.

YAP, C. T. e GUNAWARDENA, V.R. TXRF Spectrometric Analysis of major Elements in Mineral Sands. *Applied Spectroscopy*, v. 43, n° 4, p. 702-704, 1989.