

USO DE ÁGUA DA CHUVA PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS AQUATUBULARES NO DISTRITO FEDERAL

Felipe Correa Cardoso Farias, felipetsst@gmail.com^a
João Vitor da Silva Dourado, joaovitoradasilvadourado@gmail.com^a
Gleyson Ferreira Gomes, gleyson1415@gmail.com^a
Lucas Fernandes Aguiar, lucas.fernandes.df@gmail.com^b
Osvaldo Kojiro Iha, okilha@udf.edu.br^a
Braion Barbosa de Moura, bbmoura@udf.edu.br^b

^a Universidade do Distrito Federal – UDF, 704/904 SEPS EQ 702/902, Asa Sul, Brasília/DF

^b Universidade de Brasília - UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP: 70910-900, Brasília/DF

Resumo. A geração de vapor em caldeiras é essencial para uma variedade de processos industriais, tendo a água como sua matéria-prima principal. Nesse contexto, torna-se crucial, alcançar um equilíbrio entre a preservação ambiental e a redução dos custos operacionais. Este estudo propõe a avaliação da viabilidade do aproveitamento da água da chuva para a alimentação de caldeiras aquatubulares no Distrito Federal. Foi realizada a análise da água da chuva para avaliar as suas propriedades químicas e físicas, investigou também a eficiência energética, explorou medidas de otimização e mitigação dos impactos ambientais, e examinou os aspectos econômicos associados ao projeto. Os resultados indicam que é viável operar as caldeiras com água da chuva, desde que sejam atendidos os critérios adequados de tratamento e armazenamento da água. No entanto, a implementação será determinada pelos custos de operação e adequação do sistema de aproveitamento de água da chuva. Esta pesquisa contribui significativamente para a busca de alternativas sustentáveis no uso dos recursos hídricos, promovendo uma operação mais eficiente e econômica das caldeiras industriais, sem comprometer a segurança e a qualidade dos processos.

Palavras chave: Caldeiras, Água da chuva, Eficiência, Sustentabilidade, Tratamento de água.

Abstract. The steam generation in boilers is essential for a variety of industrial processes, with water being its main raw material. In this context, achieving a balance between environmental preservation and operational cost reduction is crucial. This study proposes the assessment of the feasibility of rainwater harvesting for feeding water-tube boilers in the Federal District. Rainwater analysis was conducted to evaluate its chemical and physical properties, energy efficiency was investigated, optimization measures and environmental impact mitigation were explored, and economic aspects associated with the project were examined. The results indicate that operating boilers with rainwater is feasible, provided that appropriate water treatment and storage criteria are met. However, implementation will be determined by operational costs and the adequacy of the rainwater harvesting system. This research significantly contributes to the search for sustainable alternatives in water resource use, promoting more efficient and economical operation of industrial boilers without compromising process safety and quality.

Keywords: Boilers, Rainwater, Efficiency, Sustainability, Water treatment.

1. INTRODUÇÃO

A operação eficiente das caldeiras é um pilar fundamental para a sustentabilidade dos processos industriais, pois a geração de vapor é indispensável em diversos setores, desde o agronegócio até a produção farmacêutica e alimentícia. No entanto, esse processo demanda quantidades significativas de água, um recurso muitas vezes limitado e dispendioso. Diante desse cenário, surge uma oportunidade inovadora: o aproveitamento da água da chuva como fonte de alimentação para as caldeiras aquatubulares. Este artigo propõe uma análise abrangente dessa abordagem, ressaltando seus benefícios tanto para a preservação ambiental quanto para os resultados financeiros das indústrias.

O intuito deste estudo é explorar o potencial e os desafios associados ao emprego da água da chuva como fonte de alimentação para caldeiras aquatubulares no Distrito Federal. Serão abordados aspectos técnicos, ambientais e econômicos relacionados a essa prática, considerando suas implicações tanto para as indústrias quanto para o meio ambiente.

Ao explorar essa alternativa, busca-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de gestão hídrica, promovendo a eficiência no uso da água e reduzindo o impacto ambiental das atividades industriais na

região. A análise será conduzida por meio de quatro objetivos principais: avaliar a qualidade da água bruta; analisar o impacto na eficiência energética das caldeiras; investigar medidas de otimização e mitigação de impactos; e examinar os aspectos econômicos do processo analisado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme Damasceno (2023) a crescente demanda por vapor de alta qualidade, aliada à disponibilidade de água para geração de vapor dentro dos parâmetros aceitáveis de qualidade, desafia empresas e organizações que dependem desse recurso essencial para a continuidade de seus processos. Devido ao custo gerado pelo uso da água convencional e à crescente escassez dessa matéria-prima, torna-se cada vez mais crucial o aperfeiçoamento e a melhoria contínua dos processos, buscando tornar as operações eficientes, lucrativas e sustentáveis.

De acordo com Zarpelon (2015), os geradores de vapor amplamente utilizados na indústria, conhecidos como caldeiras, são classificados geralmente em três tipos: aquatubulares, flamotubulares e elétricas. As caldeiras aquatubulares são empregadas em setores que demandam um volume maior de vapor superaquecido.

Para atender às demandas por uma abordagem sustentável e rentável, a coleta e o uso de águas pluviais emergem como uma solução prática e de baixo custo. Destaca-se sua eficiência em preservar a disponibilidade de água potável para aplicações essenciais. Segundo Seeger, Sari e Eloiza Paiva (2007), conservar esse recurso valioso por meio de fontes alternativas torna-se uma necessidade urgente, especialmente considerando a prioridade de utilização dos recursos hídricos disponíveis para o abastecimento público.

A Norma Técnica NBR 10844 (ABNT, 1989) estabelece critérios essenciais para os projetos de captação de água da chuva, visando garantir funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia. Tais práticas sustentáveis introduzem uma fonte de água adicional e promovem a economia de recursos, contribuindo para o gerenciamento eficaz dos recursos hídricos (CHRISTINANA FONSECA, 2020). A conformidade com normas técnicas adequadas é fundamental para garantir a eficácia e a segurança dessas práticas, contribuindo para uma gestão mais eficiente e responsável dos recursos hídricos.

A NBR 15.527/2007 estabelece diretrizes específicas para o uso de águas pluviais, entre elas:

Origem da Água e Usos Permitidos: A norma determina que apenas a água do telhado pode ser coletada, garantindo a qualidade da água armazenada na cisterna. Quanto aos usos, a água da chuva é considerada adequada para fins não potáveis, como lavagem de pisos, carros, irrigação, drenagem de vasos sanitários e processos industriais.

Dimensionamento da Cisterna: A adequação do dimensionamento da cisterna à área de telhado e ao índice pluviométrico regional é fundamental para garantir um retorno satisfatório do investimento e a suficiência do armazenamento nos períodos de menor precipitação.

O cuidado que deve ter para a operação adequada de geradores de vapor é a qualidade da água nos sistemas internos, que podem gerar corrosão, depósitos, arraste e incrustação se não houver um tratamento adequado da água de alimentação (ZARPELON, 2015). De acordo com Salles (2023), os principais fatores que geram as incrustações são: tratamento químico ineficiente, excesso de contaminantes e pH da água inadequado para o processo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Objeto e área de estudo

Este estudo foi conduzido em uma indústria multinacional de fabricação e distribuição de refrigerantes localizada no Distrito Federal - DF, onde o objeto de estudo é uma Caldeira Aquatubular alimentada a gás GLP (gás liquefeito de petróleo) com pressão de trabalho de 9,8 kgf/m², considerando o trabalho de operação de 8 horas por dia. A avaliação foi realizada entre os meses de janeiro a abril de 2024 na unidade localizada em Taguatinga Sul - DF.

A caldeira foi fabricada pela Miura Boiler no ano de 2022 e possui uma capacidade de gerar 800 kg de vapor por hora de operação.

3.2. Clima

O Distrito Federal do Brasil tem um clima tropical de altitude, caracterizado por duas estações principais: uma estação chuvosa, que vai de outubro a abril, e uma estação seca, de maio a setembro.

Durante a estação chuvosa, o Distrito Federal experimenta um aumento significativo na precipitação, com chuvas frequentes e intensas. Janeiro é tipicamente o mês mais chuvoso, enquanto julho é geralmente o mais seco. As chuvas podem ser acompanhadas por tempestades elétricas e fortes ventos, especialmente durante os meses mais quentes.

É importante notar que, devido à sua localização geográfica e ao seu relevo, o Distrito Federal pode apresentar variações climáticas dentro de seu território. Por exemplo, áreas mais elevadas podem ser mais frias e receber mais chuvas do que as regiões mais baixas. Em 2023, conforme informações obtidas através do sistema de balanço hídrico SISDAGRO, foi observado que o Distrito Federal ficou 244 (duzentos e quarenta e quatro) dias sem chuva, obtendo no período chuvoso, uma precipitação de 1026,8 mm, conforme Fig. (1).



Figura 1 – Resumo do balanço hídrico do ano de 2023 do Distrito Federal, SISDAGRO (2024)

3.3. Análise dos parâmetros de qualidade da água bruta

Neste estudo a coleta da água foi realizada para atender ao objetivo de analisar as características físicas ou químicas da água bruta da chuva, para determinar posteriormente a melhor forma de tratamento para alimentação de caldeiras aquatubulares.

O procedimento de coleta e análise da água seguiu os parâmetros estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021.

A coleta foi realizada no dia 2 de abril de 2024 no período vespertino na cidade administrativa de Taguatinga Sul - DF, através de funil e recipiente de vidro, armazenando dois litros de água para realizar a análise.

A análise seguiu os procedimentos laboratoriais, onde foram examinadas as características de alcalinidade, dureza, pH, sais minerais e turbidez.

Para cada análise, seguiu-se um procedimento específico, conforme abaixo:

Análise de alcalinidade: Uma amostra de 100 mL de água foi retirada utilizando uma proveta e transferida para um Erlenmeyer. Após a transferência, foram adicionadas 2 gotas de solução T para neutralizar o cloro, seguidas por 3 gotas de solução P até que a água mudasse para a coloração rosa. Em seguida, foi adicionado ácido sulfúrico 0,02N, parando imediatamente quando a amostra atingiu a cor incolor. O volume de ácido sulfúrico consumido até que a água alcançasse a coloração incolor foi medido e multiplicado por 10 para determinar a alcalinidade em mg/L.

Equipamentos utilizados: Erlenmeyer de vidro boca estreita com capacidade de 1L e bureta digital 50mL classe A com válvula purga.

Análise de dureza: O procedimento iniciou-se com a pipetagem de uma amostra de 50 mL de água, seguida da adição de 0,5 mL de solução de Buffer e agitação subsequente. Em seguida, uma quantidade adequada de indicador de dureza total foi adicionada até que o líquido se tornasse incolor, com o recipiente agitado para garantir a completa dissolução do indicador. A mudança de coloração para azul indicou a ausência de dureza total na água. Posteriormente, quando ocorreu a coloração roxa, foi realizada uma titulação de dureza utilizando a solução padrão em mililitros, cujo resultado foi multiplicado por 20 para determinar a dureza total.

Equipamentos utilizados: Pipeta IKA Pette de 10mL e Erlenmeyer de vidro boca estreita com capacidade de 1L.

Análise do pH da água: Para determinar o pH da amostra de 100 mL, o béquer foi preenchido com o líquido até cobrir completamente a tira de pH. Em seguida, a tira foi imersa no líquido por alguns segundos, resultando em uma mudança momentânea de cor. Assim que a coloração se estabilizou, foi possível identificar o nível de pH da amostra.

Equipamento utilizado: béquer de vidro com capacidade de 100mL.

Análise de turbidez: O procedimento de análise da amostra utilizando o turbidímetro foi conduzido da seguinte forma: a cubeta foi cuidadosamente preenchida com a amostra, garantindo que o líquido chegasse próximo do ponto de transbordamento para evitar a presença de ar ou bolhas durante a análise. Após o preenchimento da cubeta, esta foi limpa minuciosamente com papel toalha soft, assegurando a remoção de quaisquer impurezas e evitando a formação de condensação no lado externo. Em seguida, a tampa do turbidímetro foi aberta e a cubeta foi inserida no compartimento do equipamento, sendo posicionada de maneira alinhada conforme as orientações do fabricante. Por fim, a leitura digital da turbidez da amostra foi realizada de acordo com os procedimentos padrão do equipamento, fornecendo os resultados necessários para a análise.

Equipamentos utilizados: Turbidímetro digital e cubeta limpa de 100mL.

Análise de sólidos totais dissolvidos: A análise foi conduzida utilizando uma amostra de 200 mL de água e verificada por meio de um condutivímetro, um equipamento digital especializado para essa finalidade.

Equipamentos utilizados: Medidor de condutividade TDS em Linha ROC CCT- 3320V, bquer de vidro com capacidade de 100mL.

Análise de condutividade elétrica: Uma amostra de 100 mL foi colocada em um bquer e analisada utilizando um medidor de condutividade. O eletrodo do equipamento foi mergulhado no recipiente contendo a amostra, e a análise foi realizada de forma digital.

Equipamentos utilizados: Medidor de condutividade TDS em Linha ROC CCT- 3320V, bquer de vidro com capacidade de 100mL.

Análise de cloreto: Foi pipetada uma amostra de 50 mL e transferida para um Erlenmeyer. Em seguida, foram adicionadas 2 gotas de fenolftaleína e 5 gotas de cromato de potássio, com agitação constante. A titulação foi realizada com nitrato de prata 0,02N até que a coloração castanha começasse a aparecer. Ao final da titulação, foi aplicada uma fórmula considerando o volume gasto em mL para calcular os resultados.

Equação (1) utilizada para encontrar o resultado da análise de cloreto.

$$\frac{(\text{Volume em ml gastos de } AgNO_3 - 0,2) \cdot 0,02 \cdot (58,44) \cdot 1000}{\text{Volume em mL da amostra}} = NaCl \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (1)$$

Equipamentos utilizados: Erlenmeyer de vidro boca estreita com capacidade de 1L e proveta de vidro graduada de 100mL, Pipeta IKA Pette de 10mL.

3.3.1. Parâmetros esperados

Os parâmetros esperados para obter uma boa qualidade da água e garantir a eficiência, se baseiam no mínimo de concentração de sólidos que possam gerar incrustações e também em uma faixa ideal de pH, que não torne a água ácida ou alcalina, conforme demonstrado na Tab. 1 abaixo.

Tabela 1. Parâmetros de qualidade da água para alimentação de caldeira aquatubular conforme Agência Nacional da Água (2009) e manual de operação da caldeira MIURA aquatubular de 9,8 kgf/m² (2023).

	Valor máximo	Valor mínimo
Alcalinidade (mg/L)	350	0
Dureza (mg/L)	0,3	0
pH	10	8,3
Turbidez (uT)	4,32	0
SLD (mg/L)	0	0
Condutividade (uS/cm)	5,4	1,1
Cloreto (mg/L)	250	0

3.4. Levantamento de custos e retorno do investimento

Para a estimativa adequada de custos e retorno do investimento serão levantadas as seguintes informações:

Para a definição dos custos:

Utilizar o método Azevedo Neto (2007), conforme descrito no Anexo A da norma NBR 15527/2007, para calcular o volume consumível de água da chuva por mês.

Equação (2) utilizada para encontrar o volume da chuva:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (2)$$

Onde: P é Valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm); T é valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca; A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²).

Estimar a capacidade necessária de armazenamento para a água da chuva, com base no volume estimado, realizar orçamento para a construção de uma cisterna adequada para o armazenamento de água e avaliar se o tratamento da água atual na planta será modificado para incluir o tratamento da água da chuva, por meio de análises realizadas.

Para a definição do retorno:

Estimar o custo mensal da planta para o abastecimento convencional da caldeira e analisar se o investimento realizado será recuperado após a implementação, levando em consideração o custo versus o retorno esperado.

Para definir quanto tempo o investimento precisa para obtenção de lucros, utilizaremos a seguinte estimativa, conforme Eq. (3).

$$\frac{\text{Custo para implementar sistema}}{\text{Custo para consumo da água convencional}} = \text{Retorno financeiro em meses} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da água

Ao analisar os dados obtidos em laboratório com os parâmetros da água coletada da chuva, foi possível observar a disparidade dos resultados encontrados para com os resultados necessários para uma alimentação adequada da caldeira para a geração de vapor industrial.

O Quadro 2 apresenta os resultados e os parâmetros adequados que necessitam ser atendidos, apresentando alta concentração de dureza, sais totais dissolvidos, turbidez e pH abaixo do limite mínimo exigido. Entende-se que a água da chuva pode ser utilizada para alimentação da caldeira, porém, necessita de um tratamento adequado no pré-abastecimento, para não prejudicar a eficiência e a segurança da operação.

Tabela 2. Número de valores (N), Mediana, (Min) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros obtidos através da análise da água bruta da chuva e parâmetros obtidos através da análise da água bruta convencional.

Parâmetros	Parâmetros da água coletada da chuva					Parâmetros da água bruta convencional				
	N	Mediana	Min	Máx	Desv Pad	N	Mediana	Min	Máx	Desv Pad
Alcalinidade (mg/L)	3	9,3	9,3	9,5	0,1	3	21,9	21,5	22,2	0,35
Dureza (mg/L)	3	8,2	8,1	8,4	0,1	3	40,8	40	42	1,0
pH	3	5,5	5,5	5,5	0,0	3	6,5	6,3	6,8	0,2
Turbidez (uT)	3	10,8	10,8	11	0,10	3	0,4	0,4	0,7	0,2
SLD (mg/L)	3	4,1	4,1	4,11	0,02	3	26	25	26,7	0,8
Condutividade (uS/cm)	3	22,1	22,1	22,4	0,1	3	60,1	60	60,8	0,4
Cloreto (mg/L)	3	28,3	28,3	28,4	0,03	3	20	19,8	20,3	0,2

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que os níveis de Alcalinidade, Dureza, SLD (Sólidos Dissolvidos), Condutividade e Cloreto na água coletada da chuva superam os padrões de qualidade da água atualmente utilizada no sistema de alimentação das caldeiras. Por outro lado, os níveis de Turbidez e pH na água coletada da chuva excedem aqueles da água de abastecimento, embora ainda exijam tratamento adicional para cumprir os requisitos de alimentação das caldeiras.

Vale ressaltar que a busca pelo atendimento dos parâmetros ideias de qualidade da água beneficiam a operação em diversas formas, trazendo eficiência, segurança e redução de custos devido as manutenções preventivas realizadas.

4.2. Medidas de mitigação

De acordo com a análise realizada da água para avaliação dos parâmetros, é identificado uma qualidade superior da água da chuva quando comparada com a água bruta utilizada atualmente pela empresa, sendo necessário, de acordo com Zarpelon (2015), as seguintes medidas de mitigação:

Para melhorar o parâmetro de Turbidez, pode ser utilizado o meio de tratamento de coagulação, sedimentação e filtração, podendo ser aplicados de forma individual ou em conjunto. Atualmente a empresa dispõe de filtros de carvão ativado para tratamento da água, sendo assim, podendo seguir o tratamento sem alterações necessárias.

Com objetivo de melhorar o parâmetro de pH da água, para não impactar negativamente a eficiência da caldeira na geração de vapor, é recomendado o aumento do uso de bases e uma redução de produtos ácidos, já em operação, pois a água utilizada atualmente para alimentação das caldeiras não atende os critérios de pH adequados, assim como a água coletada da chuva.

4.3. Estudo de viabilidade econômica

Através do estudo de viabilidade econômica foi possível identificar a estimativa de custos e retornos da operação levando em consideração os aspectos de implementação do sistema de captação e armazenamento, volume de água esperado da chuva na região, operação e tratamento da água a ser captada do sistema pluvial e a operação atual com o gasto de água para alimentação das caldeiras.

Definição dos custos:

Para estimar a capacidade de coleta de água da chuva do edifício, foi realizado o cálculo através do método Azevedo Neto, demonstrado na equação 2, sabendo que o telhado possui cobertura de 18.000m² para captação da água, e considerando a precipitação média anual na região do Distrito Federal, concluiu-se que o volume de água estimado por mês é de 193m³, conforme especificado na Tab.(3).

Tabela 3. Projeção do volume de água estimado por mês

Volume de água estimado no ano	Meses	Volume de água estimado por mês
2.326 m ³	12	193 m ³

Tabela 4. Volume de água utilizado para alimentação da caldeira Miura, conforme especificações técnicas do fabricante.

Média de consumo de água para geração de vapor na caldeira Miura	Tempo de operação	Volume de água estimado por mês
0,8 m ³ /h	8h	192 m ³

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 4 é possível estimar que o consumo médio necessário para alimentar a água para geração de vapor na caldeira por mês é de 192.000 litros, sendo necessário dispor de um reservatório com capacidade superior para imprevistos ou instabilidades.

O custo atual pra a alimentação da caldeira com água convencional do sistema de abastecimento do Distrito Federal – DF é dimensionado conforme a tabela de preços disponibilizada pela CAESB (2020), conforme a Fig.(2).

COMERCIAL, INDUSTRIAL E PÚBLICA			R\$ 24,31
Faixa m ³	Vol. Faixa	Aliquota Preço p/ m ³	Da Faixa (R\$)
1 0 a 4	4	7,07	28,28
2 5 a 7	3	8,83	26,49
3 8 a 10	3	11,39	34,17
4 11 a 40	30	14,12	423,60
5 Acima de 40		16,66	

Figura 2. Tabela de preços disponibilizada pela CAESB

De acordo com a companhia, para setores industriais é cobrado o valor de R\$ 16,66 por m³ para abastecimento de água, sendo cobrado o mesmo valor para o tratamento dos efluentes industriais e sanitários, totalizando o custo de R\$ 33,32 por m³.

Sendo assim, é possível estimar o custo de consumo para alimentação das caldeiras através da eq.(4).

$$\text{Custo total para abastecimento da caldeira} = \text{preço (m}^3\text{)} \cdot \text{Volume de água estimado} \quad (4)$$

$$\text{Custo total para abastecimento da caldeira} = 33,32 \cdot 192$$

$$\text{Custo total para abastecimento da caldeira} = 6.397,44$$

Então, aplicando a eq.(3), podemos considerar que para cada tipo de cisterna implementada, a projeção de retorno financeiro seguirá de acordo com o Tab.(5).

Tabela 5. Estimativa de retorno conforme investimento previsto para implementação e operação do sistema de água pluvial para alimentação de caldeiras.

Sistema de captação e armazenamento em m ³	Custo para implementação	Economia gerada pelo uso da água da chuva por mês	Projeção do retorno de investimento
200 m ³	R\$ 45.000,00	R\$ 6.397,44	7,03 meses
250 m ³	R\$ 50.000,00	R\$ 6.397,44	7,81 meses
280 m ³	R\$ 75.000,00	R\$ 6.397,44	11,72 meses

De acordo com o levantamento abordado, é possível identificar que o tratamento existente para melhorar os parâmetros de qualidade da água convencional, não precisará ser modificado inicialmente para atender a demanda de água pluvial, garantindo que não ocorram alterações no custo do processo, considerando para a estimativa de custo x retorno, somente o custo de instalação do sistema de captação e armazenamento de água em relação ao retorno esperado de economia.

5. CONCLUSÃO

O levantamento laboratorial realizado com a água da chuva mostrou-se satisfatório quando comparado com a água bruta utilizada na unidade estudada, atendendo aos critérios básicos de qualidade.

Considerando os parâmetros encontrados, entende-se que é viável aplicar o tratamento químico existente na planta fabril para tratar a água pluvial captada da chuva, com objetivo de melhorar os índices de turbidez e pH.

A eficiência da caldeira não será afetada caso seja optado o uso da água pluvial, desde que o tratamento no processo de alimentação do equipamento siga os critérios mínimos estabelecidos pela unidade.

Conforme resultados do estudo de viabilidade econômica, é possível realizar o investimento para implementação do sistema, tendo em vista que o retorno financeiro ocorrerá em até 11,7 meses, a depender da necessidade de captação e armazenagem de água.

Vale mencionar que o projeto poderá viabilizar benefícios fiscais devido a inovação e melhoria do processo, o tornando sustentável, com a aplicação da Lei do Bem (Lei 11.196/2005).

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Brasal Refrigerantes S/A por conceder o local para realizar o estudo, ao apoio oferecido pela UNB na coorientação concedida e a UDF pela oportunidade em participarmos do congresso de estudantes de engenharia mecânica – CREEM.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15527 - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT. 2007. 8 p.
- CAESB. TARIFAS e Preços. In: Tarifas e Preços. Distrito Federal: CAESB, 1 jun. 2020. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/tarifas-e-precos.html>. Acesso em: 19 abr. 2024.
- DAMASCENO, Camilo Xavier. Simulação de tratamento de água para geração de vapor: análise comparativa de dados randômicos com parâmetros reais. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- FONSECA, Christiana Maria Andrade da. Conservação e reuso de água em indústria de fabricação de bebida: estudo de caso. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- GAMA, Paulo Sergio Mendes. CLARIFICAÇÃO, DESSALINIZAÇÃO E DESMINERALIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR PARA GERAÇÃO DE VAPOR EM CALDEIRAS. 2017.
- GASOLA, Diogo Luiz; MARQUEZI, Sergio Luis; AZZOLINI, José Carlos. Comparação entre o uso do sulfato de alumínio e do hidroxiclreto de alumínio no tratamento de água para geração de vapor. Unoesc & Ciência-ACET Joaçaba, v. 6, n. 1, p. 7-18, 2015.
- HAGEMANN, Sabrina Elicker et al. Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso. 2009.
- LOPES, Ivair Aparecido et al. Água da chuva: análise da qualidade para uso em caldeiras industriais. SITEFA, v. 1, n. 1, p. 194-209, 2018.
- PAULA, Eduardo Coutinho; AMARAL, Míriam Cristina Santos. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA INCRUSTADAS APÓS O EMPREGO EM TRATAMENTOS DE ÁGUAS PARA CALDEIRAS, 2019.
- Portaria nº 888, de 10 de janeiro de 2002. Ministério da Saúde. PROCEDIMENTOS DE CONTROLE

E DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO E SEU PADRÃO DE POTABILIDADE, Brasília, DF, n. 888, 4 maio 2021.

SEEGER, Lília Mayumi Kaneda; SARI, Vanessa; PAIVA, E. M. C. D. Análise comparativa do aproveitamento da água da chuva na lavagem de veículos em duas cidades da Região Sul e Centro-Oeste. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 17, p. 1-13, 2007.

SISDAGRO. (n.d.). <https://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>

ZARPELON, Willian; AZZOLINI, José Carlos. Caldeiras de alta pressão: caracterização e avaliação da qualidade do tratamento das águas de abastecimento. Unoesc & Ciência-ACET, v. 6, n. 2, p. 141-154, 2015.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.