

Avaliação econômica da aplicação de osmose reversa para reuso da purga de torres de resfriamento

A preocupação ambiental com o consumo descontrolado de um recurso natural finito, levou à elaboração de um plano de avaliação do projeto de reuso da água de blowdown de torres de resfriamento em indústrias. Utilizando uma ferramenta de manipulação de dados de processos e conhecendo os custos associados à operação da planta, verificou-se a viabilidade de implantação do equipamento de osmose reversa. Esse método de dessalinização da água é comum em indústrias de bebidas, em locais que possuem escassez e onde seja necessário captar água do mar para torná-la potável. A relevância desta avaliação está no propósito de diminuir a dependência de um recurso tão limitado, como a água doce, no planeta. Através do mecanismo de balanço de massa e o uso da equação de payback, elaborados nesse artigo, podemos identificar os potenciais de qualquer projeto associado ao incluir o equipamento de osmose reversa nas operações junto a torres de resfriamento. Com o exemplo evidenciado nesse artigo, foi possível prever o tempo de payback do projeto, de acordo com o investimento realizado e lucro líquido identificado.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Indústria; Osmose reversa; Meio ambiente; Água; Dessalinização.

Economic evaluation of reverse osmosis application for reuse of cooling tower purge

The environmental concern about the uncontrolled consumption of a finite natural resource, led to the accomplishment of this work, directed to the elaboration of an evaluation plan of the project of reuse of the blowdown water of cooling towers in industries, with a data manipulation tool of processes and costs associated with the operation of the specific plant to verify the feasibility of implementing the reverse osmosis equipment. This method of desalination of water is common in beverage industries, in places that have scarcity and where it is necessary to capture seawater to make it drinkable. This project is important for the purpose of reducing dependence on such a limited resource that is fresh water on the planet. Through the analysis and usage mechanism to include the feedback analysis design, it can identify the potentials of any resource to the operating equipment along with the cooling towers. With the example shown in this article, it was possible to predict the payback time of the project, according to the investment made and net profit identified.

Keywords: Sustainability; Industry; Reverse osmosis; Environment; Water; Desalination.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **10/08/2022**

Approved: **27/12/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Leonardo Ferreira de Oliveira

Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1280883792730086>

leonardo.ferreiradeoliveira@hotmail.com

Bárbara da Silva e Souza Lorca 

Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil

<https://lattes.cnpq.br/0360043197083868>

<https://orcid.org/0000-0001-8801-2601>

barbara.lorca@uerj.br



DOI: 10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0002

Referencing this:

OLIVEIRA, L. F.; LORCA, B. S. S.. Avaliação econômica da aplicação de osmose reversa para reuso da purga de torres de resfriamento.

Naturae, v.4, n.2, p.7-14, 2022. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0002>

INTRODUÇÃO

O mundo passa por constantes mudanças tecnológicas e as indústrias tentam acompanhá-las, objetivando aumentar sua competitividade no mercado. A utilização de recursos naturais é cada vez mais necessária, principalmente, com o aumento de produção para atender as demandas do mercado¹.

No 8º Fórum Mundial da Água, ocorrido no Brasil em 2018, a Organização das Nações Unidas (ONU) divulgou um relatório, emitido pelo Banco Mundial, onde estima-se que até 2050, a falta de água potável atinja, em torno de, 5 milhões de pessoas no mundo, devido a mudanças climáticas e ao aumento do consumo. Estes dados indicam que a diferença entre a oferta e a demanda de água será de 40%, até 2030 (DOMINGUES, 2020).

A água é um recurso muito valioso, sendo indispensável e insubstituível para a vida dos seres vivos (MARINOSKI, 2007). Mesmo com o grande percentual ainda existente no planeta, é perceptível que a reserva de água doce, acessível ao ser humano, é mínima. A superfície terrestre é coberta aproximadamente por 70% de água, porém, somente 3% é doce. E apenas 20% desta última está imediatamente disponível ao ser humano. O restante está localizado em lugares de difícil acesso, como geleiras e locais subterrâneos (OLIVEIRA, 2008). O Brasil detém 13% das reservas de água doce do planeta. Com o conhecimento da escassez e dos consumos desse recurso, tais como aumento populacional e demandas de indústrias e companhias que trabalham com cultivo irrigado, há real necessidade de as empresas buscarem continuamente uma operação sustentável. Outro ponto importante é a garantia do acesso deste recurso natural a todos (CUADRO, 2020). A Figura 1, abaixo, ilustra os principais consumos de água doce nas atividades praticadas no país.

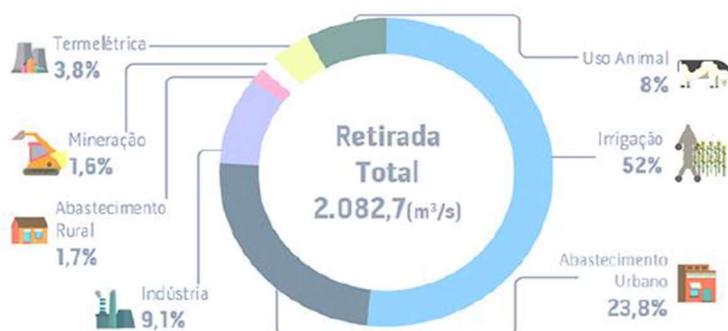


Figura 1: Principais consumos de água doce, em atividades praticadas no Brasil. Fonte: ANA².

Nos processos produtivos industriais, geralmente, existe a necessidade de que os fluidos de processo (líquidos e gases) sejam resfriados. Isto é feito por meio de trocadores de calor, usando água como refrigerante. Durante o processo, a água quente precisa ser resfriada para que seu ciclo continue em operação. Geralmente, a solução encontrada é a instalação de torres de resfriamento.

¹ http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf

² <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030>

DISCUSSÃO TEÓRICA

Breve descrição sobre torres de resfriamento

Todo processo de resfriamento envolve transferência de calor de uma substância para outra. Aquela que perde calor é identificada como resfriada e a que recebe calor se chama refrigerante, sendo a água o refrigerante mais utilizado em processos industriais. Os sistemas de água de resfriamento controlam a temperatura e a pressão, transferindo calor de fluidos quentes, envolvidos no processo, para água de resfriamento. À medida que isso acontece, a água de resfriamento é aquecida e precisa ser resfriada, antes de ser usada novamente ou ser substituída por água de reposição (TROVATI, 2004).

O processo da torre de resfriamento envolve utilizar o fluxo de ar em contato direto com a água quente, que regressa do sistema. O fluxo de ar retira o calor retido pelo líquido refrigerante para, novamente, retornar ao processo de remoção de calor nas linhas produtivas³, conforme demonstrado na Figura 2.

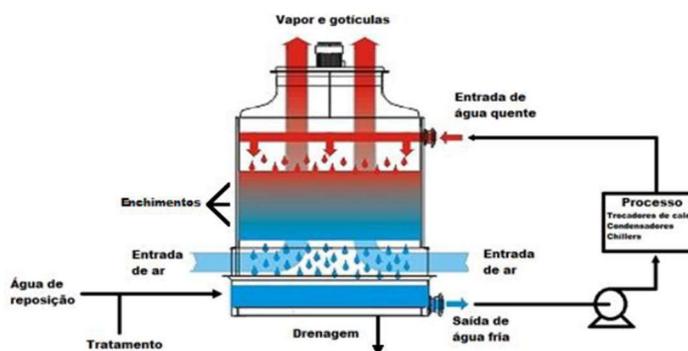


Figura 2: Processo de funcionamento de uma torre de resfriamento. **Fonte:** Sampaio (2013).

Breve discussão sobre osmose reversa

A dessalinização é um outro processo, que envolve hiper filtração cruzada, para remover, parcialmente, os sais de água salobra ou do mar. A aplicação de uma pressão gera um fluxo de água no sentido da maior para a de menor concentração, acompanhada por uma pequena quantidade de sais. Este fenômeno é chamado de osmose reversa ou osmose inversa e seu princípio está demonstrado na Figura 3) (MONTEIRO et al., 2009). Ocorre, naturalmente, em função da chamada “pressão osmótica”, a qual empurra a água do meio diluído para o meio mais concentrado. Como somente a água consegue atravessar a membrana semipermeável, o meio mais diluído (menos concentrado) sempre tem mais água para passar para o meio mais concentrado, do que o inverso. Assim, o processo é dinâmico até que seja atingido o equilíbrio, ou seja, a velocidade de migração da água seja igual para os dois lados da membrana semipermeável. Se forem adicionadas duas soluções de concentrações diferentes, separadas por uma membrana semipermeável, a velocidade de migração da água do meio hipotônico (menos concentrado) para o meio hipertônico (mais concentrado) fará com que haja um desnível entre as soluções, desnível este conhecido como pressão osmótica (GOUVÊA,2012).

³ <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2010/VII-005.pdf>

O processo de fracionamento completo, permite remover a maior parte dos contaminantes orgânicos e até 99% de todos os íons. Usando uma pressão superior à pressão osmótica, que força a passagem de água através da membrana semipermeável, no sentido inverso ao da osmose natural, este processo remove até 99,0% de vírus, bactérias e colóides (FERRARO, 2008). A representação esquemática da membrana de osmose reversa pode ser visualizada na Figura 4.

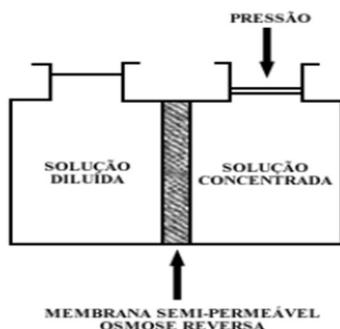


Figura 3: Princípio da Osmose Reversa. Fonte: Frischkorn (2009).

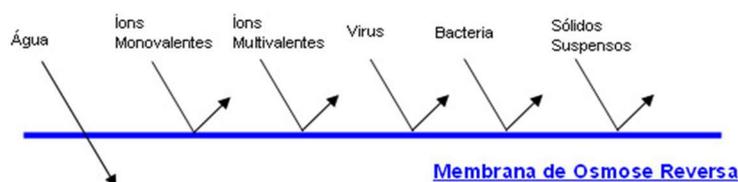


Figura 4: Representação da membrana de osmose reversa⁴.

Estratégias em sustentabilidade

A sobrevivência e o sucesso de uma organização estão diretamente relacionados à capacidade de atender às necessidades e às expectativas de seus clientes, as quais devem ser identificadas, entendidas e utilizadas para que os produtos possam ser desenvolvidos, criando o valor necessário para conquistá-los e retê-los. Por outro lado, para que haja continuidade em suas operações, a organização também deve atuar de forma responsável em relação à sociedade e às comunidades com as quais interage, contribuindo para o seu desenvolvimento socioambiental⁵ (BOECHAT et al., 2013).

Baseado nas dimensões econômica, social e ambiental, para que a sustentabilidade realmente aconteça, há necessidade de correlação entre estas três. Internacionalmente, essas dimensões são conhecidas como *Triple Bottom Line* (TBL) da sustentabilidade de um negócio (FDC, 2013). Em 1994, Elkington criou o TBL para auxiliar empresas, em seu desenvolvimento sustentável: prosperidade econômica, justiça social e proteção ao meio ambiente, dentro de suas operações principais e, essencialmente, fazendo o salto da sustentabilidade teórica para a prática.

O conceito TBL questiona e pondera sobre a necessidade de as empresas basearem suas decisões estratégicas neste tripé, onde deverão manter a sustentabilidade econômica do seu negócio, ao gerenciar empresas lucrativas e geradoras de valor. E também a sustentabilidade social, estimulando atividades ligadas à educação, cultura, lazer, bem-estar e justiça social da comunidade, onde a empresa está inserida. Além

⁴ <http://www.wgmsistemas.com.br/filtraoapormembranas.asp>

⁵ https://ibqp.org.br/wp-content/uploads/2016/10/Criterios_Compromisso_com_a_Excelencia_-_Nova_edicao.pdf

disso, é fundamental manter o cuidado com o meio ambiente, por meio de cuidados ambientais, envolvendo programas de reciclagem, preservação, entre outros. O TBL é um índice corporativo que se diferencia das demais por mensurar também as relações entre as dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, eco-social, socioambiental e eco-sócio-ambiental. Também adota o conceito de sustentabilidade do resultado triplo: melhorar o crescimento financeiro, reduzindo os impactos ambientais negativos e atendendo às expectativas da sociedade (SILVEIRA, 2013). Percebe-se que para uma organização estar plenamente conectada e alinhada com seus clientes é necessário que suas estratégias contemplem os ambientes econômicos, sociais e ambientais, conforme descrito na Figura 5.



Figura 5: A sustentabilidade em suas dimensões ambientais, sociais e econômico-financeiras. **Fonte:** Alledi (2003).

Além disso, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o Brasil tem objetivos de desenvolvimento sustentável a serem atingidos e estão ilustrados na Figura 6, abaixo.



Figura 6: Objetivos de desenvolvimento sustentável, no Brasil⁶.

Baseado nos três pilares fundamentais da sustentabilidade, é possível perceber que a utilização do equipamento de osmose reversa, com intuito de reduzir o consumo de água industrial, considera a parte econômica de redução do custo de água, reduz o consumo de uma fonte finita do planeta, é fundamental para a manutenção da existência humana e ainda contempla a parte social, que é a possibilidade de realizar iniciativas educacionais, visando a conscientização sobre o uso responsável da água.

METODOLOGIA

No cálculo do levantamento dos ganhos do projeto, além da redução do consumo de um recurso natural limitado, foi necessário calcular o lucro líquido que o projeto pode proporcionar, que é basicamente

⁶ <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

relacionado aos ganhos, considerados na Equação 1. Nessa equação, consideram-se os ganhos da seguinte forma: a quantidade de água que voltará como reposição da torre de resfriamento, adicionados à redução do custo do efluente, subtraídos do custo do tratamento do rejeito, produzido pelo equipamento de osmose reversa, e o custo adicional de energia elétrica consumidos pelo equipamento. Equação 1, fórmula do ganho mensal.

$$Gm = [((Vbd \text{ H2O} \times \varepsilon_{or} \times Cmu \text{ H2O}) + (Vre \times Cef)) - ((1 - \varepsilon_{or}) \times Vbd \text{ H2O} \times Cef) - (EE \times Cee)] \times 24 \times 30$$

Onde: Gm Saving mensal (ganho mensal) em reais (R\$); Vbd : Volume de água de *blowdown* que entra pela osmose reversa em m^3/h ; Cmu : Custo água de *make-up* em reais (R\$)/metro cúbico (m^3); ε_{or} : Eficiência de separação do equipamento de osmose reversa; Vre : Volume reduzido de efluente em metro cúbico (m^3)/hora (h); EE : Consumo de energia elétrica em kW/h; Cee : Custo de energia em R\$/MWh; Cef : Custo do tratamento do efluente em R\$/ m^3 . Obs: Na fórmula do ganho mensal, os valores 24 e 30 são para conversão do ganho, por hora, considerando ganhos por mês.

Na equação 2, é possível calcular o *payback*, que é uma ferramenta que define o tempo necessário para recuperar o capital investido (SEBRAE, 2004). Equação 2, equação de retorno do projeto com base no ganho mensal.

$$Payback = \frac{Investimento \ Total}{Lucro \ Líquido}$$

Com base na Equação 2, desenvolveu-se a Equação 3, para o *payback* do projeto proposto. Equação 3, equação de retorno do projeto com base no ganho mensal.

$$Pb = \frac{Cieq}{((Gm - Cmeq))}$$

Onde: $Cieq$: Custo do Equipamento em R\$; $Cmeq$: Custo mensal de manutenção do equipamento em R\$; Pb : *Payback* (tempo, em meses, para que o projeto seja pago).

RESULTADOS

A partir das Equações 2 e 3, realizou-se cálculo modelo, baseado em um sistema de torre de resfriamento, encontrado em uma unidade de separação de gases do ar, de uma empresa localizada no Estado do Rio de Janeiro, utilizando os parâmetros descritos: $Vbd = 25m^3/h$; $Cmu = 9,5 \text{ R\$/m}^3$; $\varepsilon_{or} = 82\%$; $Vre = 20,5m^3/h$; $Cef = 12,95 \text{ R\$/m}^3$; $EE = 0,75 \text{ MWh}$; $Cee = 250 \text{ R\$/MW}$; $Cieq = \text{R\$ } 400.000,00$; $Cmeq = \text{R\$ } 6.000,00$. Como pode ser observado na Equação 4, abaixo, o ganho mensal sugerido pela planilha ao imputar os dados seria de R\$ 152.404,00. Equação 4, ganho mensal baseado nos parâmetros do exemplo.

$$Gm = [(((Vbd \text{ H2O} \times \varepsilon_{or} \times Cmu \text{ H2O}) + (Vre \times Cef)) - ((1 - \varepsilon_{or}) \times Vbd \text{ H2O} \times Cef) - (EE \times Cee)] \times 24 \times 30 - Cpt \quad Gm = [((25 \times 0,82 \times 9,5) + (20,5 \times 12,95)) - ((1 - 0,82) \times 25 \times 12,95) - (0,75 \times 250)] \times 24 \times 30$$

$$Gm = [((194,75) + (265,47) - (58,27) - (187,5)) \times 24 \times 30] - 2000$$

$$Gm = 152.404,00 \text{ R\$}$$

Sendo assim, o *payback* sugerido é o apresentado a seguir, representado pela Equação 5. Equação 5, *Payback* com base nos parâmetros do exemplo.

$$Pb = \frac{Cieq}{((Gm - Cmeq))}$$

$$Pb = \frac{400.000}{((154.404 - 6000))}$$

$$Pb = 2,70 \text{ meses.}$$

A Figura 7 apresenta todas informações incluídas na planilha para a geração dos resultados já apresentados.

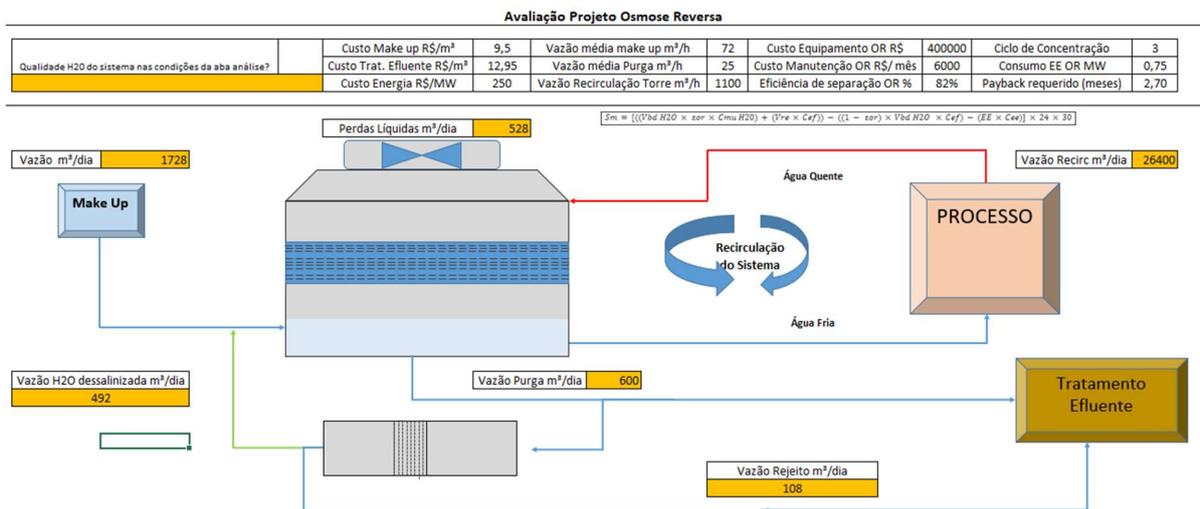


Figura 7: Planilha para geração de dados referente ao reaproveitamento da purga da torre de resfriamento, utilizando equipamento de osmose reversa.

A planilha apresentada como parte da Figura 7, é a geração de resultados para qualquer sistema de torres de resfriamento, com a utilização de tiragem mecânica do ar, por meio de ventiladores. Sendo assim, a empresa/indústria que decidir por utilizar o modelo matemático apresentado, precisará realizar, previamente, orçamentos de equipamentos de osmose reversa, além de levantamento de custos, já que estes parâmetros são específicos de cada unidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, é possível concluir que o método de osmose reversa é um caminho factível para as indústrias realizarem o aproveitamento das purgas de torres de resfriamento e com isso, retorná-las ao processo. Utilizando ferramentas que agilizam o processo de identificação do projeto e permitem um retorno financeiro rápido, por meio da avaliação entre o custo e o investimento para a execução do projeto. Com o avanço das indústrias em projetos visando a sustentabilidade, acredita-se que este é um excelente projeto, que atende as necessidades de redução de um recurso limitado em nosso planeta, como é o caso da água.

REFERÊNCIAS

ALLEDI, C. F.. **O tripé da sustentabilidade**. Trabalho de Conclusão do Curso (Especialização em Gestão de Negócios Sustentáveis) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2003.

BOECHAT, C.; LAURIANO, L. A.. **Abordagens para a Sustentabilidade nas Organizações**. Rio de Janeiro: FDC, 2013.

CUADRO, A. E. A.; SILVA, A. C.; ROCHA, G. F. R.; ALMEIDA L. L.; FREITAS, V. A.. Otimização de reuso de água na indústria farmacêutica. **Atas de Saúde Ambiental**, v.6, p.1-15. 2018.

DOMINGUES, A. M.; FRANCO, J. A. B.; AFRICANO, N. A.; BATTISTELLE R. A. G.. Tecnologias da indústria 4.0 como ferramentas disruptivas para auxiliar no reuso da água nas indústrias. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.3, n.3, p.1623. 2020.

FERRARO, R. J. S.. **Sistema de Osmose Reversa**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade São Francisco, Campinas, 2008.

FRISCHKORN, H.; NERO, J. L. R.. Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará. **Revista Tecnologia**, v.30, n.1, p.61-76, 2009.

GOUVEA, C. A. K.; BERRETTA; A. L. H.; BORZIO, R.; FOLLETO, M. A.. Uso de água tratada por osmose reversa para a Geração de vapor em indústria de tabaco. **Revista Produção Online**, v.12, n.2, p.522-536. 2012.

MONTEIRO, G. S.; SILVA, J. N.; LÔBO, H. L. L.. Simulação e análise de sistema de dessalinização via osmose reversa: considerações para análise da qualidade da água. **Centro Científico Conhecer-Enciclopédia Conhecer**, Goiânia, v.5, n.8, 2009.

SAMPAIO, F. S.. **Torre de resfriamento**: modelagem, simulação e testes experimentais para apoio ao ensino de engenharia mecânica, Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

TORRES, T. L.; OLIVEIRA, J. C.; BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; HENKES, J. A.. **Gestão do uso da água na indústria**: aplicação do reuso e recuperação. Florianópolis: 2018.

TROVATI, J. **Tratamento de água de resfriamento**. 2004.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157735134080794625/>