

REDUÇÃO DO VOLUME DE UM RESÍDUO UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA

Beatriz Menossi Ribeiro - beamenossi@hotmail.com

Gabriela Maria Caixeta Campioto - gabriela_caixeta@hotmail.com

Carolina Orrú Lucatelli - lucatelli.carol@gmail.com

Prof. Dr. Paulo Roberto Alves Pereira - prapereira@hotmail.com

Engenharia Química

CENTRO UNIVERSITÁRIO DAS FACULDADES ASSOCIADAS DE ENSINO - FAE

São João da Boa Vista- SP, Brasil

Abstract—The main objectives of this work were to design and build a pilot-scale plant for the pretreatment of a liquid waste, using renewable solar energy to trigger a simple physical phenomenon that is the evaporation of water, besides evaluating the costs associated with the operation of this. To achieve this purpose, a methylene blue dye solution was produced in the laboratory to represent a liquid effluent typical of companies that use chemical dyes in their processes. The results demonstrated the effectiveness of the pilot plant in reducing the volume of water present in the solution, reducing the effective amount of effluent (concentrate dye) to be sent for treatment or final disposal. A set of positive factors associated with reduced operating costs, use of clean renewable energy, sustainable technology and increased supply of reuse water or industrial process were observed.

Keywords---*Treatment of Liquid Effluents; Solar energy; Clean Technologies; Sustainable Technologies.*

INTRODUÇÃO

Desde o início da industrialização, as empresas são grandes geradoras de resíduos provenientes de seus processos produtivos. Considerando-se que estes resíduos não podem ser descartados de maneira incorreta, uma vez que podem impactar adversamente o meio ambiente e agredir a saúde da população, sob a ótica da responsabilidade penal, é dever de qualquer entidade geradora de resíduo, que a sua disposição ocorra de maneira apropriada.

Um dos métodos que pode ser empregado para o pré-tratamento dos resíduos líquidos (homogêneos e heterogêneos), como uma alternativa econômica ambientalmente e socialmente adequada é a evaporação. Este método permite a separação da água (solvente volátil) do resíduo sólido (soluto não volátil), diminuindo a quantidade de efluente líquido para disposição ou tratamento, uma vez que grande parte da água se evapora. Assim, o processo de evaporação é atrativo economicamente devido a redução dos custos de tratamento do efluente e também pode ser visto como um aliado do meio ambiente, fornecendo vapor a ser condensado e reutilizado em sua forma líquida para outros fins. O lodo gerado ao final do pré-tratamento deverá ter um destino correto, como por exemplo, a incineração, um dos métodos mais empregados atualmente.

No caso das empresas que não possuem um sistema próprio para o tratamento de efluentes líquidos gerados em seus processos produtivos, essa atividade é normalmente realizada por empresas terceirizadas que cobram por metro cúbico de efluente tratado e os destinam corretamente. “Portanto, ao contar com os serviços das empresas de tratamento de resíduos líquidos, os clientes estão não só se beneficiando e se adequando às normas, como também auxiliando diretamente a minimizar esse impacto causado ao meio ambiente” (ECOVALLORE, 2018, p.1). Se esse serviço não é contratado, o efluente líquido deve ser armazenado em recipientes adequados e reservados em local apropriado na empresa, até que a destinação correta seja adotada, pois o descarte in natura no meio ambiente pode causar impactos adversos significativos.

Segundo Willard (2014, p.4), “fazer negócios inteligentes é incorporar a sustentabilidade nas estratégias e operações”. Ou seja, seguir o caminho sustentável está cada vez mais fácil e mais vantajoso. Nesse sentido, uma das formas mais atrativas para melhorar os processos de utilização de recursos e de destinação de resíduos líquidos de uma empresa, consiste em: disseminar a necessidade de se buscar a sustentabilidade econômica e ambiental, pautada no uso de recursos “limpos e renováveis”, para amenizar os riscos ambientais, preservar o meio ambiente e promover a conscientização dos colaboradores envolvidos sobre os problemas causados pela disposição incorreta dos efluentes.

No contexto da sustentabilidade, a utilização de fontes renováveis como a energia solar tem se expandido muito, mesmo apresentando custo inicial mais elevado, pois representam menor custo ao longo do tempo e geram maior economia para os consumidores em relação aos custos inerentes ao uso da energia elétrica. (ABSOLAR, 2016)

Segundo Kraemer et al. (2013, p.10), “o que caracteriza o impacto ambiental, não é qualquer alteração nas propriedades do ambiente, mas as alterações que provoquem o desequilíbrio das relações constitutivas do ambiente”. Assim, as empresas, sendo responsáveis pelo tratamento ou destinação correta de seus efluentes líquidos, buscam alternativas tecnológicas economicamente e ambientalmente viáveis, para realizar a disposição final de seus resíduos líquidos de forma sustentável, da mesma forma que os órgãos ambientais as fiscalizam rigorosamente, como definido na Resolução

430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (BRASIL, 2011)

Uma das alternativas para a redução dos custos associados ao tratamento de efluentes líquidos gerados não só pelas indústrias têxteis, mas de outros segmentos, é o uso de recursos “limpos e renováveis”. Por exemplo, as placas fotovoltaicas podem ser utilizadas para captar a luz solar, a qual pode ser convertida em energia elétrica para promover a evaporação da água do efluente líquido por aquecimento. Conseqüentemente, a evaporação promoverá a redução do teor de água presente no efluente líquido e, naturalmente, do volume do mesmo, a ser enviado para tratamentos convencionais, como o lodo ativado. Assim, menor volume de efluente líquido a ser tratado sem alterar a carga de sólidos e menor custo operacional envolvido (BARTMER et al., 2017). Essa alternativa representa uma forma adequada e menos agressiva de tratamento de resíduos líquidos (principalmente quando este não possui gases tóxicos voláteis), que contribui para a manutenção da preservação ambiental.

As opções para o aquecimento solar por placas fotovoltaicas de silício são bastante diversificadas no mercado, de modo que parte considerável da população tem investido para economizar energia, mesmo com o alto custo deste produto. O uso de placas fotovoltaicas é muito favorável para o meio ambiente, pois minimiza os impactos adversos que possam afetá-lo (ANEEL, 2005). De acordo com Esposito & Fuchs (2013, p.85-114), “nos mercados desenvolvidos, os aumentos da demanda e da escala de produção e o desenvolvimento tecnológico viabilizaram a redução de preços e, em decorrência, a expansão do uso dessa fonte de energia limpa”, ou seja, a energia solar via placas fotovoltaicas. Dentre as aplicações da energia solar obtida via placas fotovoltaicas está o tratamento de efluentes líquidos. Um sistema típico de energia solar fotovoltaica consiste em três elementos básicos: módulos fotovoltaicos, controladores de carga e baterias, quando necessário. (MAAMAR, 2016)

Esta pesquisa teve como objetivo dimensionar e construir em escala piloto, uma planta para o pré-tratamento sustentável do resíduo líquido de um laboratório químico, operada a partir de fonte de energia solar, captada com o auxílio de uma placa fotovoltaica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto propôs o dimensionamento e a construção de uma planta piloto laboratorial, para a evaporação de água contida em efluentes líquidos, como subsídio inicial para o aumento de suas dimensões em escala industrial. Os materiais utilizados neste projeto foram: placa fotovoltaica de 330 Watts (12 Volts, 2,0x1,0 metros), trompa d'água, bateria (12 Volts), controlador de carga (520 W) Erlenmeyer, condensador, mangueiras, termômetro, ebulidor (12 Volts e 120 W), bomba (12 Volts), balão volumétrico de 1000 mL e uma solução contendo água destilada e corante azul de metileno a 0,018% molar, para simular o efluente líquido em laboratório. O corante azul de metileno foi a substância manipulada para a verificação da eficiência do método empregado, podendo o

mesmo ser substituído por outras espécies de corantes em novos testes.

A Figura 1 demonstra o esquema ilustrativo da planta piloto, que foi instalada no laboratório de Química do Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino – FAE, em São João da Boa Vista - SP.

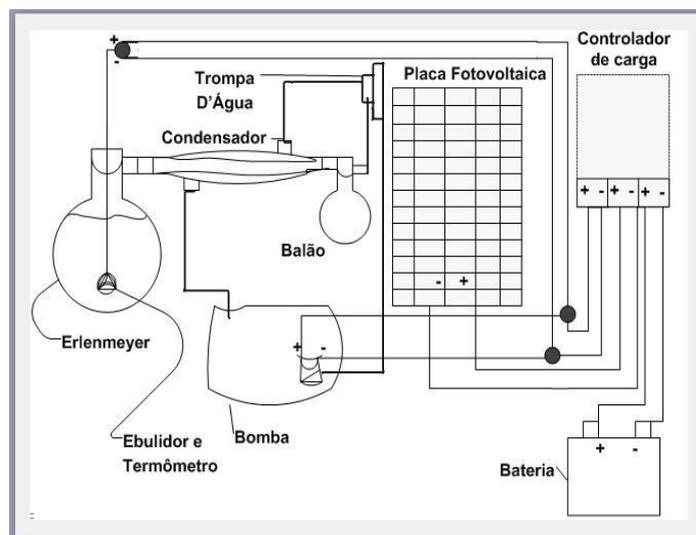


Fig. 1. Planta Piloto do Projeto.

O funcionamento da planta tem início com a captação de energia solar por meio da placa fotovoltaica, instalada com uma inclinação de 20°, voltada para o norte. Parte da energia solar coletada durante o dia é armazenada na bateria para uso noturno. Portanto, faz-se necessário conhecer o nível de irradiação solar incidente na cidade de São João da Boa Vista-SP, pois esse indicador foi a base dos estudos para a determinação da quantidade mínima de energia elétrica a ser armazenada, a partir da coleta de energia solar. As informações sobre o nível de irradiação solar foram obtidas através das medições meteorológicas disponibilizadas pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (Ciiagro). É importante ressaltar que as variáveis meteorológicas como a incidência da radiação solar, interferem na captação de energia pela placa fotovoltaica.

Uma vez que haja energia proveniente da placa fotovoltaica para uso diurno ou armazenamento na bateria para a operação no período noturno, o funcionamento da planta piloto prevê o aquecimento do efluente líquido através de um ebulidor.

Os testes na planta foram realizados com uma solução de água destilada e o azul de metileno em pó, formando uma substância homogênea. Como a água destilada é pura e livre de minerais, alcança o ponto de ebulição com temperaturas menores do que a água tratada convencionalmente ou presente em efluentes líquidos. Assim, a elevação da temperatura do efluente até a temperatura de ebulição da água contida no sistema, não promove o arraste e nem a evaporação do corante devido ao seu maior ponto de ebulição, e permite a evaporação da água presente na solução.

Após o processo de evaporação da água destilada da solução com o corante, o vapor d'água passa pelo processo de

condensação, voltando para o estado líquido. O condensador utilizado nesta etapa está ligado ao Erlenmeyer onde a evaporação ocorre. O vapor é resfriado pela água de torneira (impulsionada continuamente por uma bomba) via contato indireto entre as paredes de vidro do condensador, o qual está conectado a um balão volumétrico e a uma trompa d'água, com o intuito de baixar a pressão atmosférica e otimizar o tempo de resfriamento.

Pela praticidade e limitações na disponibilidade de energia limpa, o sistema de aquecimento escolhido foi um ebulidor portátil de baixa potência, no entanto, em escala industrial, este aparato poderá ser substituído por uma resistência elétrica de maior potência movida a energia limpa, ou vapor proveniente de uma caldeira, por exemplo. O ideal é que o efluente líquido seja levado à uma temperatura capaz de promover somente a evaporação da água presente e reduzir a quantidade de lodo, retido no aparato de sedimentação.

Os ensaios foram realizados em dez dias, do 12:00 às 20:00 horas, para permitir a análise do comportamento de todo o processo no decorrer do dia e início da noite, apresentando neste os resultados do melhor período analisado. No início da operação foram coletados dados experimentais dos ensaios a cada 10 min e após a primeira hora a cada 30 min, das seguintes variáveis: temperatura da solução, tempo de operação, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e radiação solar.

Durante a operação da planta, trabalhou-se com uma bomba em processo contínuo para manter uma vazão constante de 0,08561 L/s. Foi possível manter a vazão constante da água de resfriamento devido a utilização de um reciclo para retornar à água do condensador ao reservatório. Essa estratégia provocou um leve aumento na temperatura da água de resfriamento de 24°C para 26°C, no entanto, este aumento foi insuficiente para prejudicar a etapa de condensação do vapor.

A quantidade de água evaporada/condensada e coletada no balão volumétrico foi medida ao final dos ensaios. Para analisar a qualidade da água coletada foi utilizado um peagâmetro para medir o pH e um turbidímetro para verificar a turbidez.

Também ao final dos ensaios foi possível analisar a contribuição da planta piloto em termos de economia de energia elétrica e, conseqüentemente, de redução de custos operacionais. Todos os cálculos tiveram como base o valor de energia elétrica atual, sobre o qual incide o índice de tarifa vermelha aplicada ao mês de operação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo estão disponíveis no site da CIIAGRO e estão referenciando apenas ao melhor dia de resultados, apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Valores Meteorológicos.

Hora	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade Relativa (%)	Radiação Solar (w/m ²)	Temperatura da Solução (°C)
12:00	29,5	38,5	800	22
12:10	29,5	38,5	800	27
12:20	29,5	38,5	800	32
12:30	29,5	38,5	800	40
12:40	29,5	38,5	800	50
12:50	29,5	38,5	800	58
13:00	29,9	36,3	774	66,5
13:30	29,9	36,3	774	72
14:00	30,7	32,1	740	77,5
14:30	30,7	32,1	740	80
15:00	31	30,9	615,3	82
15:30	31	30,9	615,3	82
16:00	31,3	30,9	439,8	82
16:30	31,3	30,9	439,8	82,5
17:00	30,8	31,6	246,5	82,5
17:30	30,8	31,6	246,5	82,5
18:00	30,1	31,5	68,9	82,5
18:30	30,1	31,5	68,9	82,5
19:00	26,1	44,3	0,9	82,5
19:30	26,1	44,3	0,9	83,0
20:00	23,0	53,5	0,0	83,0

Fonte: CIIAGRO, (2018).

De acordo com a quadro 1, percebe-se que quanto maior for a temperatura, menor a umidade do ar entre às 13:00 até 18:30h. O índice de radiação solar diminuiu no decorrer do dia, sendo o nível mais alto por volta das 12:00h. Por sua vez, a temperatura da solução foi aumentando até às 16:30h e depois estabilizou-se, chegando ao ponto próximo de ebulição da água destilada utilizada, que é de 82°C.

O volume inicial da solução utilizado nos ensaios foi de 300 mL. Após o processo de evaporação e condensação o volume final foi reduzido para 170 mL, ou seja, houve uma redução de 43,33% em relação ao volume d a solução inicial.

A análise da qualidade da água coletada do balão volumétrico indicou um pH de 6,5 e uma turbidez de 4,61, não ocorrendo alterações da água utilizada no preparo da solução. Portanto, a água coletada após a condensação é apropriada para reutilização, ou seja, está livre de impurezas, não trazendo riscos sanitários, nem prejuízos à qualidade de da água.

O quadro 2 ilustra a potência dos equipamentos utilizados na planta piloto e as informações sobre o respectivo consumo destes equipamentos.

Quadro 2. Potência dos Equipamentos da Planta e Informações de Consumo.

Potência		Consumo	
Ebulidor	0,12 kW	Tempo	8,00 h
Bomba d'água	0,049 cv	Consumo de energia (kWh)	1,25 kWh
Bomba d'água	0,036 kW	Valor atual do kWh	R\$ 0,80
Total	0,156 W	Economia	R\$ 1,00

Fonte: Elaborada pelo Autor, (2018).

É importante enfatizar que a planta foi dimensionada para pequenas proporções em seu dimensionamento, em concordância com a baixa potência dos equipamentos, para um baixo consumo de Watts. Por isso, a captação de energia solar para a operação da planta foi pequena, sendo o consumo energético do controlador de carga desprezado.

O cálculo do consumo energético dos equipamentos do quadro 2 foi baseado nos valores de cobrança normal da rede elétrica da região, porém a economia representa o valor economizado para a operação da planta através do uso de energia fotovoltaica, em substituição à energia da rede. Assim, o resultado operacional em termos técnicos e econômicos da planta piloto apresenta fortes argumentos para inferir que uma ampliação em escala industrial seja capaz de promover a evaporação de grandes volumes de água presentes no efluente líquido, com efetividade através do uso de energia renovável limpa, em comparação com a tradicional energia elétrica, mais cara. Constatou-se que a economia obtida foi significativa da ordem de 100% em relação aos custos inerentes ao uso da energia elétrica convencional. Deste modo, um eventual aumento de escala pode representar uma redução significativa no consumo de energia elétrica e dos custos associados, além do aumento da oferta de água de reuso ou de processo, tornando a operação via energia solar muito atrativa.

O principal objetivo deste trabalho foi dimensionar, construir e avaliar os custos associados à operação de uma planta em escala piloto, para o pré-tratamento de um resíduo líquido, empregando a energia solar renovável para desencadear um fenômeno físico simples, a evaporação da água. Para atingir a este propósito foi produzida em laboratório uma solução de corante azul de metileno para representar um efluente líquido típico de empresas que usam corantes químicos em seus processos. Os resultados demonstraram a efetividade da planta piloto na redução do volume de água presente na solução, reduzindo a quantidade efetiva de efluente (corante concentrado) a ser enviado para o tratamento ou disposição final. Foi observado um conjunto de fatores positivos associados à redução de custos operacionais, uso de energia renovável limpa, tecnologia sustentável e aumento da oferta de água de reuso ou processo industrial.

CONCLUSÕES

Acredita-se que os principais objetos deste estudo tenham sido alcançados com sucesso. Foi dimensionada e construída uma planta em escala piloto para o pré-tratamento de um efluente líquido, empregando a energia solar renovável para promover a evaporação da água presente nesse efluente. Também foi possível avaliar os custos associados à operação da planta piloto.

Como resultado da operação da planta piloto, esta apresentou efetividade tecnológica sustentável e operacional. Possibilitou a obtenção de um volume reduzido de resíduo sólido úmido e concentrado após a evaporação da água presente no efluente. Pode-se inferir que este fato pode representar uma redução de custos e maior preservação ambiental para as empresas que geram efluentes com características similares ao utilizado neste estudo, mas

possuem dificuldades tecnológicas e econômicas para realizar o tratamento e ou a disposição adequada de seus resíduos industriais.

A avaliação dos custos associados à operação da planta piloto via energia solar, quando comparada a operação da planta via energia elétrica convencional, demonstrou que há uma redução significativa de custos sem que haja o comprometimento operacional da planta. Pois, o pré-tratamento do efluente líquido, além de gerar um menor volume de resíduo sólido úmido e concentrado, produz uma quantidade de água evaporada/condensada que poderá representar um aumento na oferta de água de reuso ou de processos industriais à empresa. E ao mesmo tempo, poderá representar uma diminuição na demanda de água a ser suprida pelo setor de tratamento de água, impactando positivamente os custos operacionais.

Portanto, pode-se inferir que os resultados e as conclusões descritas neste trabalho representam contribuições científica e tecnológica significativas, e podem ser utilizados como subsídios por empresas que buscam soluções operacionais para a redução de custos e de impactos ambientais adversos, através do uso de energias limpas e tecnologias sustentáveis.

De qualquer forma, embora a operação da planta em escala piloto tenha apresentado resultados considerados positivos e viáveis, um aumento de escala para o nível industrial demandará estudos adicionais para a definição de espaço físico e localização para a instalação da planta, onde haja bons índices de irradiação solar, para que o aproveitamento energético seja suficiente e eficaz. Além disso, naturalmente que os equipamentos necessários à planta devem sofrer um aumento de escala ou ser substituídos de acordo com os requisitos de uma operação industrial.

Também é fundamental a correta caracterização do efluente líquido, uma vez que a presença de gases voláteis dissolvidos no efluente, dependendo do seu ponto de ebulição, podem evaporar e se condensar juntamente com a água, contaminando-a. Neste caso, deve ser realizada um estudo adicional de viabilidade técnica e financeira para a correta destinação desta água, antes de sua utilização.

REFERÊNCIAS

- [1] Tratamento de resíduos. Disponível em <<http://www.ecovallore.com.br/empresas-tratamento-residuos-liquidos>>. Acesso em 3 de julho de 2018.
- [2] WILLARD, Bob. Como fazer a empresa lucrar com sustentabilidade. São Paulo: Saraiva, 2014.
- [3] Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Geração Distribuída Solar Fotovoltaica. Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE. Rio de Janeiro, 2016.
- [4] KRAEMER, M. E. P.; Behling, G.; Rebelo, H. M.; Goede, W. Gestão Ambiental e Sua Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013.
- [5] Conama. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 5 de agosto de 2018.

2018 Brazilian Technology Symposium

- [6] BARTMER, L.; Furman, L. P.; Medeiros, C. O. F. ; Bueno, K. L. ; Souza, T. R. Redução do volume de um resíduo de azul de metileno utilizando energia solar. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2017.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Atlas da Energia Elétrica do Brasil. Brasília – DF, 2005. 2ª Edição.
- [8] ESPOSITO, A. S.; Fuchs, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. Revista do BNDES, v. 40, pp. 85-114, dezembro 2013, in press.
- [9] OUALI, M.; Djebiret, M. A.; Ouali, R.; Mokrane, M.; Merzouk, N. K.; Bouabdallah, A. Thermal control influence on energy efficiency in domestic refrigerator powered by photovoltaic. International Journal of Hydrogen Energy. Algeria, p.2, june 2016, in press.