

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

USO DE FOTORREACTORES SOLARES NA PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: protótipo de um CPC.

CARVALHO, Nathália Aquino de¹; BARBOSA SEGUNDO, Inalmar Dantas; ROCHA, Elisângela Maria Rodrigues.

RESUMO - Ações antropogênicas como práticas agrícolas e disposição incorreta de resíduos líquidos e sólidos de natureza industrial ou doméstica geram problemas relacionados à qualidade da água, que é definida com base nos fins a que ele se destina, podendo esse ser de uso consuntivo ou não-consuntivo. No Nordeste brasileiro, os índices elevados de insolação, principalmente nas regiões centrais da região, proporcionam aplicações de fotorreatores solares no tratamento de efluentes. Os reatores fotocatalíticos contêm o fluido e o catalisador, suportam pressões moderadas e transmitem a luz UV eficientemente. Os POA são novas tecnologias que se mostram vantajosas e promissoras no tratamento de águas residuárias e efluentes industriais, principalmente quando são associados ao aproveitamento da radiação solar, tornando-se uma alternativa limpa na descontaminação desses efluentes. Essa proposta tem sido amplamente estudada, tendo em vista seu baixo custo, principalmente em países com elevado grau de insolação, como o Brasil. Este trabalho, com base na revisão de literatura, enfatiza os aspectos favoráveis ao uso de fotorreatores solares visando a proteção dos recursos hídricos e apresenta o dimensionamento de um CPC em escala experimental.

Palavras-Chave: Fotorreatores Solares, Processos Oxidativos Avançados, Recursos Hídricos.

ABSTRACT - Anthropogenic activities such as farming practices and improper disposal of waste liquids and solids from industrial or domestic sources create problems related to water quality, which is defined based on the purposes for which it is intended, this may be of consumptive use or non-consumptive. In northeastern Brazil, the high levels of solar radiation, mainly in the central region, provide the application of solar photoreactors in wastewater treatment. The photocatalytic reactors contain the fluid and the catalyzer, support moderate pressures and transmit UV light efficiently. AOP are new technologies proved as viable and promising for the treatment of wastewater and industrial effluents, especially when associated with solar radiation, presenting as a clean alternative for decontamination of these effluents. This proposal has been widely studied due to its low cost, principally in countries with high insolation, such as Brazil. This work, based on the literature review, emphasizes the favorable aspects to the utilization of solar photoreactors in order to protect water resources and also presents the design of a CPC on an experimental scale.

Keywords: Solar Photoreactors, Advanced Oxidation Processes, Water Resources.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural extremamente importante, sendo um elemento fundamental para a composição dos seres vivos, meio de vida para grande parte da vida na Terra, elemento

¹ Universidade Federal da Paraíba: Cidade Universitária - João Pessoa - PB - Brasil - CEP: 58051-900, Fone: +55 (83) 8885-1101, nathalia_aq@hotmail.com.

representativo de valores socioculturais e fator de produção de bens de consumo e produtos agrícolas.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357, a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco a natureza.

Com a mudança do pensamento sobre o modo de produção capitalista, entendendo o meio ambiente como fonte limitada de matéria-prima, inicia-se uma série de estudos científicos no meio acadêmico mundial a fim de melhorar a gestão dos recursos naturais. Essas pesquisas são utilizadas como importante ferramenta no desenvolvimento de novas tecnologias, que, em conjunto com mudanças na legislação e com medidas restritivas por parte dos governos, têm ajudado a melhorar o cenário mundial em relação à saúde do meio ambiente, mesmo que a passos curtos. No Brasil, por exemplo, a Política Nacional do Meio Ambiente, atuante pela Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, em seu artigo 2º, determina como um de seus princípios, os "incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para uso racional e a proteção dos recursos ambientais", e como um de seus objetivos, no artigo 4º, "à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, a divulgação de dados e informações ambientais e a formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e o equilíbrio ecológico".

A remoção de poluentes orgânicos no meio ambiente tem sido um grande desafio tecnológico, pois, inúmeras vezes, tecnologias de tratamento convencionais não são capazes de fazê-lo eficientemente. Assim, um campo de estudo que vem sendo explorado por pesquisadores de todo o mundo retrata a possibilidade de reciclagem da água através da inviabilização da carga poluente, empregando Processos Oxidativos Avançados, os POA (DUARTE *et al.*, 2005). De acordo com Pascoal (2007), tal processo se dá através de técnicas que se aplicam eficazmente no tratamento de compostos recalcitrantes, ou seja, são capazes de eliminar compostos resistentes aos tratamentos primário (físico e químico) e secundário (biológico), podendo ser aplicadas a compostos inorgânicos ou orgânicos (biodegradáveis e não biodegradáveis).

Os POA necessitam de um sistema que favoreça o processo de degradação dos poluentes e neste caso utiliza-se reatores ou fotorreatores. O uso desses reatores ou fotorreatores requerem conhecimento de variáveis operacionais como: a concentração dos poluentes que serão investigados, fluxo de vazão do sistema, a operação do sistema em batelada ou fluxo contínuo, qual a fonte de radiação ultravioleta (UV) quando necessário, o pH do efluente, etc.

No caso dos fotorreatores solares a radiação solar da região é um fator crucial para sua aplicação pois esses sistema deverão ser dimensionados visando o melhor aproveitamento da fonte de energia solar. A disponibilidade de radiação solar depende das condições atmosféricas

(nebulosidade, unidade relativa do ar, etc) e da energia total incidente sobre a superfície terrestre, que depende da latitude do local e da posição do sol no tempo.

Entretanto os fotorreatores solares apresentam a grande vantagem de utilizar uma fonte de energia limpa, que associada aos processos de oxidação avançada minimizam os impactos negativos ao meio ambiente sem gerar novos poluentes

A relevância desse trabalho consiste em disseminar informações a respeito do uso da energia solar em reatores destinados ao tratamento de compostos orgânicos presente em efluentes recalcitrantes, bem como o dimensionamento de um fotorreator solar do tipo CPC, em escala experimental como parte do projeto de pesquisa que esta em andamento na Universidade Federal da Paraíba

1. FOTORREATORRES SOLARES

Analisando a literatura, observa-se a existência de dois tipos de fotorreatores: os que utilizam-se da radiação ultravioleta proveniente de fontes artificiais, e os abastecidos pela fonte natural, o Sol. Sobre a radiação solar, Martins *et al.* (2004, p. 146) relata:

“A radiação solar constitui a principal força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos em nosso planeta. A energiaproveniente do Sol chega até a superfície propagando-se como energia radiante ou, simplesmente radiação. A principal característica de um campo de radiação é a radiância (ou intensidade de radiação). Essa grandeza se refere à quantidade de energia radiante num intervalo unitário de comprimento de onda que atravessa uma unidade de área tomada perpendicularmente à direção considerada, na unidade de tempo.”

Ao contrário de países localizados longe da linha do Equador, onde a insolação anual é bastante irregular, no Brasil, é vantajoso trabalhar-se com a radiação natural do Sol já que a maior parte do país localiza-se em uma faixa de latitude onde é intensa a incidência de radiação quase todo o ano. Visto isso, entende-se que a radiação proveniente do Sol é de menor custo, além de ser renovável, quando comparado às fontes artificiais de UV, como lâmpadas.

Além disso, PASCOAL *et al.* (2007), afirma que a energia proveniente do Sol mostra-se mais eficiente que a energia das luzes artificiais em todos os parâmetros analisados em seu trabalho (DQO, turbidez, SST e SSV), como pode ser visto na Figura 1, em que a cinética da reação na análise de DQO mostra que a radiação UV oriunda do Sol é mais rápida e eficiente do que a das lâmpadas utilizadas.

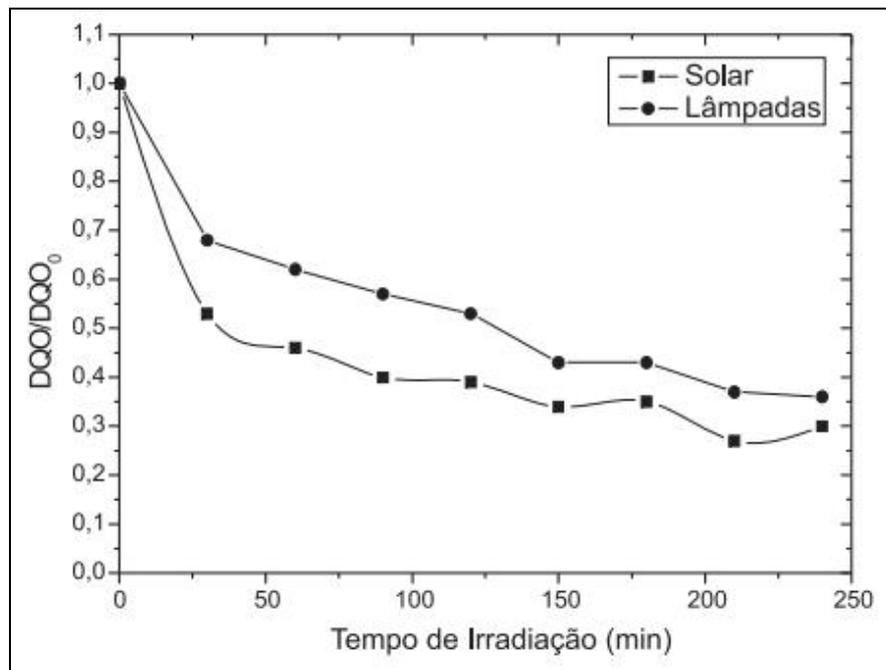


FIGURA 1: Remoção relativa de DQO dos experimentos feitos com radiação solar e com lâmpadas germicidas.

Fonte: Pascoal et al, 2007.

De acordo com Malato *et al* (2004), o reator fotocatalítico deve conter o fluido e o catalisador, suportar pressões moderadas e transmitir a luz UV eficientemente. O material do reator deve ser inerte, tendo em consideração os químicos agressivos (principalmente os radicais hidroxila) que circulam no seu interior. Dentre vários fatores, incluindo o fator econômico, o material mais indicado é o vidro com baixo teor de ferro, que é o caso do vidro de borossilicato.

Segundo Rocha (2010), a tecnologia fotocatalítica solar pode ser definida como aquela que capta eficientemente os fótons solares para um reator específico, de modo a promover reações catalíticas, sendo tal equipamento, denominado como coletor solar. Dependendo do grau de concentração, que está diretamente relacionada com a temperatura atingida pelo sistema, os coletores são classificados por Malato *et al.* (2004) nos três seguintes grupos:

- I - Coletores não concentradores, de baixa concentração ou de baixa temperatura;
- II - Coletores de média concentração ou média temperatura;
- III - Coletores de elevada concentração ou elevada temperatura.

Coletores solares não concentradores são estáticos e não possuem mecanismos de procura do sol, possuindo assim, vantagens como a simplicidade e o baixo custo. São usualmente placas planas direcionadas à inclinações específicas que dependem da localização geográfica. Deste modo, a captação anual da energia solar é maximizada quando o grau de inclinação com o solo coincide com a latitude do local. No Nordeste brasileiro, segundo Funari e Tarifa (1984), os índices elevados

de insolação (3000hs/ano) são explicados pela baixa nebulosidade, principalmente nas regiões centrais da região. Ainda de acordo com eles, a radiação solar global e a radiação líquida também apresentam valores máximos de 450 e 250 ly/dia, respectivamente. Dessa forma, fica evidente a eficácia na aplicação de concentradores solares na maior parte da região Nordeste.

Os coletores de média concentração permitem concentrar a energia solar entre 5 e 50 vezes, necessitando assim, de sistemas de procura de sol, sendo mais caros que os coletores não concentradores (MALATO *et al.* 2004). Já os coletores parabólicos compostos (CPC) constituem um tipo de coletor de baixa concentração, que combinam as características dos concentradores parabólicos e dos sistemas estacionários, uma vez que concentram a radiação, conservam as propriedades dos coletores estáticos e utilizam a radiação difusa. Desta forma, os CPC possuem as vantagens de ambas as tecnologias e nenhuma das desvantagens, sendo considerados como a melhor opção para a aplicação de processos fotocatalíticos baseados no uso da radiação solar (MALATO *et al.*, 2009, *apud* ROCHA, 2010).

Duarte *et al* (2005) também cita os reatores CPC em seu trabalho afirmando que "embora não concentrem a radiação solar incidente, sobressaem-se pelo seu baixo custo, por não necessitarem de partes móveis, serem de fácil instalação e manutenção, e apresentarem bom aproveitamento da radiação solar incidente, inclusive das componentes difusas." Ainda de acordo com Duarte, os reatores que têm sido empregados na descontaminação fotocatalítica de águas residuárias usando radiação solar, quanto à forma como o efluente a ser tratado circula através do reator, podem ser classificados em três: vaso agitado, filme corrente ou tubular. Já quanto ao modo como o catalisador é aplicado, pode ser dividido em dois grupos: em suspensão (dissolvido na solução) ou imobilizado (fixo em alguma parte do reator).

Bandala *et al* (2004) afirma em seu trabalho a existência de quatro diferentes fotoreatores solares para a fotocatalise heterogênea: o concentrador parabólico (CP), um coletor tubular (CT), um coletor parabólico composto (CPC), e um coletor em formato de “V-calha” (CV).

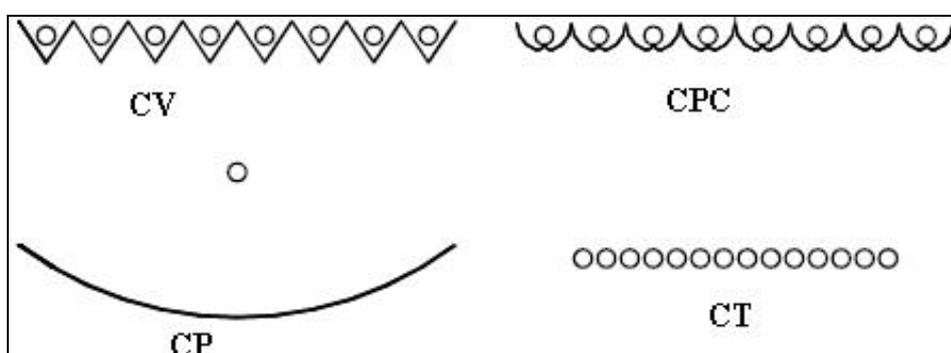


FIGURA 2: Seções transversais dos tipos de reatores

Fonte: Adaptado de Bandala et al (2004)

Assim como os autores anteriormente citados, Bandala (2004) afirma que o CPC mostrou o melhor desempenho em relação aos demais quando se trata de acumulação de energia.

Os CPC são coletores estacionários com uma superfície refletora ao redor de um tubo reator cilíndrico, como pode ser visualizado no protótipo da Figura 3. Eles são conhecidos por produzir a melhor ótica para sistemas de baixa concentração e podem ser desenhados com uma taxa de concentração de radiação solar próxima à unidade. A vantagem do sistema CPC solar está em sua simplicidade intrínseca, a qual está também relacionada ao custo-benefício, a facilidade de uso e ao baixo requerimento de investimento de capital.



FIGURA 3: Protótipo de CPC (100 m²) para fotocatalise instalado em uma fábrica na Espanha.

Fonte: ROBERT e MALATO (2002)

2. FOTORREADORES E OS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Os POA são novas tecnologias se mostram vantajosas e promissoras no tratamento de efluentes, pois conduzem a produtos finais mineralizados, ou seja, compostos orgânicos oxidados a CO₂, H₂O e ânions inorgânicos. A oxidação desses compostos pode ser realizada de modo rápido e não seletivo através de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais hidroxila (Teixeira e Jardim, 2004)

Uma grande vantagem de se trabalhar com os POA é a utilização do aproveitamento da radiação solar no tratamento de efluentes. Essa proposta tem sido amplamente estudada, tendo em vista seu baixo custo, principalmente em países com elevado grau de insolação, como o Brasil. A tecnologia já se encontra disponível, porém, infelizmente, embora projetos-piloto de tratamento em larga escala tenham comprovado sua viabilidade, a aplicação prática tem sido vista com excessiva

cautela pelos reais interessados. Por essa razão, projetos com o envolvimento de potenciais usuários são importantes no sentido de reduzir as barreiras à sua implementação (DUARTE *et al.*, 2005).

Os tipos de POA podem ser visualizados no Quadro 1. Eles são divididos em dois grupos: heterogêneos – os que contam com a presença de catalisadores sólidos –, e homogêneos – os demais (Teixeira e Jardim, 2004). O Quadro 1 menciona alguns desses métodos com suas respectivas vantagens e desvantagens.

Quadro 1 – Sistemas típicos de processos oxidativos avançados

SISTEMAS HOMOGÊNEOS	COM
	O ₃ /UV
	H ₂ O ₂ /UV
	FEIXE DE US
	H ₂ O ₂ /US
SISTEMAS HOMOGÊNEOS	SEM
	O ₃ /H ₂ O ₂
	O ₃ /OH ⁻
	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ (fenton)
	COM
SISTEMAS HOMOGÊNEOS	TiO ₂ /O ₂ /UV
	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV
	SEM
	ELETRO-FENTON

Fonte: Huang *et al.* (1993) *apud* Teixeira e Jardim (2004)

Entre os sistemas homogêneos sem irradiação destaca-se o reagente Fenton, processo em que há geração de radicais hidroxila a partir da decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio em meio ácido, utilizando-se íons ferrosos como catalisador (DANTAS, 2005). É um processo vantajoso, pois tanto o peróxido de hidrogênio quanto os íons ferrosos são reagentes baratos e seguros (UMAR *et al.*, 2010).

A combinação do reagente Fenton com a radiação ultravioleta é chamada de foto-Fenton, sistema homogêneo com irradiação que se mostra mais eficiente que o método Fenton ou o da irradiação UV agindo separadamente. Essa eficiência é devido à degradação do peróxido de hidrogênio tanto por fotólise quanto por íons Fe²⁺, acelerando assim a produção de radicais hidroxila (TRUJILLO *et al.*, 2007). Este efeito positivo da luz sobre a reação de degradação foi atribuído à regeneração de Fe²⁺ conseguida da fotólise dos hidróxidos de Fe³⁺ sintetizados, como também pelas reações fotoquímicas dos complexos formados com os íons férricos e intermediários da degradação ou substratos orgânicos (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

Entre os sistemas heterogêneos, destaca-se o uso do dióxido de titânio (TiO_2), um fotocatalizador formado por bandas de valência (BV) e por bandas de condução (BC), havendo entre ambas uma região energética denominada de “*band gap*”, que possui valor inicial de 3,2 eV. Este valor representa a quantidade mínima de energia necessária para que ocorra migração de um elétron da banda de valência para a banda de condução. Com a absorção de energia na forma de fótons, o TiO_2 terá elétron da BV migrando para a BC. Na BV haverá formação de lacunas chamadas de “*positive hole*” capazes de gerar radicais hidroxilas (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Pascoal (2007) afirma que os elétrons que migram para a banda de condução são os responsáveis pelas reações de redução, devido aos potenciais de zero a -1 V, sendo esta a banda responsável pela redução de elementos inorgânicos, a exemplo do cromo que terá a sua espécie hexavalente convertida para trivalente; este fenômeno só ocorre quando se utilizam fontes luminosas com comprimento de onda menor que 387nm, que é exatamente a faixa de comprimento de onda que permite a utilização da radiação UV proveniente do sol, representando de 4 a 6% de toda a radiação solar que atinge a superfície terrestre. A etapa de adsorção, entre o TiO_2 e as substâncias a serem reduzidas e oxidadas é de grande importância para a fotocatalise, especialmente dos aceptores de elétrons, pois são eles que impedem o retorno do elétron da BC para BV.

No caso do TiO_2 , a grande desvantagem da opção de se trabalhar tal catalizador em suspensão, segundo Teixeira e Jardim (2004), é que as partículas do semiconductor devem ser separadas da fase líquida após o tratamento por filtração, centrifugação ou coagulação e floculação. Estes passos adicionais aumentam o nível de complexidade e diminuem a viabilidade econômica desses reatores, sendo esse o motivo pelo qual tem sido registrado um grande número de trabalhos nos quais o objetivo é imobilizar o catalizador em diversas matrizes inertes.

3. DIMENSIONAMENTO DE UM CPC PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES

O CPC é um tipo especial de coletor solar disposto na forma de duas parábolas que se encontram no eixo Y localizado no centro do absorvedor tubular. Essa forma possibilita que o coletor seja estacionário e ainda assim haja o máximo de energia solar concentrada entregue e transferida para o tubo absorvedor de energia. O CPC não precisa se mover em busca dos raios solares, ele exige apenas ajustes ocasionais no ângulo (várias vezes por ano) para manter a abertura perpendicular ao sol do meio-dia, mantendo a potência máxima.

Segundo Welford e Winston (1978), o CPC é um dos coletores que tem a concentração mais elevada possível (1,8), admitida por limite termodinâmico para um dado ângulo de aceitação. Esses mesmos autores afirmam que o uso do ângulo de aceitação (θ_a) de $33,75^\circ$ é pertinente para a

construção de um CPC estacionário posicionado na direção leste-oeste, garantindo uma razão de concentração de 1,6.

O dimensionamento de um CPC com um absorvedor cilíndrico é demonstrado por Oommen e Jayaraman (2000) conforme a figura 4. Um absorvedor tubular (raio r) requer um refletor em forma de cúspide. O desenho do refletor (para um ângulo de aceitação θ_a) é determinada por uma equação diferencial de primeira ordem. O absorvedor é descrito pelas coordenadas polares (r, θ) . Qualquer ponto B (Figura 4) no refletor é dada por sua distância $\rho = BC$ a partir do ponto C na qual a tangente de CB toca o absorvedor, e BC é igual ao comprimento do arco AC ao longo da circunferência do absorvedor.

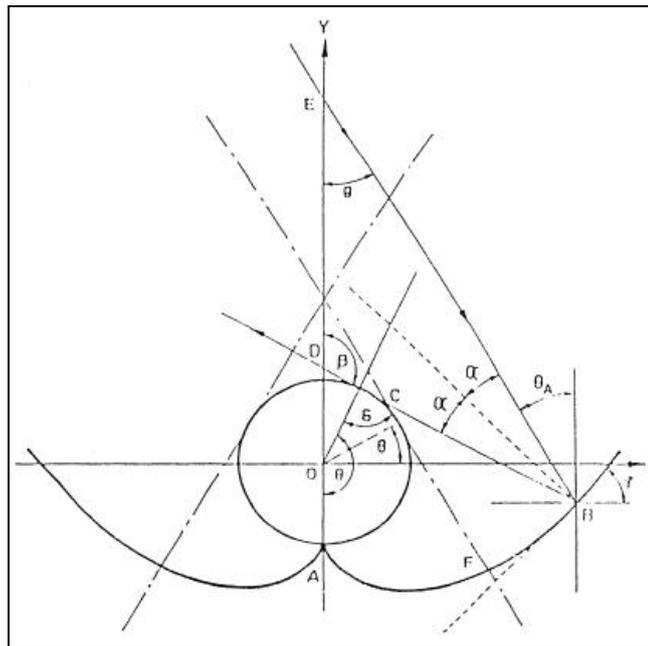


FIGURA 4: Refletor para um CPC com absorvedor tubular.

Fonte: OOMMEN e JAYARAMAN (2001)

A forma do refletor é fixada por dois requisitos:

(1) $|\theta| \leq \theta_a + \pi/2$ qualquer raio emitido tangencialmente a partir de um ponto C (r, θ) do absorvedor para o refletor deve ser refletido de volta para si.

(2) Para $(\theta_a + \pi/2) \leq \theta \leq (3\pi/2 - \theta_a)$, qualquer raio emitido tangencialmente a partir de um ponto C (r, θ) do absorvedor para o refletor deve ser refletido de tal modo a formar um ângulo θ_a com o eixo y. As coordenadas de B são representadas pelas equações 1, 2, 3 e 4:

$$x = r \sin \theta - \rho \cos \theta; \quad (1)$$

$$y = -r \cos \theta - \rho \sin \theta \quad (2)$$

onde:

$$\rho = r \theta; \text{ para } \theta \leq \theta_a + \pi/2 \quad (3)$$

$$\rho = r [\theta + \theta_a + \pi/2 - \cos(\theta - \theta_a)] / [1 + \sin(\theta - \theta_a)]; \text{ para } (\theta_a + \pi/2) \leq \theta \leq (3\pi/2 - \theta_a) \quad (4)$$

3.1. CPC: protótipo

Para o dimensionamento do protótipo do CPC (figura 5) utilizado no desenvolvimento do projeto de Focálise Solar para tratamento de efluentes recalcitrantes, como os lixiviados provenientes de aterros sanitários, foram feitas as seguintes considerações:

- Absorvedor cilíndrico borossilicato: 1500 mm de comprimento, diâmetro de 0,48 mm;
- Chapas de inox: 0,60 mm de espessura;
- $\theta_a = 33,75^\circ$; $r = 24$ cm; Razão de concentração (R_c) = 1,8; Comprimento da abertura (C_{ab}) = 0,2714 m; Perímetro do tubo (P_{abs}) = 0,1508 m e a altura (H) do refletor = 0,2839 m .

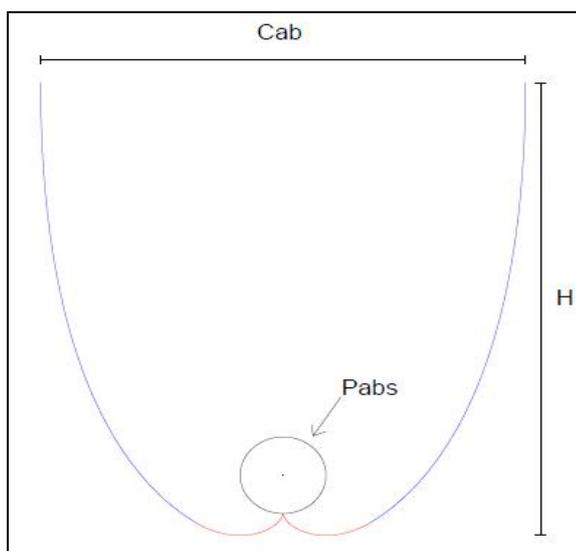


FIGURA 5: Perfil do CPC protótipo dimensionado para tratamento de efluentes recalcitrantes.

CONCLUSÃO

A proteção dos recursos hídricos brasileiros por meio do uso dos fotorreatores solares e do POA torna-se viável devido ao alto grau de insolação, principalmente no Nordeste, onde grande parte da população vive grandes períodos de estiagem. O aproveitamento da energia solar e a busca de alternativas para proteção dos corpos d'água deve ser uma prioridade das políticas públicas.

Os fotorreatores solares atuam como unidade essencial no tratamento de efluentes por meio de processos oxidativos avançados. A capacidade de armazenamento do fluido e da absorção de radiação UV são duas das principais características que se devem observar no momento de se planejar o seu uso, tornando assim os cálculos de dimensionamento do reator um momento decisivo para o desempenho do fotorreator e eficiência dos POA.

O CPC protótipo encontra-se em fase de construção e será utilizado para estudo de POA tipo foto-Fenton e TiO_2 no tratamento de efluentes industriais visando a proteção dos corpos hídricos da região nordeste.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Energia Solar (LES) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) que é parceira do projeto de estudo. Ao CNPq pela concessão das bolsas de Iniciação Científica dos alunos do curso de Engenharia Ambiental da UFPB.

BIBLIOGRAFIA

BANDALA, E. R. *et al.* **Solar photoreactors comparison based on oxalic acid photocatalytic degradation.** *Solar Energy*, Vol. 77, 503–512p, 2004.

BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente: Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 25 de novembro de 2011 às 12h21min.

CONAMA (2005) Resolução nº 357. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, Ministério do Meio Ambiente. Brasil.

DANTAS, T. L. P. **Decomposição de Peróxido de Hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente Fenton modificado.** Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2005.

DUARTE, E. T. F. M.; XAVIER, T. P.; SOUZA, D. R. de; MIRANDA, J. A. de; MACHADO, E. da H.; JUNG, C.; OLIVEIRA, L. de; SATTLER, C. **Construção e estudos de performance de um reator fotoquímico tipo CPC (“Compound Parabolic Concentrator”).** *Química Nova*, Vol. 28, No. 5, 921-926p, 2005.

FUNARI, F. L.; TARIFA, J. R. **Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil.** *Anais Congressos Brasileiros de Meteorologia*, 1984. Disponível em: <http://www.cbmet.com/edicoes.php?pageNum_Recordset_busca=1&totalRows_Recordset_busca=84&cgid=17>. Acesso em 17 de novembro de 2011 às 15h22min.

MALATO-RODRIGUEZ, S.; GÁLVEZ, J. B.; RUBIO, M. I. M.; FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, P. D.; PADILLA, A.; PERREIRA, M. C.; MENDES, J. F.; OLIVEIRA, J. C. **Engineering of solar photocatalytic Collectors.** *Solar Energy* 77, 513-524p, 2004.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. de S. **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário – o Projeto Swera.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 26, No. 2, 145 – 159p, 2004.

NOGUEIRA, R.; TROVÓ, A.; SILVA, M.; VILLA, R.; OLIVEIRA, C. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton.** *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 2, 400-408p, 2007.

OOMMEN, R.; JAYARAMAN, S. **Development and performance analysis of compound parabolic solar concentrators with reduced gap losses – oversized reflector.** *Energy Conversion and Management* 42, 1379-1399p, 2001.

PASCOAL, S. de A.; LIMA, C. A. P. de.; SOUSA, J. T. de; LIMA, G. G. C. de.; VIEIRA, F. F. **Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume.** Química Nova, Vol. 30, No. 5, 1082-1087p, 2007.

ROBERT, D.; MALATO, S. **Solar photocatalysis: a clean process for water detoxification.** The Science of the Total Environment 291, 85-97p, 2002.

ROCHA, E. M. R.. **Avaliação de sistemas de pós-tratamentos de lixiviados por processos biológicos e oxidativos avançados e o desenvolvimento analítico para detecção e quantificação de compostos recalcitrantes.** Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2010.

TEIXEIRA, C. P. de A. B; JARDIM, W. de F.. **Processos Oxidativos Avançados: Conceitos Teóricos.** Caderno Temático, vol. 3. Campinas, UNICAMP, 2004.

TRUJILLO, D.; FONT, X.; SÁNCHEZ, A. **Use of Fenton reaction for the treatment of leachate from composting of different wastes.** Journal of Hazardous Materials B138, 201-204p, 2006.

UMAR, M.; AZIZ, H.; YUSOFF, M. **Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate.** Waste Management 30, 2113-2121p, 2010.

WELFORD, W.T., WINSTON, R. **The Optics of Nonimaging Concentrators: Light and Solar Energy.** Academic Press, 1978.