

## I-257 - ÁGUA POTÁVEL A PARTIR DA DESUMIDIFICAÇÃO DO AR COM USO DE ENERGIA SOLAR: ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO AO STRESS HÍDRICO NO RS

**Fernanda Sartori Rodrigues** <sup>(1)</sup>

Acadêmica do Curso de Química Industrial da Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC.

**Eliezer Henker** <sup>(2)</sup>

Engenheiro de Produção, Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

**Rômulo de Oliveira Schwaickhardt** <sup>(3)</sup>

Químico Industrial, Mestrando em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

**Enio Leandro Machado** <sup>(4)</sup>

Químico Industrial, Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS

**Jonas Kaercher** <sup>(5)</sup>

Engenheiro Mecânico, Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

**Endereço** <sup>(4)</sup>: Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: [enio@unisc.br](mailto:enio@unisc.br)

### RESUMO

A pesquisa abordou elementos climatológicos da região do Vale do Rio Pardo demonstrando índices favoráveis a obtenção de água potável através da desumidificação. O experimento empregando garrafas de PET - Politereftalato de etileno, com água congelada demonstrou a capacidade de formação de orvalho na sua superfície em diferentes situações experimentais tais como vento, temperatura ambiente e umidade relativa. A fim de analisar alguns parâmetros de potabilidade da água as amostras foram submetidas a análises de coliformes totais, *Escherichia coli*, pH, turbidez, oxigênio consumido e condutividade. Todas as amostras apresentaram índices satisfatórios de potabilidade. Um dos sistemas propostos de desumidificação emprega a célula termoelétrica de efeito *Peltier* como fonte de superfície fria podendo ser acionado por energia elétrica convencional ou energia elétrica fornecida por painéis fotovoltaicos. O equipamento contou com unidade de desinfecção composta por lâmpadas germicidas de 254 nm. O sistema é indicado para pequenas aplicações podendo gerar aproximadamente  $2,6 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  de condensado aquoso com um consumo energético de  $7,92 \text{ kWh L}^{-1}$  em uma umidade relativa - UR de 80%, ventos de  $7 \text{ km h}^{-1}$  e temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ . O segundo sistema empregou  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  e irradiação solar como fonte energética no ciclo de absorção intermitente dia/noite. O emprego de  $\text{NH}_3$  como elemento refrigerante e o  $\text{CaCl}_2$  como absorvedor da  $\text{NH}_3$  no ciclo regenerativo noturno dispensa o emprego de energia elétrica para obtenção de superfície fria no ciclo intermitente. Aspectos especiais construtivos foram necessários na elaboração do projeto bem como a observação dos riscos ocupacionais envolvidos com a manipulação da  $\text{NH}_3$ . O emprego de sistemas desumidificadores apareceram como alternativas para obtenção de água potável em locais afetados pela escassez deste recurso sejam por ordem climática, catástrofes naturais ou locais isolados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desumidificação, Célula Termoelétrica, Efeito *Peltier*.

### INTRODUÇÃO

O chamado *stress* hídrico é ocasionado por vários fatores entre eles a mudança nos fatores climatológicos, queimadas, desmatamento e aumento de população. O Rio Grande do Sul apresenta uma média de precipitações entre 1200 a 2400 mm ao ano, no entanto, a mídia relata, ano após ano, famílias sendo afetadas com agravantes no mínimo comparáveis às regiões semi-áridas mais críticas do Brasil devido à falta de água e a má gestão dos recursos hídricos.

Dados coletados entre 1914 e 1968 da Estação Santa Cruz do Sul do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura localizada a  $29^\circ 43'$  de Latitude Sul e  $52^\circ 25'$  de Longitude Oeste em uma altitude de 52,5 m demonstra que o número médio de dias com chuva no ano foi de 124,7. Segundo Hoppe (2005), os sete meses mais secos iniciaram em junho a dezembro de 1917 com 476,4 mm, e os sete meses mais chuvosos ocorreram

de abril a outubro de 1928 com 1.578,3 mm. O ano mais seco foi 1962 com 858,8 mm e o ano mais chuvoso foi em 1941, com 2325,4 mm.

Neste sentido, além das medidas de sustentabilidade ambiental e políticas públicas de saneamento e gestão de recursos hídricos, novas formas de obtenção e potabilização de água serão medidas de apoio para atenuação de problemas causados por catástrofes naturais, emergências e locais de difícil acesso.

Com o exemplo do saneamento ecológico, a potabilização de água demandará cada vez mais de tecnologias limpas e *ecodesign* para captação, clarificação e desinfecção. Várias pesquisas estão demonstrando que coagulantes e auxiliares de clarificação, métodos de desinfecção e destilação com energia solar, cisternas, separação de fases com termo-sifão, podem obter água potável em comunidades carentes e em regiões urbanas bem diversificadas socialmente em todo o mundo.

Entretanto, outro enfoque de pesquisa deve ser considerado: empregar sistema desumidificador adotando a célula termoelétrica de efeito *Peltier* para gerar condensado aquoso e sistema de absorção intermitente empregando amônia e cloreto de cálcio em ciclo regenerativo dia/noite para obtenção água.

Experimentos para geração de condensados aquosos a partir da umidade do ar estão crescendo no interesse de alguns pesquisadores. Silva e de Souza (2009) investigaram a taxa de produção de água por metro quadrado de área resfriada para as condições de regiões semi-áridas do nordeste brasileiro. Os resultados são animadores, estabelecendo valores de  $1,23 \text{ L h}^{-1}\text{m}^{-2}$  com consumo de energia de  $0,75 \text{ kWh}^{-1}$ . O desafio de outros pesquisadores explorou o aumento da área superficial do trocador de calor capaz de gerar  $30 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  com placas de alumínio com temperatura de  $0^\circ\text{C}$  (HABEEBULLAH, 2009).

Nesse cenário o trabalho objetiva a concepção de sistema com o máximo de ecodesenho e baixo custo com uso de energia solar e processo oxidativo avançado como fonte alternativa de água potável a partir da desumidificação do ar. Será empregado sistema gerador de frio tipo produtor de gelo com energia solar e arranjo inovador de desinfecção do ar com UV/TiO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>.

Desta forma, o problema de adoção das medidas de sustentabilidade ambiental e de fontes alternativas de água potável poderá ganhar com sistemas de desumidificação do ar com efetiva descentralização e flexibilidade de escalas para atenuar no futuro a escassez de água potável.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Sistema de desumidificação em escala laboratorial com garrafas PET

Reproduzindo o artigo “Estudo da viabilidade da produção de água a partir do resfriamento do ar” (DA SILVA E DE SOUZA, 2009), no laboratório de Engenharia Ambiental da UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul, foi construído um reator para atender as necessidades dos ensaios e análises preliminares.

Utilizou-se duas garrafas plásticas pet de 2 litros com área de superfície  $0,08853 \text{ m}^2$ , contendo água congelada. Penduradas por uma haste de ferro, foi coletada a água gerada pela condensação do ar em contato com a superfície fria. Foram observados durante os ensaios com duração de seis horas: Temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Para isso utilizou-se um anemômetro (INSTRUTHERM termo-higro-anemômetro luxímetro digital portátil Modelo THAL-300) e para obter a temperatura da superfície de cada garrafa usou-se um termômetro (FLUKE, 62 Mini IR Thermometer).

### Parâmetros físico-químicos

Observou-se os principais parâmetros para as análises preliminares tais como: pH, turbidez, condutividade das amostras, coliforme totais e *Escherichia coli*. O pH e a condutividade foram medidos através do aparelho SANXIN MP 521 Lab pH/ Cond Meter. Para identificar a turbidez utilizou-se o turbidímetro MARTINI Instruments Mi 415. O Oxigênio Consumido foi determinado através do método do permanganato. Por fim, a determinação de coliformes totais e *Escherichia coli*, fez-se encubando as amostras em uma estufa a  $37^\circ\text{C}$ , utilizando-se Placas Petrifilm®.

## Sistemas de Desumidificação para Geração de Água Potável

A configuração da fonte alternativa de água potável envolveu dois sistemas com uso de energia solar: O Sistema *Peltier* e o Sistema *Ice Maker*. No sistema *Peltier* foram concebidas e construídas unidade de fotodesinfecção inicial e unidade trocadora de calor com base na célula de *Peltier*. O sistema foi dividido em cinco partes: fonte de alimentação; painel elétrico; unidade de captação de ar e esterilização de ar e água; unidade de armazenamento de água e módulo de condensação. O equipamento foi abastecido por uma fonte chaveada para PC bivolt 110/220 de 400wats - 6A. No painel elétrico foi possível ligar e desligar o equipamento, controlar o acionamento de ventiladores para formação de condensado, acionar bomba hidráulica para retirada de água do sistema, controlar a velocidade do temporizador e acionar a lâmpada de UV para desinfecção da água. Todos os componentes possuem luzes identificadoras de funcionamento.

A unidade de captação de ar e esterilização de ar e água foi formada por uma câmara situada na parte inferior do equipamento. Um ventilador traseiro faz a coleta de ar para o sistema e outro posicionado na entrada dos dutos que seguem para o módulo de condensação maximiza o deslocamento de ar.

Já o sistema *ICE MAKER* contou com coletor de irradiação solar parabolóide e tubo concêntrico com cloreto de cálcio e amônia. O sistema foi inspirado no modelo montado conforme Vanek,1996. A unidade também apresentou possibilidade de combinar célula fotovoltaica para suprimento de energias aos ventiladores de baixa potência (3 W), lâmpada germicida (30 W) e sistema armazenador de água condensada. A unidade de condensação foi projetada para manutenção da potabilidade com irradiação via colimador em comprimento de onda de 254 nm.

**Figura 1: Ice maker.**



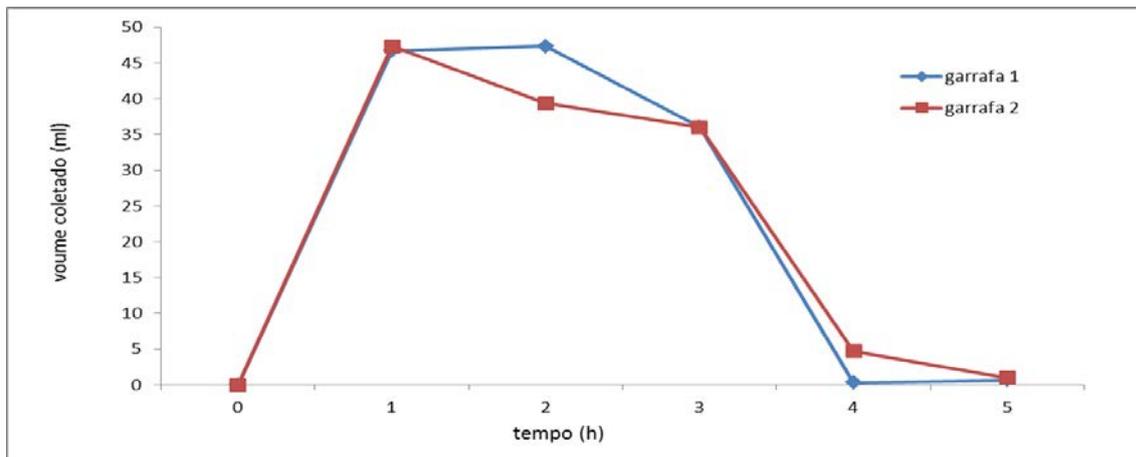
Confeccionado em estrutura de aço carbono SAE1008 40 mm x 40 mm, com dimensões externas de 2 metros de largura, 1,5 metros de altura e 4,5 metros de comprimento, o sistema parabólico foi fixado sobre mancais fixos nos cavaletes laterais permitindo assim sua mobilidade e regulagem para reflexão e concentração dos raios solares sobre a cápsula geradora. A região de reflexão foi confeccionada em chapa de aço inox polido ou alumínio polido. O local de instalação do *Ice Maker* estabeleceu radiação solar durante todo o dia, possui cercamento de suas dependências e acesso restrito de pessoas no local.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Estudos de Desumidificação do Ar (garrafa PET)

Os ensaios foram realizados em triplicata com duração de 5 horas sendo que para cada ensaio foi utilizado uma velocidade para o vento, inicialmente sem influência de vento, após com velocidade de 1,2 km/h e finalmente com velocidade de 8,5 km/h.

**Figura 2: Média dos resultados obtidos no experimento de garrafas com maior volume coletado de água, com a velocidade do vento a 8,5 km/h.**



Na Figura 2 constatou-se que houve uma geração de volume de água através da condensação da umidade relativa do ar (UR) maior nas primeiras horas de teste, quando a superfície das garrafas estão em temperaturas mais baixas. A temperatura ambiente, característica da região nos períodos de verão, manteve-se entre 25 e 28°C, com uma UR média/alta entre 57 e 68%. Ao final do teste de 5 horas, coletou-se em média um volume de água de 259,33 ml, observando-se que uma maior velocidade do vento, 8,5 km/h, obteve uma influência significativa em relação a condensação.

### Parâmetros físico-químicos

A água obtida foi analisada preliminarmente segundo parâmetros de pH, turbidez, condutividade, oxigênio consumido e ensaios microbiológicos de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. Os valores médios obtidos se encaixam nos limites da Portaria 2914 (2011) pH 7,48; turbidez de 0,54 UNT; condutividade 24,71  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e oxigênio consumido de 5,15  $\text{mg L}^{-1}$ . Os ensaios microbiológicos não apontaram nenhum tipo de contaminação.

### Sistema de Desumidificação para Geração de Água Potável com Uso de $\text{NH}_3$ e $\text{CaCl}_2$ - ICE MAKER

Medições pontuais verificaram 120°C na parede da cápsula geradora quando há alinhamento dos raios solares com o refletor parabolóide sobre a cápsula geradora. Ensaio verificando a abertura de válvulas do circuito foram propostas para determinar o melhor funcionamento do sistema.

O volume total da tubulação do sistema foi de  $2,26 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ; a massa presente de  $\text{NH}_3$  foi de 4,5 kg e a massa de  $\text{CaCl}_2$  foi de 3 kg. O cloreto de cálcio, por ser um sal, apresenta propriedade corrosiva para o sistema, o que demandará de manutenções periódicas. Uma cápsula elaborada por tela de nylon servirá de suporte para o sal a fim de minimizar o contato com a superfície interna da tubulação de aço.

O sistema de desumidificação ICE MAKER tem um custo aproximado de R\$ 9000,00 e demandará de manutenções periódicas envolvendo pintura e conservação das conexões bem como a eliminação de eventuais

vazamentos. O sistema poderá sofrer modificações para que o ciclo noite seja induzido até três vezes durante o dia para que a quantidade de condensado aquoso seja maior.

As operações de pressurização do sistema Ice Maker caracterizaram-se por não manutenção, especialmente por vazamentos nos sistemas de extremidades rosqueadas. Estes dados não são relatados por Vanek (1996). A necessidade de manutenção caracterizou o sistema como ineficaz para os ciclos de compressão/descompressão/condensação.

A partir dos problemas operacionais do sistema Ice Maker foram iniciados os teste com a unidade de bancada Peltier.

### Resultados dos Ensaios com Células Termoelétricas de Efeito Peltier

O teste experimental empregando o protótipo permitiu testar o sistema com uma ou duas células termoelétricas. O objetivo do teste foi verificar a relação tensão/corrente, o consumo e possível formação de orvalho no sistema.

Aplicaram-se tensões de 01 a 08 volts na célula termoelétrica verificando assim a intensidade de corrente consumida pelo sistema. A configuração aplicada foi de duas pastilhas sobrepostas.

Com os dados coletados foi possível verificar a intensidade de corrente para cada volt de tensão fornecida ao sistema e calcular a potência elétrica consumida bem como o consumo em kWh como é demonstrado na Tabela 1. Nas medições realizadas do protótipo desconsiderou-se o consumo dos ventiladores de arrefecimento. Na ocasião a temperatura ambiente estava em 30°C.

**Tabela 1: Medições realizadas no protótipo com pastilhas sobrepostas**

Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Consumo (kWh)
1	1,2	1,2	0,0012
2	2,6	5,2	0,0052
3	3,8	11,4	0,0114
4	5,2	20,8	0,0208
5	6,3	31,5	0,0315
6	7,6	45,6	0,0456
7	8,8	61,6	0,0616
8	9,8	78,4	0,0784

O sistema testado não apresentou formação considerável de orvalho somente uma superfície levemente úmida. A área de condensação neste caso foi de 0,25m<sup>2</sup>, a umidade relativa do ar foi de 80%. Neste experimento não foram realizadas medições de temperatura no lado frio da pastilha devido à reduzida condensação presenciada.

Observou-se que o controle da temperatura do ponto de orvalho é um fator determinante para redução do consumo energético tendo em vista que durante os experimentos não houve este controle e a célula esteve sempre com a temperatura do lado frio em torno de -13°C, bem abaixo da temperatura de ponto de orvalho que foi de aproximadamente 21°C. Em umidades relativas de 60% e temperatura ambiente de 29,9°C a produção de volume de água fica em torno de 1,39 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> com um consumo energético de 12,51 kWh.

### CONCLUSÕES

Com as análises e parâmetros obtidos através do projeto com garrafas PET, observou-se a melhor condição para a condensação da umidade do ar (UR) na intenção de gerar água potável. A amostra coletada mostrou-se em conformidade com a legislação.

O vento influencia significativamente na obtenção de água, visto que uma maior velocidade do vento resultou em maiores volumes coletados.

O equipamento do sistema de compressão/descompressão com gás amônia deverá levar os parâmetros obtidos anteriormente em consideração para um melhor rendimento, visto que ainda não entrou em operação. Os custos do projeto empregando pastilhas *Peltier* ficaram em torno de R\$1200,00 com a unidade de desinfecção. É possível construir um sistema simplificado sem a unidade de desinfecção ao custo de R\$400,00. A pastilha termoelétrica tem uma vida útil longa, testes de qualidade de alguns fornecedores indicam mais de 1000 horas de trabalho sem interrupção e 5000 ciclos de ligamento e desligamento, segundo eles as pastilhas podem durar cerca de 200.000 a 300.000 horas se observado os requisitos técnicos necessários.

No sistema *ICE MAKER* se faz necessário determinar adequadamente as variáveis de funcionamento. Ambos os sistemas necessitam de células solares fotovoltaicas ou energia elétrica tradicional para funcionamento pleno. Não foram estimados os custos de incorporação de células fotovoltaicas para os sistemas. No caso do *ICE MAKER* a energia elétrica servirá para movimentar os ventiladores que intensificam a formação de condensado na superfície fria das aletas do tanque térmico.

De acordo com os testes parciais de potabilidade a água coletada apresenta resultados favoráveis para o consumo humano. A fim de melhorar e garantir estes níveis, um sistema de filtração pode ser acrescentado. No estado do Rio Grande do Sul os níveis de precipitação pluviométrica são satisfatórios e períodos de seca sempre ocorreram. O que não há são a gestão adequada dos recursos hídricos e investimento em infra-estrutura que garantem o abastecimento de água em períodos de seca.

Em casos extremos tais como catástrofes naturais, acidentes, locais de difícil acesso e regiões áridas e semi-áridas a coleta de água através da condensação em superfícies frias pode ser uma ótima alternativa para obtenção de água potável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAD, Jesus M. T.; *Controle químico de qualidade*. Belo Horizonte;Veja, 1989.
2. AWADALLAK, J. A.; MARTINS, T. D.; da SILVA, E. A. *Modelagem da refrigeração do ciclo de compressão a vapor utilizando amônia como fluido refrigerante*; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2007.
3. DA SILVA, G. e DE SOUZA, F. A. S. Estudo da viabilidade da produção de água a partir do resfriamento do ar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.5, 2009.
4. HABEEBULLAH, B. A. Potential use of evaporator coils for water extraction in hot and humid áreas, *Desalination* 237 (2009) 330–345.
5. IRIBARNE, J. V. Atmospheric thermodynamics. 2.ed. *Dordrecht: D. Reidel Publishing Company*, 1985. 259p.
6. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011*.
7. RON, E.Z. Host appecificity of septicemic Escherichia coli: human and avian pathogens. *Curr. Opinion Microbiol.*, v.9, 2006.
8. VANEK, J. A solar ammonia absorption icemaker. *Home Power* #53 •June / July 1996.
9. HOPPE, MARCELINO. Pluviometria em Santa Cruz do Sul. Boletim Informativo N.º11/ Ano VII - Novembro/2005. Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Comitê Pardo.