



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

COLETOR DE ORVALHO WARKAWATER: SUA APLICABILIDADE E EXPLORAÇÃO DE UMA FONTE DE ÁGUA ALTERNATIVA

FELIPE TROVATTI GRECCO

felipe.trovatti@gmail.com

MARISA BIALI CORÁ

marisa_exp@hotmail.com

JEFERSON ROSA SOARES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

josoares77@gmail.com

ROBERTO WIDERSKI

rwiderski@gmail.com

COLETOR DE ORVALHO WARKAWATER: SUA APLICABILIDADE E EXPLORAÇÃO DE UMA FONTE DE ÁGUA ALTERNATIVA

RESUMO

Neste trabalho foi abordada a capacidade de provimento de água através de um coletor de orvalho, dada a importância da exploração de novos recursos hídricos, visto o déficit de acesso à água potável por muitas pessoas no mundo todo. Um protótipo em escala reduzida do projeto WarkaWater foi construído e testado nas dependências da UTFPR-CM a fim de verificar a funcionalidade da estrutura, bem como abordar de maneira mais categórica a possibilidade de se obter água potável através de um recurso hídrico pouco explorado como o orvalho. Devido a características peculiares do hidrometeoro, sua formação se deu em baixa escala, inviabilizando estudos detalhados do processo de formação e eficiência do projeto. Entretanto, através da análise de alguns fatores meteorológicos, a cidade de Campo Mourão mostrou-se favorável à exploração desta fonte de água. Resumidamente, verifica-se a possibilidade de concretização do projeto WarkaWater através de técnicas simples e materiais locais, identificando-se sua capacidade de funcionamento relacionada à escala de construção e condições climáticas e geográficas favoráveis.

Palavras-chave: Orvalho, Água Potável, WarkaWater

DEW HARVESTER WARKAWATER: ITS APPLICABILITY AND EXPLORATION OF AN ALTERNATIVE SUPPLY WATER

ABSTRACT

This paper brings the discussion regarding the capacity of provident of clean water through a dew harvester. Known the importance of exploring new hydric resources, because of world's deficit regarding access to potable water by many people around the world, which is increasing because of its exponential population growth. A reduced scale prototype of the project WarkaWater was built and tested at the UTFPR campus Campo Mourão, with the objective of verifying the functionality of the structure and approach the possibility of obtaining potable water through an hydric resource barely explored as dew is. Because of particular characteristics of the hydrometeor, its formation happened in small quantities, detailed studies of its condensation process and project efficiency became unfeasible. Even though, through the analysis of some meteorological data, the city of Campo Mourão demonstrated to be favorable to the exploration of dew and fog harvesting. Summarizing, the accessibility of the project is verified with simple construction techniques and the use of locally available materials, and its capacity of functioning related to its construction scale, climate and geographical favorable conditions.

Keywords: Dew, Potable Water, WarkaWater.

1 INTRODUÇÃO

A questão do acesso à água potável é um problema que atinge mais de 700 milhões de habitantes do planeta; quase 50% estão na África Saariana (UNICEF & WHO, 2014). As estatísticas demonstram que 88% dos casos de morte por diarreia no mundo (2 milhões de mortes por ano) são devido a água não potável, inexistência de saneamento e falta de higiene, principalmente de crianças nos países em desenvolvimento (UNICEF & WHO, 2009). Dessa forma, uma das estratégias consiste em buscar a quantidade e qualidade na disponibilidade de água, assegurando o tratamento e armazenamento adequado para o uso cotidiano e a promoção do saneamento (UNICEF & WHO, 2009).

No dia 28 de julho de 2010, através da Resolução 64/292, a ONU reconheceu publicamente o direito humano à água e ao saneamento básico. Também constatou que esses direitos são essenciais para o cumprimento de todos os demais direitos humanos. A resolução chama estados e organizações internacionais para angariar fundos financeiros, ajuda de capacitação da mão de obra e transferência de tecnologia para auxiliar os países em desenvolvimento particularmente, a providenciar água potável e saneamento básico de uma forma segura, limpa, acessível e custeável.

A busca por novas fontes de água potável cresce com o passar do tempo dada sua relação inerente às demandas básicas do ser humano. A coleta de orvalho é uma técnica ainda pouco explorada no Brasil, mas que vem sendo utilizada por algumas nações espalhadas pelo globo. Com isso, este trabalho aborda a exploração deste recurso na região da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, através de um sistema de baixo custo, que possibilita a captação do orvalho.

Dada importância de obter-se água através de fontes renováveis e a complexidade da formação do orvalho, este trabalho traz consigo a experimentação da técnica abordada pelo arquiteto italiano Arturo Vittori, através da prototipação do projeto WarkaWater. O projeto de Arturo consiste no uso de uma estrutura de bambu, a qual traz uma malha polimérica em seu interior, com o objetivo de explorar a coleta de orvalho através dos meios mais comuns do seu aparecimento na atmosfera, que são nevoeiros e resfriamento radiativo da terra. Em adição, testes *in locus* do protótipo e estudos de dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia foram conduzidos a fim de correlacioná-los com os resultados efetivos da pesquisa e verificar a viabilidade do projeto.

Dessa forma, o objetivo geral do presente estudo consistiu em apresentar o orvalho como uma fonte de água potável para consumo humano realizando sua coleta através do projeto WarkaWater.

Para concretização do objetivo geral, traçaram-se os objetivos específicos: a. construir um protótipo do projeto WarkaWater, coletar orvalho utilizando a técnica na UTFPR-CM e analisar fatores meteorológicos que favoreçam a coleta de orvalho pelo WarkaWater.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ATMOSFERA E SEUS ELEMENTOS.

A atmosfera é uma camada fina composta de gases sem odor e sem cor, fixada à Terra através da força da gravidade que cerca o planeta, sendo de vital importância à sobrevivência dos seres humanos, pois seu papel está em ser base de fenômenos meteorológicos (transporte e distribuição de calor na atmosfera, evaporação, evapotranspiração, etc.) e também em determinar a qualidade e quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície (PEREIRA et al.,2007). Os gases mais importantes presentes na atmosfera são o nitrogênio, o oxigênio, o argônio, o bióxido de carbono, o ozônio e o vapor d'água (AYOADE, 2004). As

características desses gases e o modo como estão dispostos, abrangendo o Planeta, tornaram possível a origem e manutenção da vida sobre a superfície (MENDONÇA & DANNI - OLIVEIRA, 2007).

Dessa forma, para melhor entender a formação do orvalho, os conteúdos de Climatologia são abordados para caracterizar a atmosfera geográfica e seus elementos climáticos (vapor d'água, umidade e temperatura).

2.1.1 Vapor d'água

O volume de vapor d'água na atmosfera oscila de lugar para lugar e no transcorrer do tempo, em específica região. Por exemplo, nos desertos e em regiões áridas, o teor de vapor d'água é intensamente baixo (valores quase nulos). E nos trópicos úmidos, próximo de oceanos quentes, sua concentração é alta (valores de 4%) (PEREIRA, et al., 2007; AYOADE, 2004).

Apesar do vapor d'água ser constituinte de apenas 2% da massa total da atmosfera e 4% do seu volume, ele é o elemento atmosférico prioritário na determinação do tempo e do clima. Primeiramente, o vapor d'água é a base de formação dos processos de condensação e de precipitação. A quantidade de vapor d'água presente em determinado volume de ar é indicador da capacidade da atmosfera em realizar precipitação. Em segundo, o vapor d'água atua na absorção de radiação solar e terrestre e, dessa forma, exerce a função de regulador térmico na relação Terra x atmosfera. Produzindo nesse sentido, um efeito importante sobre a temperatura do ar. Em terceiro, o vapor d'água apresenta calor latente e esse é liberado no momento que o vapor condensa. O calor latente presente no vapor d'água é fonte de energia vital para a circulação atmosférica e para o desenvolvimento de perturbações atmosféricas. (AYOADE, 1996).

2.1.2 Umidade, Umidade Relativa

Umidade consiste na quantidade de vapor d'água presente na atmosfera. O vapor d'água forma-se na superfície terrestre através do processo de evaporação e transpiração, estando concentrado intensamente nas camadas inferiores da atmosfera (AYOADE, 1996).

Dentre os principais instrumentos para mensurar o conteúdo de umidade da atmosfera, destaca-se a Umidade Relativa (UR). A UR é o indicador mais conhecido para demonstrar a existência de vapor no ar, ela é obtida através da divisão entre o conteúdo real da umidade de uma amostra de ar e a quantidade de umidade que este volume de ar consegue manter com a mesma temperatura e pressão quando está saturado, ou seja, a relação entre o vapor presente no ar e o ponto de saturação deste; os resultados são comumente apresentados em forma de porcentagem (AYOADE, 1996; MENDONÇA & OLIVEIRA, 2007).

A fórmula da (UR) é expressa: $UR = (v/psv)100$, no qual v (geralmente expresso em gramas) é o vapor existente (real) e psv é a pressão saturada do vapor (em gramas) para determinada temperatura do ar. A medida que o vapor existente se mantém constante em um determinado volume de ar (v), a umidade relativa poderá ser alterada, alterando sua temperatura (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A UR é quantidade de umidade presente no ar e mensurada através dos equipamentos: termômetro de mercúrio, de bulbo seco (mensura a temperatura real do ar) e de bulbo úmido (coberto por uma gaze umedecida, que perde água a um nível relacionado com a concentração de vapor no ar). Quanto menor a concentração de vapor d'água, menor a temperatura do bulbo úmido em comparação a de bulbo seco (PEREIRA et al, 2007; AYOADE, 1996). A UR demonstra o grau de saturação do ar, em outras palavras, o quão perto o ar está da saturação (AYOADE, 1996). Quanto maior a diferença entre a temperatura

de bulbo seco e bulbo úmido, maior a evaporação do ar, demonstrando que a concentração de vapor d' água na atmosfera está longe do valor de saturação, ou seja, que a UR é baixa. Porém, quando as temperaturas desses equipamentos se aproximam é indicativo que o teor atual de vapor d' água está mais perto do valor de saturação, em outras palavras, a UR é alta (PEREIRA et al, 2007).

2.1.3 Orvalho e o ponto de orvalho

O orvalho é o resultado da transição de fase na qual o vapor d' água transforma-se em estado líquido ao entrar em contato com uma superfície (AGAM & BERLINER, 2006). O orvalho consiste na condensação do vapor d' água sobre uma superfície perto do solo, no momento em que a temperatura diminuiu devido ao resfriamento radiativo (resfriamento constante no decorrer de noites com o céu limpo, sem presença de vento e com alta umidade no ar próximo à superfície) até ficar com valores inferiores ao ponto de orvalho (PEREIRA, et al., 2007; AYOADE, 1996). Em outras palavras, o orvalho é caracterizado como a água condensada sobre uma superfície, no momento que a temperatura alcança o ponto de condensação (Ponto de Orvalho) (PEREIRA, et al., 2007).

A temperatura do ponto de orvalho é a parcela de ar resfriada sob pressão e teor de vapor constantes para que ocorra saturação (PEREIRA, et al., 2007). A Temperatura do ponto de orvalho consiste na temperatura em que acontecerá saturação se o ar esfriar a uma pressão constante, sem elevação ou redução de vapor d' água (AYODE, 1996).

O orvalho é formado geralmente ao amanhecer quando se registram temperaturas mínimas do ar, sendo que as superfícies frias ficam recobertas por uma película de pequenas gotas d' água. No entanto, pode ser gerado ao anoitecer em noites com resfriamento intenso. Nos habitats com reduzidos índices pluviométricos, o orvalho é fundamental fonte de água para a vegetação presente nesse ambiente (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

2.1.3.1 Equação do Ponto de Orvalho

O registro mais antigo de medidas mais cuidadosas do ponto de orvalho encontrados, foi feito por Dalton em 1802, que estava interessado em compreender o processo da transformação de água em seu estado líquido em umidade do ar. Após certo tempo, August em 1828 propôs a fórmula que depois veio a ser conhecida como “fórmula de Magnus”. Gibbins em 1990, Strehlke, Alduchov e Eskridge em 1996, também contribuíram para o avanço de toda a formulação. Entretanto, a atualização mais notável se deu por Tetens em 1930, que sugeriu que $A=17,27$ e $B=237,3^{\circ}\text{C}$. (LAWRENCE, 2005).

A temperatura de ponto de orvalho pode ser dada por:

$$T_d = \frac{B \cdot \alpha(T, UR)}{A - \alpha(T, UR)} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\alpha(T, UR) = \frac{A \cdot T}{B + T} + \ln(UR) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde, $A = 17.27$ e $B = 237.7^{\circ}\text{C}$

Esta formulação do ponto de orvalho tem como variável a temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Pode ser carinhosamente chamada de *Magnus-Tetens formula*. Ela trabalha com a temperatura de bulbo seco entre 0 e 60°C, com a umidade relativa entre 0.01 e 1.00, fornecendo um ponto de orvalho entre 0 e 50°C. A incerteza do cálculo da temperatura de ponto de orvalho é de $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (LAWRENCE, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROJETO

Para a estruturação do presente projeto de WarkaWater, os conteúdos bibliográficos foram coletados na web site (<http://www.warkawater.org/design>) e são apresentados a seguir.

De acordo com os detalhes de projeto expostos no website de Arturo Vittori (cofundador do estúdio de arquitetura e design - Architectureand Vision), a versão 3.2, exibida na figura 1, na qual este trabalho foi baseado, possui 10 metros de altura e pesa 60 quilogramas. Ela é constituída por 5 módulos, os quais são assentados do topo à base. A parte estrutural externa, feita de bambu cortado, é estruturalmente otimizada para ser leve e forte. O design elegante da triangulação geométrica da estrutura oferece estabilidade e rigidez. A tensão nos cabos de amarração combinada com a resistência à compressão do bambu, permite que a estrutura resista a fortes ventos. Oito pontos de fixação são colocados radialmente a uma distância de 8 metros da base e são presos com 8 cordas de poliéster com pouca elasticidade e tem resistência a radiação solar. Dentro da estrutura de bambu há uma malha pendurada que coleta as gotículas de água da alta umidade do ar e o coletor onde a condensação de orvalho se torna possível acontecer durante a noite. Na região montanhosa da Etiópia, pode coletar de 50 a 100 litros em uma única noite.

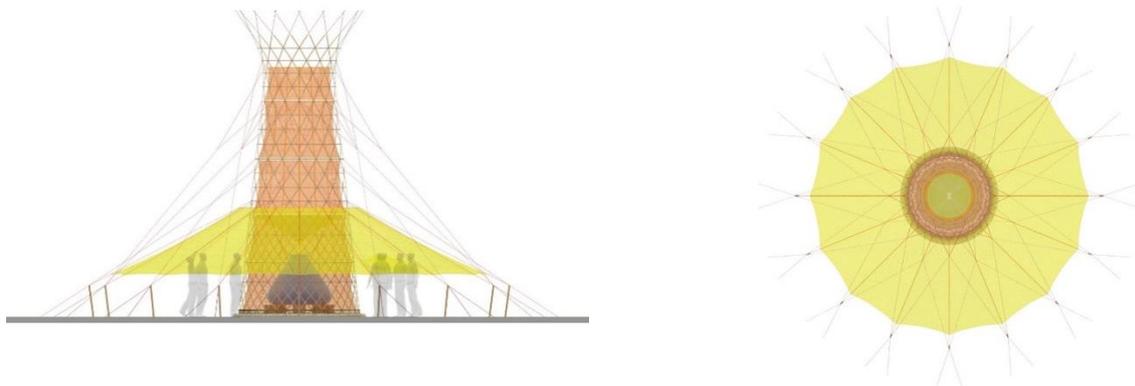


Figura 1 - Vista lateral e superior da torre
Fonte: WarkaWater website (2015)

O que torna o projeto WarkaWater eficiente é a sua capacidade de aproveitar os dois processos mais comuns de formação do orvalho, pelo resfriamento radiativo e pelo fluxo de ar, como ilustrados na figura 2.

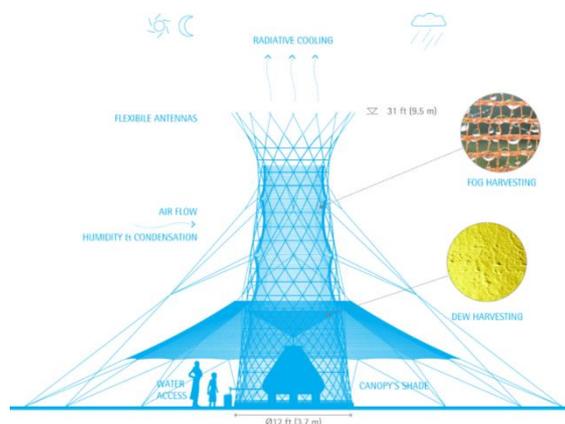


Figura 2 - Características do funcionamento básico da torre
Fonte: WarkaWater website (2015)

O WarkaWater utiliza principalmente materiais locais e biodegradáveis. É uma estrutura projetada para ser temporária e não deixar vestígios no meio ambiente após ser removida, pois não exige escavações nem alterações no relevo para a sua instalação. A água gerada pela torre Warka pode ser usada para outros fins, tais como, irrigação, reflorestamento e regeneração do ecossistema.

Seguindo a construção do protótipo e suas fases de testes, a *Architecture and Vision* tem como objetivo poder produzir a torre em grande escala, o que pode reduzir os custos de produção que giram em torno de mil dólares, tornando-a significativamente mais acessível do que qualquer método de obtenção de água disponível.

Para fins de estudo e executabilidade, este trabalho traz a confecção de um protótipo na escala 1:4, com 2,5 metros de altura e 92 centímetros de diâmetro em sua base.

3.2 MATERIAIS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Os materiais utilizados para a construção do presente projeto foram: bambu, malha polimérica, fio de nylon, barbante de algodão, arame liso, CD-ROM, enforca gato, balde e fita adesiva branca. As ferramentas usadas são as seguintes: facão, alicate de bico, estilete, máquina de costura, tesoura e furadeira.

3.2.1 Bambu

Para a confecção da estrutura da torre foi utilizado o bambu da espécie *phyllostachys pubescens*. Tal espécie é a mais comum no sul do Brasil e é uma forte alternativa para o reflorestamento devido a sua rapidez de crescimento aliada aos fatores climáticos da região (BERNDSSEN, 2008). Fato este que vai de acordo com as premissas de projeto de Arturo Vittori, que sugerem a utilização de materiais sustentáveis e que estejam disponíveis localmente (VITTORI, 2016).

3.2.1.1 Coleta e armazenamento

O bambu foi coletado na propriedade urbana localizada na Rua Miguel Luís Pereira, Campo Mourão, Paraná cuja touceira se encontrava às margens do Rio Campo. Após a coleta foi feito o transporte para o Laboratório de Madeiras da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, sendo posteriormente cortado em comprimentos menores para facilitar o seu transporte. Numa outra etapa, realizou-se o corte longitudinal do bambu, com o intuito de deixar o interior dos colmos expostos para que pudessem secar devidamente e não ocasionar deformações indesejadas após a montagem da estrutura, devido ao encolhimento do material após a perda de água.

3.2.1.2 Malha polimérica

A malha polimérica utilizada foi adquirida no comércio local, utilizada geralmente como vedação de janelas para evitar a entrada de insetos, constituída de polietileno de coloração branca e com abertura de 3x3 mm.

3.3 ETAPAS DE MONTAGEM

O método de montagem da estrutura foi desenvolvido a partir da análise dos componentes do sistema ilustrados na figura 3 e explicitados no quadro 1. A construção

necessita seguir algumas diretrizes básicas para o funcionamento da estrutura, tais como, resistência estrutural e facilidade de manuseio. Outra característica implementada neste protótipo, foi a confecção de 5 módulos independentes, que foram montados separadamente e depois colocados juntos na etapa final de montagem.

Quadro 1 – Componentes de Projeto, WarkaWater

Antena	Um grupo de antenas com objetos refletivos em sua ponta, mantêm os pássaros longe da estrutura
Estrutura	O treliçamento realizado com as varetas de bambu, proporcional rigidez e resistência estrutural para a torre, além de proporcionar leveza ao conjunto
Cobertura	A cobertura proporciona sombra e um ambiente agradável para os usuários da torre
Cordas	A rede de cordas foi adicionada para verificar estabilidade à estrutura alta e em balanço
Malha	Uma malha permeável permite a passagem de ar através do material, capturando gotículas de orvalho que caem por gravidade
Coletor	A gotículas que se desprendem da malha caem no coletor e se direcionam até o reservatório. Este também funciona como uma superfície formadora de orvalho
Funil	Com a função de filtrar e encaminhar a água para o reservatório
Reservatório	Armazenamento de toda a água coletada para uso humano
Base	Base robusta com a função de manter a estrutura afastada do solo e dar rigidez a torre

Fonte: Os autores (2016)

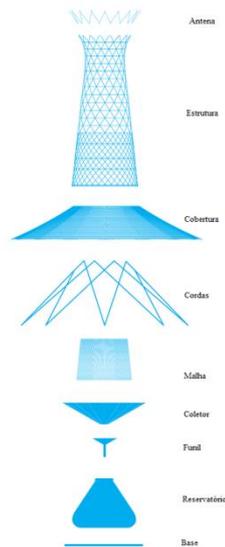


Figura 3 - Componentes do projeto WarkaWater

Fonte: Arturo Vittori (2016)

A fim de explicar os processos de montagem da torre, a figura 4 traz ilustrações de algumas etapas que foram executadas para a construção do protótipo, que se encontra exposto nas figuras 7 e 8.

Em um primeiro momento, para uma coleta mais fácil dos troncos de bambu, os cortes foram feitos de forma inclinada longitudinalmente ao caule e entre os colmos (a). Em seguida, pedaços com comprimentos menores foram cortados a fim de facilitar o manuseio (b). Então, os pedaços menores foram partidos ao meio (c) e (d), e deixados em um ambiente coberto e com ventilação adequada para que a secagem do material pudesse se dar de uma forma mais eficaz (e). Subsequentemente, as varetas foram reduzidas ao comprimento de 70 cm (f) através do procedimento (c) e em seguida, foram furadas nos pontos necessários (g) com uma furadeira à uma distância de 12 cm entre os furos e 2 cm das extremidades.

Por conseguinte, um alicate de bico foi utilizado para cortar o arame liso e confeccionar os pinos de ligação das varetas e as argolas de ajuste (h). Depois as varetas foram sobrepostas e vinculadas entre si (i) através dos procedimentos (j) e (k), de tal forma

que formassem um arranjo contínuo treliçado (l). No momento seguinte, o arranjo contínuo treliçado foi completamente vinculado de maneira que a estrutura final se identificasse com a etapa (m).

Em seguida, já na confecção do coletor inferior, a lona plástica foi cortada com o diâmetro de um metro (n) e para que pudesse ser fixada de forma segura na estrutura. Reforços foram colocados nos locais de amarração a fim de evitar o rasgamento da mesma. Em sequência, os lugares indicados com as linhas pontilhadas em (n) foram colados entre si, a fim de formar um grande tronco de cone como em (o). Por conseguinte, a menor circunferência foi recortada de tal forma que o funil pudesse ser encaixado e colado à lona, como em (p). Em adição, um pequeno filtro (q) foi adicionado no interior do funil a fim de evitar a proliferação de vetores.

Subsequentemente, a malha polimérica foi cortada e costurada de tal forma que pudesse ficar dentro dos módulos e que tivesse argolas para possibilitar sua fixação na estrutura, vide (r). Então, o fio de nylon foi amarrado em toda a circunferência superior e inferior dos módulos (s), a fim de proporcionar a fixação da malha através das argolas de ajuste (h). Em seguida, uma pequena estrutura foi montada utilizando arame liso e varetas de bambu, para poder fixar os CDs de uma forma que seu giro fosse liberado (t).

Posteriormente, com os módulos finalizados e todas suas partes devidamente instaladas, eles foram transportados até o local de testes para a montagem final da torre. No local de testes A, um pequeno pallet de madeira foi posicionado no solo, a fim de propiciar o ajuste de nível da torre. Por fim, os módulos foram instalados em conjunto e a fixação da torre no solo através de tirantes de arame liso foi executada.

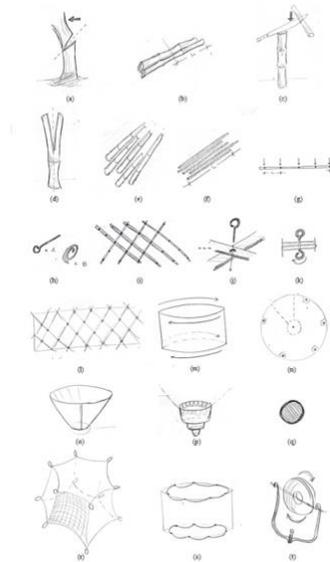


Figura 4 - Etapas ilustrativas de montagem
Fonte: Os autores (2016)

3.4 LOCAIS DE TESTES

Os testes foram realizados nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, nas coordenadas cartesianas $24^{\circ} 03' 43.2''S$ e $52^{\circ} 23' 07.1''$, entre os dias 29 de maio de 2015 e 01 de outubro de 2015. Sua instalação foi devidamente autorizada pela Direção Geral do campus, que incentivou a colocação do projeto em contato com o público, bem como as diretrizes centrais de projeto que este trabalho leva consigo. O protótipo foi posicionado em dois locais (vide figura 5) com condições ambientais diferentes,

a fim de verificar o grau de influências destas adversidades na estrutura e em seu funcionamento.



Figura 5 - Locais de testes, local A à esquerda e local B à direita
Fonte: Os autores (2016)

3.4.1 Local A

Primeiramente, a torre foi posicionada no ponto A devido às características geográficas do terreno. De acordo com os dados meteorológicos dos períodos de testes, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os ventos sopram com uma maior frequência na direção Leste. Com isso, qualquer massa de ar com alto grau de vapor d' água seria obrigada a passar pela estrutura.



Figura 6 - Direção dos ventos esperadas ilustradas pelas setas
Fonte: Os autores (2016)



Figura 7 - Local de testes A
Fonte: Os autores (2016)

Outro fator que se levou em conta para este fato, foi a diferença de cota existente entre o estacionamento da universidade e o terreno onde a torre foi posicionada, como ilustrado na figura 6, em amarelo. Em adição, o local oferece uma maior interação com os acadêmicos que utilizam dos serviços do Restaurante Universitário e desempenham atividades no Bloco H, como ilustrados na figura 7.

3.4.2 Local B

Em segunda oportunidade, o protótipo foi posicionado entre a vegetação adjacente ao Bloco H e Restaurante Universitário, como ilustrado na figura 8. Tal local foi escolhido para analisar se o vento teria caráter de influência significativa na coleta de orvalho, já que a incidência seria menor devido à vegetação que circunda a torre. Além disso, a vegetação poderia influenciar positivamente nos resultados devido à transpiração das plantas, como constatado anteriormente.



Figura 8 - Local de testes B
Fonte: Os autores (2016)

3.5 MÉTODO DE AFERIÇÃO DE COLETA

Anexado ao coletor, foi colocado um recipiente graduado com capacidade de 8 litros, com o intuito de verificar as coletas de orvalho, como ilustrado na figura 9. A inspeção do recipiente e da malha era realizada com frequência, e quando observado alguma alteração, os dados eram recolhidos e a limpeza quando necessária era realizada.



Figura 9 - Reservatório com água
Fonte: Os autores (2016)

3.6 INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

A análise de eficiência do projeto foi realizada a partir do cruzamento de dados obtidos *in locus* com os registros meteorológicos da cidade de Campo Mourão, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no que se referem à temperatura de bulbo seco, umidade relativa, nebulosidade, velocidade e direção do vento. Cabe ressaltar que o INMET disponibiliza três medições diárias destas variáveis, que no período de análise totalizaram-se 378 medições. O instituto disponibiliza todo o histórico em seu website com acesso possível após cadastramento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados analisados a seguir, foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Todos estes dados foram coletados pela estação meteorológica 83783, localizada na cidade de Campo Mourão, Paraná, Brasil, latitude $-24,05^\circ$ e longitude $-52,3667^\circ$. Atualmente, alguns dados meteorológicos encontram-se acessíveis ao público, que podem ser acessados de forma rápida e prática através de um breve cadastramento eletrônico no portal do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, o BDMEP.

Os dados em questão se referem à Umidade Relativa, Temperatura de Bulbo Seco, Direção e Velocidade do Vento, que foram coletados nos horários de 00, 12 e 18 UTC (Coordinated Universal Time). Entretanto, somente os dados das 00 e 18 UTC foram analisados em consequência de a formação de orvalho ocorrer durante a noite (PEREIRA, et al., 2007).

4.2 PONTO DE ORVALHO E UMIDADE RELATIVA

Como constatado anteriormente, a umidade relativa tem efeito direto sobre a temperatura de ponto de orvalho. Utilizando a Equação (2), a temperatura de bulbo seco (T) foi fixada em 20°C , e variou-se a umidade relativa de 0 a 100%. Como pode ser observado no gráfico 1, o ponto de orvalho se aproxima da temperatura de bulbo seco conforme a umidade relativa aumenta, tal fato se dá pelo crescente aumento da quantidade de vapor de água no ar, aproximando o ponto de orvalho (T_o), ou seja, o ponto de condensação da temperatura ambiente. A curva em azul representa a T_o e a reta em laranja demonstra onde os 20°C estão localizados.

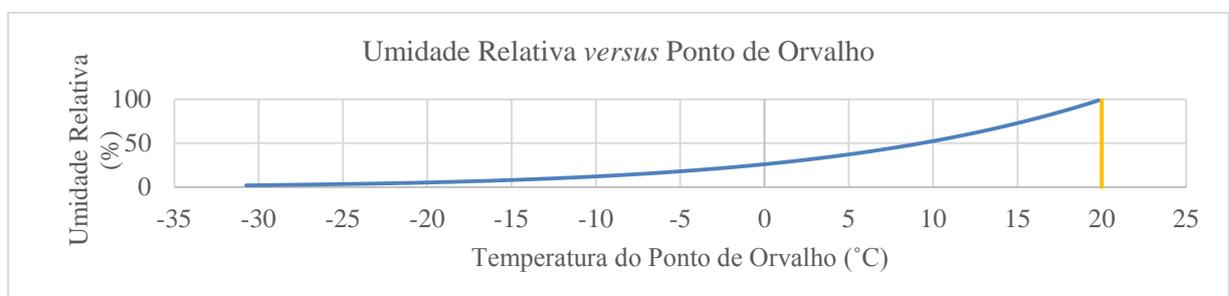


Gráfico 1: Relação entre Umidade Relativa e a Temperatura de Ponto de Orvalho
Fonte: Os autores (2016)

No que diz respeito à umidade relativa da região em análise, foi constatado um valor alto e sem períodos de seca, salvo o breve intervalo em que se manteve baixa, compreendido entre os dias 13 e 26 de setembro, quando registrou-se a menor média diária do período,

equivalente a 72%. Considerando os outros períodos, a UR se manteve entre 80 e 100%, como demonstra o gráfico 2, fator que influencia positivamente na coleta devido ao alto grau de vapor d' água presente no ar.

Outra característica que relaciona a umidade relativa com a temperatura, é o aumento desta devido ao decréscimo daquela. A partir do princípio da Lei de Conservação dos Gases pode-se analisar esta relação com mais detalhes. Dado uma quantidade de ar insaturado e com uma quantia de vapor d' água, se a temperatura diminuir, a mesma quantidade de vapor de água pode saturar-se. Então, para a mesma quantidade de umidade do ar, a umidade relativa pode ser menor para uma temperatura maior, e maior para uma temperatura menor (LAWRANCE, 2005). Com isso, naturalmente, a umidade relativa é maior durante a noite do que durante o dia. Tais fatos podem ser constatados no gráfico 2:

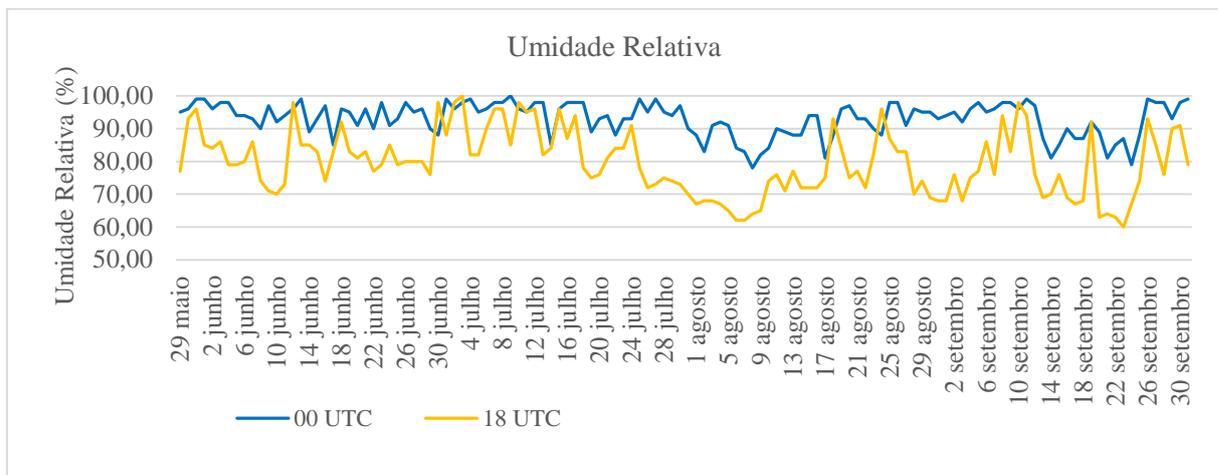


Gráfico 2: Umidade relativa dos UTCs 00 e 18 dos períodos em análise
Fonte: Os autores (2016)

Em outra análise, através da Equação (2), as temperaturas do ponto de orvalho que se encontram ilustradas no gráfico 4, foram calculadas para as medições diárias das 18 e 00 UTC, expostas no gráfico 3. Como esperado, em sua grande maioria as temperaturas calculadas para as 18 UTC foram maiores do que para as 00 UTC, fato este que está ligado diretamente com o acréscimo de umidade relativa com a entrada da noite como exposta no gráfico 3, e o decréscimo da temperatura devido à ausência da insolação como ilustrado no gráfico 2, o que deixa a temperatura de ponto de orvalho bem próxima da temperatura ambiente durante as noites favorecendo a formação de gotículas.

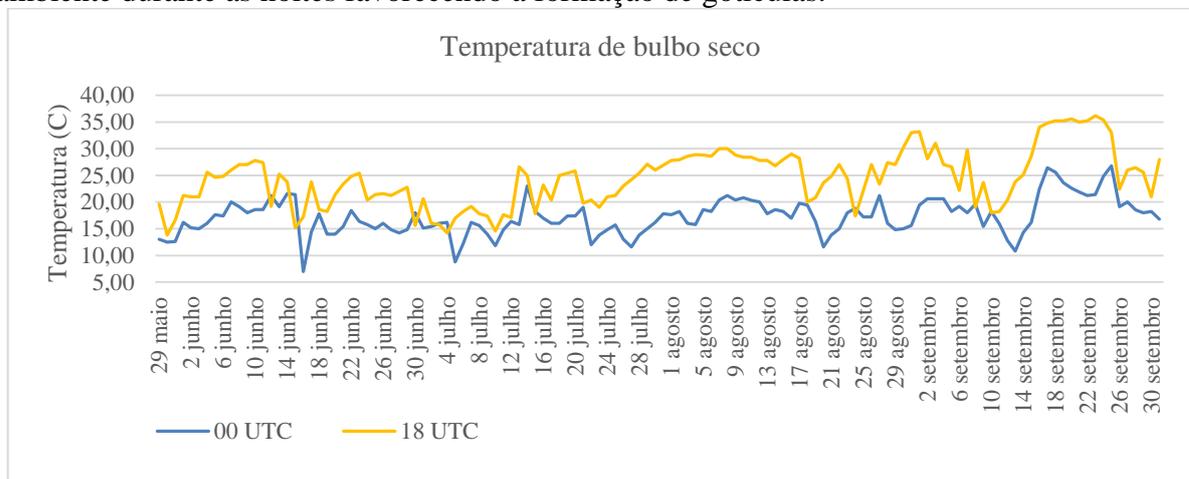


Gráfico 3: Temperaturas de bulbo seco registradas
Fonte: Os autores (2016)

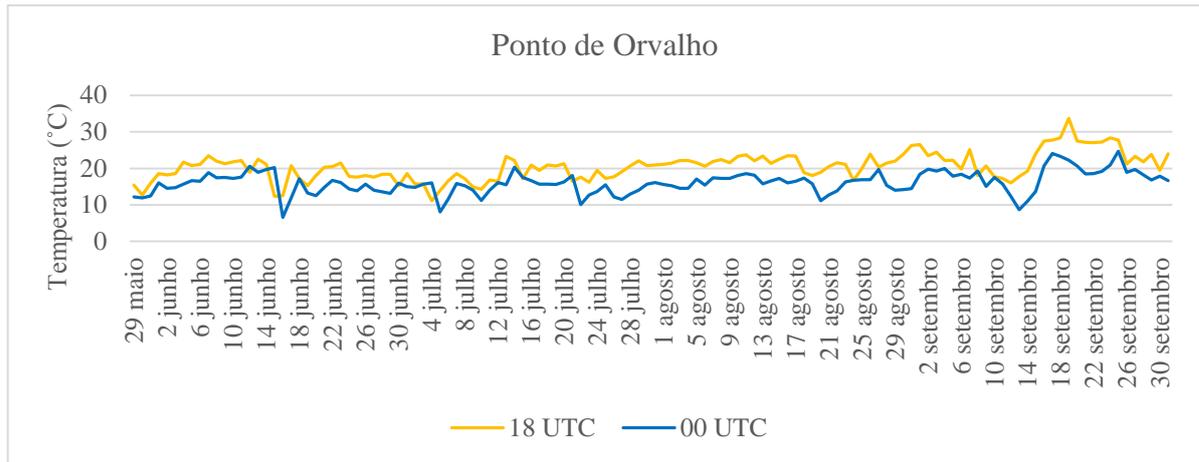


Gráfico 4: Temperatura do ponto de orvalho – registros dos UTCs 00 e 18 do período em análise
Fonte: Os autores (2016)

Como exposto anteriormente, a umidade relativa influencia diretamente no ponto de orvalho. Quanto maior a umidade, mais próximo a temperatura do ponto de orvalho (e de condensação) está da temperatura ambiente. Observando o gráfico 5, pode-se ver o distanciamento entre as linhas da temperatura ambiente e do ponto de orvalho nos momentos em que a umidade relativa apresenta um valor menor do que os usuais. Tal fenômeno ocorre com maior discrepância entre os períodos de 28 de julho à 17 de agosto e 16 de setembro à 26 de setembro.

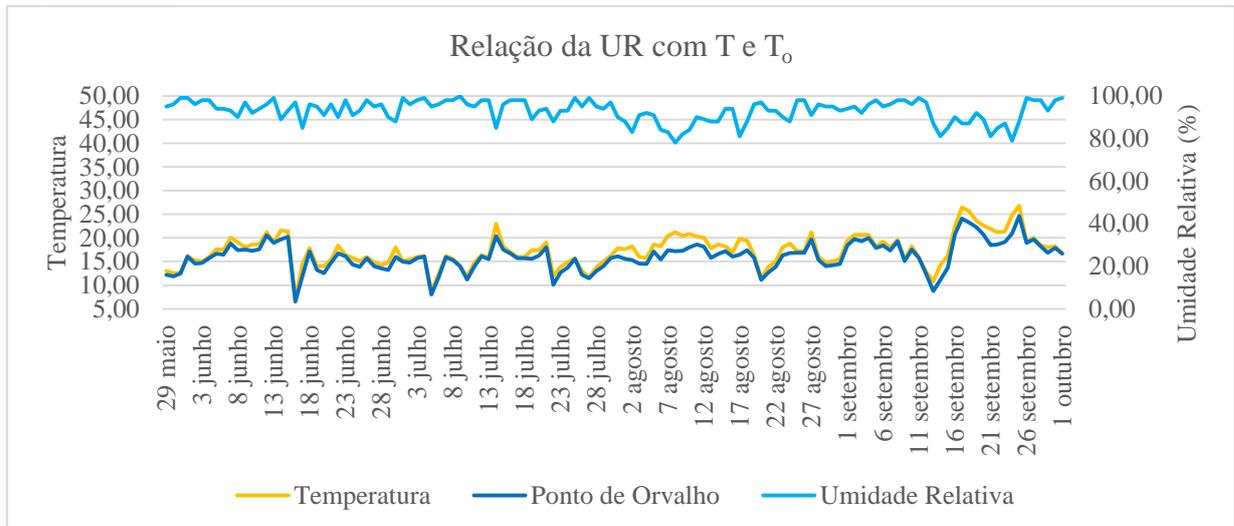


Gráfico 5: Demonstrativo da diferença entre a temperatura de bulbo seco e a temperatura do ponto de orvalho relacionando-as com a umidade relativa.
Fonte: Os autores (2016).

4.3 CHUVAS ACUMULADAS

Apesar de seu design ser voltado para a coleta de orvalho através da passagem de nevoeiro e resfriamento radiativo do solo, a estrutura foi capaz de coletar água pluvial devido ao seu coletor impermeável e com certa grandeza radial. Tal fator contribuiu para a coleta de água potável, atentando-se para a acidez da chuva dependendo da localidade em que a estrutura for instalada.

4.4 COLETA EFETIVA

Dentre as aferições na torre, foram constatadas pequenas formações de orvalho que se deram na malha polimérica, as quais não formaram massa suficiente para que com seu peso se desprendessem da malha e chegassem até o coletor da estrutura ou até o reservatório.

No que se diz respeito às coletas efetivas realizadas pela torre, a mais notória se deu no local A, no dia 6 de junho de 2015, às 7h e 15 minutos do horário local. Observou-se a formação de pequenas gotículas sobre o coletor da estrutura, como pode-se verificar na figura 10.

Como o registro foi realizado na manhã do dia 6, a formação ocorreu na noite do dia 5 para a manhã do dia em questão. Com isso, analisam-se os dados meteorológicos dos dias 5 e 6 de junho de 2015 expostos na tabela 1. O dia 5 registrou temperaturas entre 17,6 e 24,6°C, já o dia 6, por sua vez, 17,4 e 24,8 °C. Temperaturas estas que podem ser consideradas favoráveis devido à pouca variação entre as 18 UTC do dia 5 e 00 UTC do dia 6, como exposto no quadro 2.

Como aludido previamente, quando a condensação ocorre no ar acima do solo, os núcleos de condensação, que são pequenas partículas de água em suspensão, auxiliam o vapor de água à condensar-se devido à atração que ocorre entre elas. Com a variação reduzida, o calor latente do coletor da estrutura manteve-se baixo, isto é, ganhou pouco calor no decorrer do dia através da radiação solar.

O fato de ter ganhado pouco calor, permitiu que ele se resfriasse durante a noite e se aproximasse com maior facilidade do ponto de orvalho, o que tornou a superfície suscetível à formação de gotículas de águas. Outro quesito também constatado, foi a alta umidade relativa registrada as 00 UTC, 94%, um valor alto que favorece a condensação do vapor de água, que pode ser observado na figura 10.



Figura 101 - Manhã do dia 6 de junho de 2015, orvalho formado no coletor
Fonte: Os autores (2016)

4.5 TIPO DE MALHA

Constituída de polipropileno com aberturas quadradas de 3mm e fios de 0,65mm, seu desempenho não foi favorável dado as condições propícias do ambiente para a captação de gotículas de água.

Contudo, a constituição do material da malha polimérica não recebeu atenção necessária a fim de proporcionar uma superfície mais favorável para a formação do orvalho. Somente sua abertura e coloração foram levadas em consideração com espaçamentos reduzidos e de coloração branca.

O polipropileno é tido como um material com uma boa estabilidade térmica (KARIAN, 2003), que em conjunto com os fios da malha de diâmetros relativamente pequenos, possibilitaram uma maior concordância entre a temperatura da malha e do ar. Fato

que não acarreta vantagens à coleta do orvalho porque a temperatura da malha teria que ser menor que a temperatura do ar, ou seja, mais próxima da temperatura do ponto de orvalho.

Esta característica singular pode ser facilmente compreendida quando analisado um fato corriqueiro no cotidiano de qualquer indivíduo que tenha contato com a civilização moderna: a formação de orvalho sobre a lataria dos veículos automotores que geralmente são constituídas por ligas metálicas. Os metais tendem a perder calor mais rápido para o ambiente do que outros materiais, como por exemplo, a madeira (CALLISTER, 2012). Devido a esta característica, as latarias se resfriam mais rapidamente do que o ar, atingindo a temperatura de ponto de orvalho rapidamente.

4.6 LOCAIS EXPERIMENTADOS

Como explicitado anteriormente, o teste foi conduzido em dois locais com características geográficas distintas a fim de verificar a influência da geografia e vegetação na formação efetiva de orvalho na torre coletora. Entretanto, não foi observada diferença significativa entre os experimentos. Acredita-se que a indiferença entre os testes ocorreu pela baixa taxa de coleta que impossibilitou a comparação efetiva dos resultados.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi abordado a capacidade de provimento de água nas dependências da UTFPR-CM através da construção de um protótipo de coleta de orvalho em escala reduzida, sem projeto detalhado e com materiais disponíveis localmente, baseado no projeto WarkaWater. Por meio dos testes realizados, verificou-se a formação de orvalho em pequenas escalas, o que dificultou sua coleta devido à ausência de peso das partículas, impossibilitando sua queda até o reservatório. Entretanto, dados meteorológicos apontam que a região de Campo Mourão se demonstra favorável à exploração deste recurso hídrico, dada suas elevadas medições de umidade relativa, fator crucial para a formação do orvalho.

O orvalho pode ser explorado como uma fonte alternativa de água potável. Recomenda-se que estudos direcionados à temperatura do ponto de orvalho sejam previamente conduzidos na região em análise, a fim de determinar os pontos mais favoráveis para realizar a coleta efetiva. Em adição, o estudo detalhado do material que compõe a malha polimérica seria de grande valia para otimizar o processo de coleta, dado não somente sua composição química, mas também seu arranjo geométrico.

BIBLIOGRAFIA

AGAM, N. & BERLINER, P. R. 2006. **Dew formation and water vapor adsorption in semiarid environments**: a review. *Journal of Arid Environments* 65: 572-590.

AYOADE, J.O. 1996. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; Revisão de Suely Bastos, 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

AYOADE, J. O. 2004. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

BDMEP, **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**, Dados disponíveis em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>, acesso em: 7 de set. 2016.

BERDSEN, R. S. 2008. **Caracterização Anatômica, Física e Mecânica de Lâminas de Bambu (*Phyllostachyspubescens*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

CALLISTER, W. D. 2012. **Ciência Engenharia de Materiais: uma introdução**. 8.ed. Editora LTC.

KARIAN, H. 2003. **Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites**.CRC Press.

LAWRENCE, M. G. 2005. **The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications**. Revista American Meteorological Society, BAMS, p. 225-233.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. 2007. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de Textos: São Paulo.

ONU, Organização das Nações Unidas. **2010. Resolução 64/292**. 108th Plenary Meeting, Genebra, Suíça. Disponível em: <http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292>. Acesso em 02 de julho de 2016.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. 2007. **Meteorologia Agrícola**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, São Paulo.

VITTORI, A. 2016. **Warka Water project website**. Architecture and Vision. Disponível em: <<http://www.architectureandvision.com/warkawater/design>>. Acesso em: 13 de set. 2016.

WHO - World Health Organization., UNICEF *United Nations Children's Fund*. 2014. **Progress on drinking water and sanitation**, Genebra, Suíça.

WHO - World Health Organization., UNICEF *United Nations Children's Fund*. 2009. **Diarrhea: Why children are still dying and what can be done - New York and Geneva**, Genebra, Suíça.