



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**GABRIELA BARROSO DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA REGIONALIZAÇÃO DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR**  
**EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

**FORTALEZA-CE**  
**JANEIRO-2016**

GABRIELA BARROSO DE OLIVEIRA

ANÁLISE DA REGIONALIZAÇÃO DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR EM  
CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia do Departamento de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial  
para obtenção do título de Engenheira  
Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre  
Gomes Costa

Co-orientador: Me José Vidal de  
Figueiredo

FORTALEZA-CE

JANEIRO-2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

O47a Oliveira, Gabriela Barroso de.  
Análise da regionalização do déficit de pressão de vapor em condições semiáridas / Gabriela Barroso de Oliveira. – 2016.  
36 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa.

Coorientação: Prof. Me. José Vidal de Figueiredo.

1. Evapotranspiração. 2. Hidrologia. 3. Bacia Experimental de Aiuaba. I. Título.

CDD 630

---

GABRIELA BARROSO DE OLIVEIRA

ANÁLISE DA REGIONALIZAÇÃO DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR EM  
CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia do Departamento de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial  
para obtenção do título de Engenheira  
Agrônoma

Aprovado em 28/01/2016.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Mestre José Vidal de Figueiredo (Co-orientador).

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra Antônia Leila Rocha Neves (Conselheiro(a))

Universidade Federal do Ceará (UFC)

## RESUMO

DE OLIVEIRA, Gabriela Barroso, Universidade Federal do Ceará. Janeiro de 2016.  
**Análise da regionalização do déficit de pressão de vapor em condições semiáridas.**  
Orientador: Carlos Alexandre Gomes Costa; Co-orientador: José Vidal de Figueiredo.

A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor d'água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada, é denominada de déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar. Objetivou-se avaliar a regionalização do déficit de pressão de vapor do ar em três Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) na região semiárida do Estado do Ceará. Foram utilizados dados horários da temperatura média do ar ( $T_{med}$ ), umidade relativa média do ar ( $UR_{med}$ ) e precipitação, necessários para obtenção e análise do déficit de pressão de vapor (DPV). Os dados são provenientes das estações meteorológicas automáticas de Aiuaba, e Tauá (Sertão dos Inhamuns) e Campos Sales (Cariri), monitoradas pela FUNCEME e pelo INMET respectivamente e referem-se ao período de março de 2008 a março de 2015. As Plataformas de Coleta de Dados (PCD) de Campos Sales e Tauá estão em funcionamento desde março de 2008 e julho de 2007, respectivamente, e a PCD de Aiuaba, que foi instalada em 2008 ainda se encontra em fase de implantação. Avaliou-se a eficiência na coleta de dados, a distribuição temporal do DPV em escala diária, mensal e anual e a relação entre as três PCDs com o intuito de recuperar os dados ausentes na PCD de Aiuaba. Os resultados indicam que a eficiência na coleta de dados foi na ordem de 96%, 98% e 47% para as PCDs de Campos Sales, Tauá e Aiuaba, respectivamente. A PCD de Aiuaba apresentou um déficit em seu banco de dados meteorológicos de 53%, comprometendo assim os resultados do estudo. As três PCDs apresentaram diferenças estatísticas e para conclusão do trabalho foi necessária uma regionalização dos dados. Apesar da PCD de Tauá está na mesma macrorregião de Aiuaba (Sertão dos Inhamuns) a PCD de Campos Sales (macrorregião do Cariri) mais se assemelhou estatisticamente a PCD de Aiuaba.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração. Hidrologia. Bacia Experimental de Aiuaba.

---

## ABSTRACT

DE OLIVEIRA, Gabriela Barroso, Federal University of Ceará. January 2016. **Analysis of regionalization vapor pressure deficit in semi-arid conditions.**

Advisor: Carlos Alexandre Gomes Costa; Co-supervisor: José Vidal de Figueiredo.

The pressure difference between the amount of vapor water in the air and the maximum pressure that can be reached is called the saturation vapor pressure deficit of water in the air. The objective was to evaluate the regionalization of air vapor pressure deficit in three Data Collection Platforms (DCPs) in the semiarid region of the State of Ceará. They used data times the average air temperature ( $T_{med}$ ), average relative humidity ( $UR_{med}$ ) and precipitation needed for obtaining and analyzing the vapor pressure deficit (VPD). The data come from the automatic weather stations Aiuaba, Taua (Hinterland Inhamuns) and Campos Sales (Cariri), monitored by FUNCEME and by INMET and refer to the period from March 2008 to March 2015. Collection Platforms data (PCD) of Campos Sales and Taua are in operation since March 2008 and July 2007, respectively, and the PCD Aiuaba, which was installed in 2008 is still being implemented. We evaluated the efficiency of data collection, the temporal distribution of the DPV in daily scale, monthly and yearly and the relationship between the three PCDs in order to retrieve the missing data in the PCD Aiuaba. The results indicate that the efficiency of data collection was in the order of 96%, 98% and 47% for PCD Campos Sales, Taua and Aiuaba respectively. The PCD Aiuaba had a deficit in its meteorological database of 53%, thus compromising the results of the study. The three PCDs statistical differences and to complete the work regionalization of the data was required. Despite Taua PCD is in the same macro-region of Aiuaba (Hinterland of Inhamuns) Campos PCD Sales (macro-region of Cariri) more statistically resembled PCD Aiuaba.

**Keywords:** Evapotranspiration. Hydrology. Experimental Aiuaba basin

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	9
2.1 Evapotranspiração em condições semiáridas .....	9
2.2 Componentes da equação de Penman-Monteith (FAO) .....	13
2.3 Déficit de Pressão de Vapor (DPV) .....	14
2.4. Regionalização de dados climáticos .....	15
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	17
3.1 Área de estudo .....	17
3.2 Levantamento e análise de consistência dos dados .....	18
3.3 Análise estatística dos dados de DPV .....	20
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
4.1 Análise da distribuição espacial do déficit de pressão de vapor em regiões semiáridas ...	22
4.2 Análise da distribuição temporal do déficit de pressão de vapor em regiões semiáridas..	26
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Todos sabem da importância da água para a existência de vida no planeta Terra e um dos maiores desafios da atualidade, sem dúvida, consiste em um melhor manejo e conservação da água e do solo nos mais diversos campos em que ela se emprega.

Em algumas regiões do mundo a água torna-se um fator limitante, principalmente nas regiões semiáridas onde a distribuição temporal e espacial das chuvas é bastante irregular, sendo o conhecimento do ciclo hidrológico, de extrema importância para que se possa ter uma melhor compreensão da sua dinâmica buscando sempre uma maior eficiência no uso da água.

No semiárido nordestino o clima é caracterizado pela baixa pluviosidade e clima bastante árido, o bioma predominante é o da caatinga com espécies xerófitas e caducifólias como é definido por Lemos (2006) Apesar do clima bastante desfavorável possui uma fauna e uma flora bastante diversificada com alto grau de endemismo. Isso se deve as espécies com aspecto fisionômico, resultante da caducifólia, sendo condicionadas a padrões diversos de sobrevivência como ajustamento osmótico, fechamento estomático, alterações na arquitetura do desenvolvimento radicular e etc. de tal modo que seja possível o desenvolvimento em áreas sujeitas ao déficit hídrico.

A evapotranspiração (ET) é uma das principais variáveis do ciclo hidrológico (SEDIYAMA, 1998), e pode ser determinada por métodos diretos no campo ou por métodos indiretos. Dentre os métodos diretos podemos citar o lisímetro como sendo o mais preciso para determinar a ET, porém segundo Aboukhaled, Alfrano e Smith (1992) e Pereira (2004), por apresentar custos elevados, o uso de lisímetros tem ficado restrito a instituições de pesquisas, sendo sua utilização justificada pela possibilidade da obtenção de medidas precisas e exatas que sirvam de referência na calibração dos métodos de estimativa da ET, tais como as equações empíricas e o método do tanque classe "A". Por tal motivo o mais comum é utilizar dados meteorológicos observados em estações agrometeorológicas automáticas ou convencionais para estimativa da ET pelos métodos indiretos através de equações empíricas.

A utilização de métodos indiretos proporciona resultados satisfatórios, além de minimizar custo e tempo, quando comparado aos métodos diretos. Dentre os métodos indiretos atualmente utilizados, pode-se citar: Blanney-Criddle, Hargreaves,



Tanque Classe A e Penman- Monteith FAO (Hargreaves e Samani, 1985; Mendonça et al., 2003; Turco e Barbosa, 2008).

A obtenção dos dados climáticos para sua posterior utilização nas equações é feita através do banco de dados das estações agrometeorológicas automáticas ou convencionais, porém um dos maiores problemas encontrados é a falta (falhas) de dados contínuos nestas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), se fazendo assim necessário a regionalização de dados para que possa ser feito estimativas das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados insuficientes.

Portanto, objetivou-se analisar a regionalização do déficit de pressão de vapor em condições semiáridas em 03 (três) PCDs instaladas no Estado do Ceará.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Evapotranspiração em condições semiáridas

Em meteorologia o termo evaporação é usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos e em outras superfícies hídras naturais como da sublimação que se processa em superfícies de gelo (geleiras e campos de neve etc.) (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A mudança do estado sólido ou líquido para o estado gasoso corresponde a um aumento da energia cinética das partículas da substância, exigindo por isso, com temperatura constante, o consumo de uma quantidade de energia que, por unidade de massa da substância, é o calor de vaporização (RODRIGUES, 2012).

As condições básicas para a ocorrência do mecanismo são:

a) existência de uma fonte de energia que pode ser a radiação solar, calor sensível da atmosfera ou da superfície evaporante. Em geral, a radiação solar é a principal fonte para a evaporação. A mudança da fase líquida para a fase de vapor consome  $540 \text{ cal g}^{-1}$  a  $100^\circ \text{C}$  e  $586 \text{ cal g}^{-1}$  a  $20^\circ \text{C}$ ; e

b) existência de um gradiente de concentração de vapor, isto é, uma diferença entre a pressão de saturação do vapor na atmosfera ( $e_s$ ) à temperatura da superfície e a pressão parcial de vapor d'água na atmosfera ( $e_a$ ).

A transpiração é a perda d'água para a atmosfera na forma de vapor, decorrente das ações físicas e fisiológicas dos vegetais (através dos estômatos). A taxa de transpiração é função dos estômatos, da profundidade efetiva das raízes, do tipo de vegetação, além dos fatores anteriormente citados.

Segundo Sedyama *et al.* (1996) transpiração é um processo consumidor de energia, que modera a temperatura da folha sujeita a radiação solar ou outras fontes de energia. Uma planta em crescimento ativo absorve a água armazenada do solo e a transporta, na fase líquida, até as folhas.

A transpiração representa um papel muito importante no ciclo da água das culturas. De acordo com Rosenberg, Blad e Verma (1983), apenas 1% da água líquida disponível absorvida pelas plantas é, realmente, envolvida em atividades metabólicas. A maioria da água absorvida pelas raízes das plantas evapora-se no ar, além disso, a

transpiração corresponde à transferência de água, que foi utilizada nos processos metabólicos das plantas, os quais são necessários ao seu crescimento e desenvolvimento, para a atmosfera. Essa transferência ocorre através de estruturas microscópicas, denominadas de estômatos, presentes nas folhas e que permitem a transferência de água da parte interna da planta para a atmosfera (PEREIRA; VILLANOVA; SEDIYAMA., 1997).

Apesar da importância da água para o metabolismo vegetal, assim como para a sua constituição, a quantidade de água existente na planta é pequena, quando comparada com a quantidade de água que passa pela planta através da transpiração. Porém, a transpiração tem efeitos importantes na agricultura tropical, como o resfriamento da folha, pois, para evaporar-se na folha, a água absorve energia térmica desta, reduzindo a temperatura foliar em 2 a 3°C (MILBURN., 1979). Além do resfriamento da folha, a transpiração tem também importância para a aquisição e transporte dos nutrientes do solo para os diferentes tecidos do vegetal. Ainda segundo Milburn (1979), o fluxo transpiratório auxilia o transporte e absorção de nutrientes quando estes são abundantes, mas o principal efeito da transpiração é o resfriamento das folhas, que pode cessar com o fechamento estomático, pois estas são mais capazes de conviver com altas temperaturas que com a falta d'água.

A água perdida para a atmosfera, pela transpiração, é uma consequência inevitável da necessidade de assimilação do CO<sub>2</sub> atmosférico, pela fotossíntese, pois, quando a planta abre os estômatos para a aquisição do CO<sub>2</sub>, ocorre a perda de água pela transpiração (HSIAO; XU, 2000).

O termo evapotranspiração é empregado para exprimir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, proveniente de superfícies vegetadas. A evapotranspiração engloba duas contribuições: a evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e a transpiração resultante da atividade biológica dos seres vivos que o habitam (VAREJÃO-SILVA 2006).

Segundo Costa (1989), a realização plena do fenômeno da evapotranspiração é condicionada por fatores climáticos, do solo e da própria planta. Cita ainda o autor, que no transcurso dos tempos, diversas pesquisas têm mostrado que os fatores climáticos são conhecidamente os que apresentam maior influência nas perdas hídricas por evapotranspiração.

A taxa com que a folha da planta perde água para a atmosfera, no processo de evapotranspiração, depende do gradiente de concentração de vapores entre a

saturação de vapores no mesófilo da célula e da atmosfera circundante. A pressão de vapor d'água no mesófilo da célula depende da temperatura da folha que, por seu turno depende do saldo de balanço de energia que atinge a superfície da folha. Os dois mecanismos, balanço de energia e taxa de transpiração, operam independentemente até alcançarem um equilíbrio para dada condição climática (SEDIYAMA *et al.*, 1996).

Thornthwaite (1948) foi o pioneiro na definição da evapotranspiração potencial. Ele a definiu como sendo a perda de água para a atmosfera através de uma superfície natural coberta com vegetação nativa, sem restrição de água no solo. Quando uma das condições citadas não for atendida, tem-se a evapotranspiração real. Penman (1956), posteriormente, definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água transferida para a atmosfera, na unidade de tempo, por uma cultura verde, de pequeno porte, em crescimento ativo e sem restrição hídrica. (ALLEN *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 2002)

Essa definição foi muito utilizada até que surgiu a necessidade de um conceito mais geral para o termo evapotranspiração, dada às diferenças entre as culturas utilizadas, mesmo se tratando de variedades de grama, no conceito da referida variável. Surgiu então a definição de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Desse modo ET<sub>o</sub> foi definida no Boletim 24 da FAO como: “taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água (DOORENBOS; PRUITT, 1977; JENSEN; BURMAN; ALLEN, 1990; AL-GHOBARI, 2000).

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), a evapotranspiração de uma cultura (ET<sub>c</sub>) pode ser calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) em seus diferentes estádios fenológicos. O coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) é determinado empiricamente e varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento, com o clima e com as práticas agronômicas adotadas. O K<sub>c</sub> representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a evapotranspiração de referência:

- a altura da cultura que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica;
- a resistência de superfície relativa ao binômio solo-planta, que é afetado pela área foliar (determinada pelo número de estômatos), pela fração de cobertura do solo com vegetação, pela idade e condições das folhas, e pela umidade no perfil do solo, e

- pelo albedo da superfície da cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura do solo, pela vegetação e pelo teor de água na superfície do solo, que influencia no saldo de radiação disponível à superfície, que é a principal fonte de energia para as trocas de calor e de massa no processo de evapotranspiração (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, sendo os métodos diretos os que utilizam lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle de umidade do solo e método de entrada e saída de água em grandes áreas. Dos métodos diretos, o procedimento mais preciso para determinar a ET<sub>c</sub> é a utilização de lisímetros. Segundo Aboukhaled *et al.* (1982), por apresentar custos elevados, o uso de lisímetros tem ficado restrito a instituições de pesquisas, sendo sua utilização justificada pela possibilidade da obtenção de medidas precisas e exatas que sirvam de referência na calibração dos métodos de estimativa da ET<sub>c</sub> utilizados pelos irrigantes, tais como as equações empíricas e o método do tanque classe “A”, quando instalado e operado com os devidos cuidados (PEREIRA, 2004).

Os métodos indiretos geralmente se baseiam em fórmulas que combinam diferentes elementos climáticos. Segundo Pereira *et al.* (1997) a evapotranspiração pode ser estimada a partir de uma série de modelos, tais como: Thornthwaite (1948), Monteith (1965), RADIAÇÃO SOLAR (DOORENBOS; PRUITT, 1977), Hargreaves (1977), Blaney-Criddle (1977), Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998), entre vários outros. As diferentes equações necessitam de ajustes às condições locais, pois podem apresentar em determinadas épocas do ano super ou sub estimativas, dependendo do clima da região.

Segundo Allen *et al.* (1998) vários são os métodos empíricos criados, por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da ET<sub>c</sub> utilizando diferentes elementos climáticos. No entanto, tais métodos somente estimam de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima em que são desenvolvidos, e quando utilizados em condições diferentes podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos. Com isso, a FAO observou a necessidade de se obter um método padrão que se adaptasse a diferentes localidades e climas, criando o método Penman-Monteith FAO 56 (PM FAO-56) que foi derivado da equação original de Penman (1948).

## 2.2 Componentes da equação de Penman-Monteith (FAO)

O método PM FAO-56 é bastante utilizado em trabalhos para avaliar e calibrar diferentes equações empíricas (*apud* Oliveira *et al.*, 2005), Oliveira e Carvalho (1998), Vescove e Turco (2005) e (ALLEN *et al.*, 1998) Embora seja um método complexo, concilia os aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, incluindo a resistência ao transporte de calor sensível e de vapor d'água e a resistência da superfície à transferência de vapor d'água, fatores que nenhum outro método leva em consideração e que proporciona melhor precisão (OLIVEIRA, 2003). De acordo com Medeiros (2002), diversos trabalhos científicos têm mostrado que o desempenho do método de PM FAO-56 na estimativa da ETo é satisfatório, quando comparado com medidas lisimétricas. No entanto, muitas vezes nem todos os elementos meteorológicos necessários para o uso desse modelo encontram-se disponíveis.

Os fatores físicos e fisiológicos que regem no processo da evapotranspiração estão representados pela equação de Penman-Monteith (PM-FAO 56) (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 1).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{273 + T_m} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 - 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que;

**ETo** = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

**Rn** = radiação líquida na superfície da planta (MJ .m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

**G** = densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

**Tm** = temperatura média do ar a 2 metros de altura (°C);

**u<sub>2</sub>** = velocidade do vento a 2 metros de altura (m s<sup>-1</sup>);

**es** = pressão de saturação de vapor (kPa);

**ea** = pressão atual de vapor (kPa);

**Δ** = declividade da curva de pressão de vapor (kPa.°C<sup>-1</sup>);

**γ** = constante psicrométrica (kPa.°C<sup>-1</sup>);

**0,408** = fator de conversão para o termo (Rn - G), de MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para mm dia<sup>-1</sup>.

### 2.3 Déficit de Pressão de Vapor (DPV)

Um elemento meteorológico importante para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por Penman-Monteith é o déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (DPV) (DOORENBOS; PRUITT, 1975)

Vários métodos de cálculo de DPV são descritos na literatura (JENSEN, 1974; DOORENBOS & PRUITT, 1975; SADLER & EVANS, 1989; JENSEN; BURMAN; ALLN, 1990; HOWELL; DUSEK, 1995; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997; ALLEN *et al.*, 1998), sendo que alguns não são práticos, e suas estimativas diferem estatisticamente entre si (PEREIRA *et al.*, 1997 b).

A umidade relativa é definida como a relação entre a quantidade de vapor d'água existente numa amostra de ar úmido e a quantidade máxima que este ar poderia reter a determinada temperatura. A evaporação ocorre quando as moléculas de um líquido vencem a força de atração entre si e escapam de uma lâmina d'água passando à forma de vapor. Neste instante o ar está saturado de vapor d'água. Para cada temperatura este equilíbrio ocorre a uma determinada pressão de vapor, denominada pressão de saturação de vapor ou pressão máxima de vapor. A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor d'água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada, é denominada de déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPV). Essa diferença é uma medida do poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação, uma vez que depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (VIEIRA, 2009).

O aumento da umidade relativa do ar diminui a transpiração das plantas devido à diminuição do gradiente de concentração de vapor entre a cavidade estomática e o ar adjacente à folha, mediada pela redução do déficit de saturação de vapor do ar. (VALANDRO *et al.*, 1999; RIGHI, 2000).

O déficit de pressão de vapor pode ser utilizado para fazer estimativas como, por exemplo, conhecer os melhores horários para as pulverizações e assim como prever algumas respostas fisiológicas como a taxa fotossintética e condutância estomática.

Através dos dados da temperatura média (T<sub>med</sub>), podemos calcular a pressão de saturação de vapor (e<sub>s</sub>), através da equação de Tetens (Vianello e Alves, 2004) (Equação 2).

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left(\frac{7,5 \times T_s}{273,3 + T_s}\right)} \text{ Para } T \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Em que;

$e_s$  = Pressão de saturação de vapor em kPa

$T_s$  = Temperatura em  $^\circ\text{C}$

A pressão de vapor atual ( $e_a$ ) é obtida em função da umidade relativa média do ar ( $UR_{med}$ ) e da pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), (Equação 3)

$$e_a = e_s \times UR_{med} \quad (3)$$

Em que;

$e_a$  = Pressão de vapor atual em kPa

$e_s$  = Pressão de saturação de vapor em kPa

$UR_{med}$  = Umidade relativa média

O déficit de pressão de vapor (DPV) é calculado a partir da diferença entre a pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) e pressão atual de vapor ( $e_a$ ). (Equação 4)

$$DPV = e_s - e_a \quad (4)$$

Em que;

DPV = Déficit de pressão de vapor em kPa

$e_s$  = Pressão de saturação de vapor em kPa

$e_a$  = Pressão de vapor atual em kPa

## 2.4 Regionalização de dados climáticos

A regionalização de dados pode ser definida como um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados insuficientes (TUCCI, 2000)

A existência de falhas nas séries históricas se deve, basicamente, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações, entretanto,



como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam ser preenchidas (STRECK ET AL., 2009; BERTONI; TUCCI, 2007).

Para o preenchimento das falhas nas séries históricas, Leivas *et al.* (2005) recomendam a seleção das estações meteorológicas da mesma região ecoclimática e altitude semelhante, caracterizando-a como hidrológicamente homogênea.

Ideia compartilhada por Tucci (1993) o qual, enfatiza que através da regionalização hidrológica empregando métodos estáticos, é possível chegar a grupos homogêneos com semelhança na resposta hidrológica de cada região. Ainda para este autor, a regionalização é utilizada para identificar áreas que apresentem um comportamento semelhante e, assim respostas hidrológicas podem ser correlacionadas, facilitando, desta maneira, a transposição de informações entre regiões. O que favorece a correção de falhas de observações existentes.

Considera-se, desta forma, que a aplicação de um modelo empírico de ajuste de dados para a utilização no preenchimento de falhas pode ser uma ferramenta útil nos estudos de gestão de recursos hídricos, facilitando o conhecimento do comportamento hidrológico permitindo, assim, uma análise ampliada dos recursos hídricos (Barnetche; Kobiyama, 2006).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

Os dados utilizados neste estudo foram coletados nas PCDs (Plataforma de Coleta de Dados) de Aiuaba, Campos Sales e Tauá, todas localizadas na região sudoeste do Estado do Ceará.

A PCD de Aiuaba (Código: 31855) é monitorada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), localiza-se na região dos Inhamuns no município de Aiuaba-CE, sua abertura foi em 2008, com Latitude: 06° 42' 50" S', Longitude: 40° 18' 26"W', Altitude: 466 m e Precipitação média de 560 mm anuais. A vegetação é do tipo caatinga arbórea a sub-arbórea densa.

Esta PCD é composta por um Ultrassônico de vento (velocidade e direção do vento), um sensor HMP (temperatura e umidade relativa do ar), um radiômetro (radiação solar global), um pluviômetro (precipitação) e um barômetro (pressão atmosférica).

A PCD de Campos Sales A347 (Código: 81909) está situada na região do Cariri, município de Campos Sales-CE, seu funcionamento ocorreu a partir de 08/03/2008, com Latitude: 07° 04' 39" S, Longitude: 40° 21' 45" W'', Altitude: 580 m e precipitação média de 600 mm anuais. A vegetação é diversificada, apresentando domínios de cerradão, caatinga e cerrado.

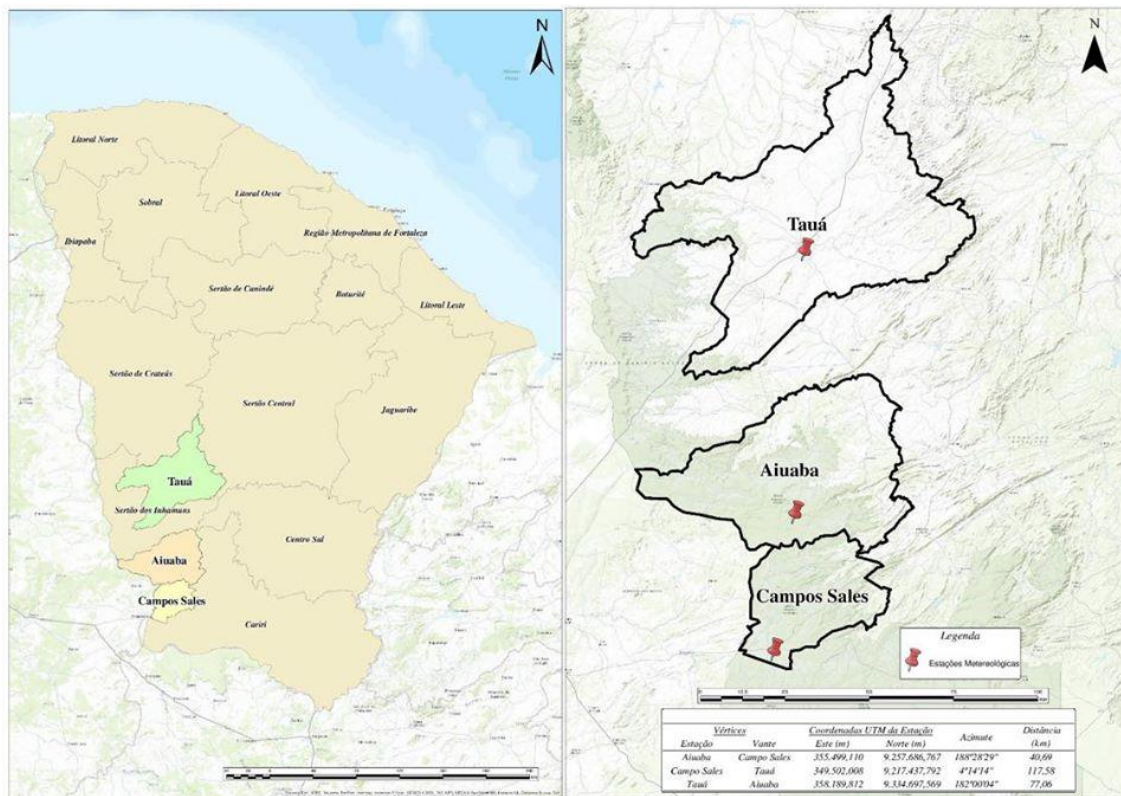
A PCD de Tauá A324 (Código: 81872) está localizada na região dos Sertões do Inhamuns, no município de Tauá- CE, foi aberta em 12/07/2007, com Latitude 06°.01'02" S, Longitude: 40°.16'52" W'', Altitude: 410 metros e precipitação média de 400 mm anuais.

As PCDs de Tauá e Campos Sales são estações meteorológicas de superfície automática monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). São compostas de uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção, velocidade do vento e etc), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora.

Na Figura 01 temos o mapa do Estado do Ceará dividido em macrorregiões, com a localização de cada PCD. As PCDs de Tauá e Aiuaba pertencem a macrorregião do Sertão dos Inhamuns e a PCD de Campos Sales está localizada na macrorregião do Cariri. A distância da PCD de Tauá para a PCD de Campos Sales é de 118 km, da PCD

de Tauá para a PCD de Aiuaba é de 78 km e da PCD de Campos Sales para Aiuaba é de 41 km.

Figura 01 - Mapa do Estado do Ceará dividido em macrorregiões, com a localização das Plataformas de Coletas de Dados de Tauá, Aiuaba e Campos Sales.



### 3.2 Levantamento e análise de consistência dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram adquiridos através do banco de dados das estações meteorológicas automáticas da FUNCEME e do INMET.

Foram utilizadas variáveis meteorológicas horárias de temperatura média do ar ( $T_{med}$ ), umidade relativa média do ar ( $UR_{med}$ ) e precipitação, compreendidas entre março de 2008 à março de 2015, variáveis estas essenciais para obtenção do DPV.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado a partir da diferença entre a pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) e a pressão atual de vapor ( $e_a$ ) (Equação 5).

$$DPV = e_s - e_a \quad (5)$$

onde;

DPV= déficit de pressão de vapor em kPa

$e_s$  = pressão de saturação de vapor em kPa

ea= pressão de vapor atual em kPa

A pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) é calculada a partir da temperatura média do ar ( $T_{med}$ ), conforme equação de Tetens (Vianello e Alves, 2004) (Equação 6).

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left(\frac{7,5 \times T_S}{273,3 + T_S}\right)} \text{ Para } T \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

onde;

$e_s$  = Pressão de saturação de vapor em kPa

$T_S$  = Temperatura em  $^\circ\text{C}$

A pressão de vapor atual foi obtida em função da umidade relativa média do ar ( $UR_{med}$ ) e da pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), (Equação 7).

$$ea = es \times UR_{med} \quad (7)$$

onde;

ea= Pressão de vapor atual em kPa

es= Pressão de saturação de vapor em kPa

URmed = Umidade relativa média

Para cada variável foram utilizados 61.344 dados, que foram organizados em escala temporal horária, mensal e anual para cada PCD, por meio de planilha eletrônica e inseridos no programa SigmaPlot, v 11, gerando os gráficos de DPV.

A PCD de Aiuaba apresentou diversas falhas durante o período em estudo, principalmente no ano de 2011, onde não houve nenhum registro, tendo dessa forma a necessidade de uma análise estatística para saber se as PCDs diferem estatisticamente. para posterior regionalização dos dados.

### 3.3 Análise estatística dos dados de DPV

Na avaliação dos valores de DPV entre as PCD'S (Aiuaba, Campos Sales e Tauá) as análises estatísticas foram realizadas através de análise de variância(ANOVA),da regressão linear e obtenção dos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ); raiz do erro médio quadrático (REMQU) e coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE).

Após correlacionar os valores de DPV pela análise de regressão, podemos analisar sua qualidade pelo  $R^2$ ,(Equação 8), que indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados, variando de 0 (zero) a 1(um)

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2) (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)}} \right)^2 \quad (8)$$

Em que;

$R^2$ =coeficiente de determinação

$X$  = i-ésima observação da variável  $X$ ;

$\bar{X}$  = média das observações da variável  $X$ ;

$Y_i$  = i-ésima observação da variável  $Y$ ;

$\bar{Y}$  = média das observações da variável  $Y$

$n$  = número de observações.

A raiz do erro médio quadrático (REMQU) (Equação 9), indica o grau de similaridade entre os dados medidos e os estimados usando os modelos, sendo o valor ideal igual a zero. A REMQU é mais sensível a valores extremos.

$$REMQU = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [X'_i - X_i]^2} \quad (9)$$

em que;

REMQU = raiz do erro médio quadrático

$X_i$  = dados medidos;

$X'_i$  = dados estimados

$N$  = número de pontos observados.

O coeficiente definido por Nash e Sutcliffe (1970) (Equação 10) traduz a similaridade da variabilidade entre duas variáveis. É um indicador da similaridade de quantificação, considerado relevante na avaliação de confiança e eficiência de modelos e é um critério estatístico importante para avaliar a precisão de modelos (MACHADO *et al.*, 2003).

$$\text{NSE} = 1 - \left[ \frac{\sum(Y_m - Y_c)^2}{\sum(Y_m - \bar{Y}_m)^2} \right] \quad (10)$$

em que;

NSE = coeficiente de Nash e Sutcliffe, ( $-\infty < \text{NSE} < 1$ );

$Y_m$  = valor medido;

$Y_c$  = valor calculado;

$\bar{Y}_m$  = média dos valores medidos.

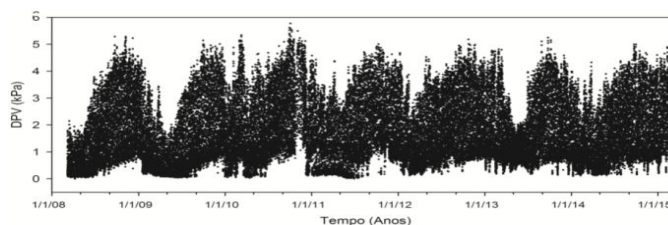
Este coeficiente pode variar de  $-\infty$  até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de NSE superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor de NSE fica entre 0,36 e 0,75. Quando o coeficiente NSE apresentar valores menores que zero indica que o valor médio da série de dados em estudo é um melhor indicador que a estimativa usando o modelo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise da distribuição espacial do déficit de pressão de vapor em regiões semiáridas

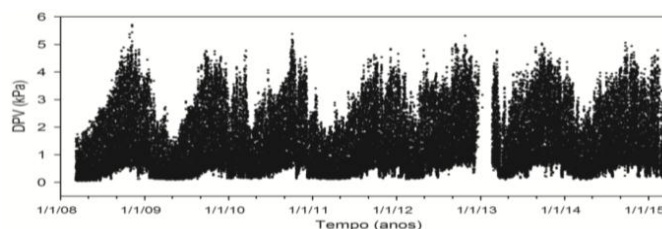
Os gráficos presentes nas Figuras 02, 03 e 04 representam as distribuições anuais do DPV para as plataformas de coleta de dados (PCD) de Tauá, Campos Sales e Auiaba, respectivamente. Mais de 60 mil dados de DPV foram utilizados para Tauá e Campos Sales e mais de 28 mil em Auiaba, compreendidos entre março de 2008 à março de 2015.

Figura 02- Dados horários do déficit de pressão de vapor (DPV) calculados entre MAR/2008 à MAR/2015, na Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do INMET (Tauá.)



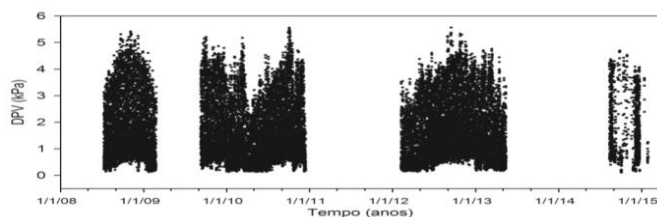
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 03- Dados horários do déficit de pressão de vapor (DPV) calculados entre MAR/2008 à MAR/2015, na Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do INMET (Campos Sales).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 04- Dados horários do déficit de pressão de vapor (DPV) calculados entre MAR/2008 à MAR/2015, na Plataforma de Coleta de Dados (PCD) da FUNCEME (Auiaba)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao analisarmos as Figuras 02, 03 e 04, observamos que a PCD de Auiaba apresentou diversas falhas durante o período em estudo, e no ano de 2011 não tivemos

nenhum registro. Aproximadamente 53% dos dados não foram registrados para todo o período, ou seja, mais da metade dos dados não foram adicionados ao banco de dados meteorológicos, inclusive o ano de 2011 que não teve nenhum registro de coleta de dados, isso dificulta consideravelmente quaisquer análises de ambiente que se refere à hidrologia. Apesar das PCDs serem bastante modernas, ainda existe a possibilidade de ocorrer falhas.

As hipóteses para este acontecimento seriam falhas na transmissão via satélite e a falta de equipes para manutenção, tendo em vista a grande demanda de funcionários que uma PCD ou uma estação meteorológica exige para que seu monitoramento e assistência sejam feitos de forma eficiente.

Mesmo as PCDs que são automáticas, necessitam de constante manutenção seja para averiguação de uma possível avaria no equipamento ou para uma simples troca de bateria. A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) justifica que contam com apenas uma equipe reduzida para atender todas as PCDs do Estado do Ceará e que ocorre com frequência a perda de dados de algumas PCDs.

Para utilizarmos a técnica de regionalização dos dados climatológicos de uma PCD ou estação meteorológica vizinha é necessário saber se elas apresentam compatibilidade. Através da análise de variância (ANOVA) constatamos que as três PCDs são diferentes estatisticamente a um nível de 5%, conforme Tabela 01.

Tabela 01 – Análise de variância entre as PCDs de Tauá, Campos Sales e Tauá.

<b>Comparação entre PCD'S:</b>	<b>Classificação</b>	<b>Q</b>	<b>P&lt;0,05</b>
Tauá vs Campos Sales	11.171,440	45,184	Sim
Tauá vs Aiuaba	3.376,511	11,021	Sim
Aiuabavs Campos Sales	7.794,930	25,376	Sim

Fonte: Elaborada pelo autor.

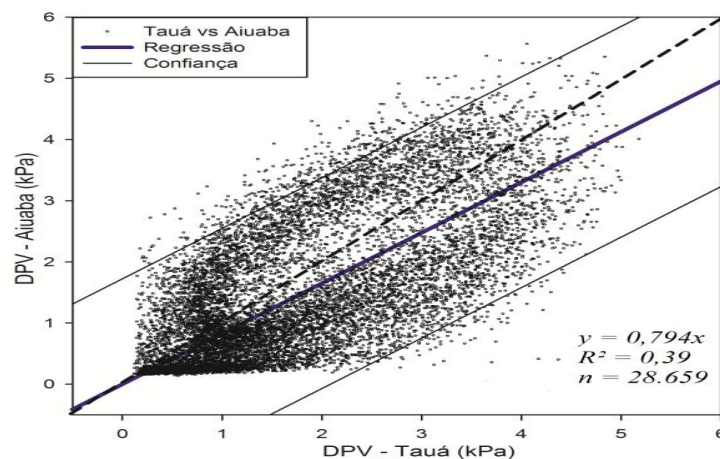
Dessa forma surge a necessidade de fazer uma comparação entre as PCDs através da regressão linear e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para avaliarmos quais das PCDs (Tauá e Campos Sales) melhor representaria a PCD de Aiuaba, apesar de serem diferentes estatisticamente. Com esta análise pode-se utilizar os dados da PCD que melhor apresenta ajuste dos dados.

Através das figuras 05 e 06 é possível observar a relação dos resultados do déficit horário de pressão de vapor do ar (DPV kPa) entre as três PCDs.



Na figura 05, temos a relação entre o déficit horário de pressão de vapor do ar da Plataforma de Coleta de Dados de Tauá vs Aiuaba. Se a linha de regressão linear estivesse em cima da linha tracejada, significaria que os valores de DPV entre as duas localidades seriam aproximadamente equivalentes, porém observa-se que os dados de Tauá são ligeiramente maiores que os de Aiuaba, conforme demonstrado pela equação da regressão linear, que apresenta coeficiente angular de 0,794. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,39, isto representa uma baixa relação entre as PCDs das respectivas localidades.

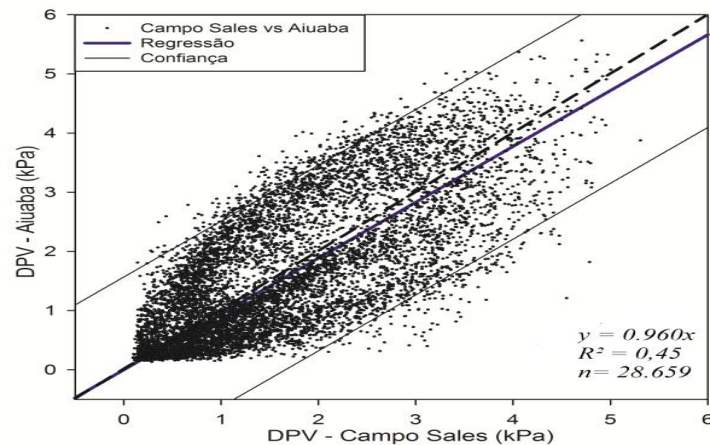
Figura 05 Relação entre o déficit horário de pressão de vapor do ar da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de Aiuaba vs Tauá (Dados Bruto).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 06, temos a relação entre o déficit horário de pressão de vapor do ar da Plataforma de Coleta de Dados de Aiuaba vs Campos Sales. O coeficiente angular foi de 0,960, dando bem próximo a 1(um) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,45, ou seja 45% da variação total dos dados entre as PCDs é comum entre elas, sendo sua relação também abaixo do ideal, porém podemos observar que os dados da figura 06 (Campos Sales vs Aiuaba) estão mais ajustados que na figura 05 (Tauá vs Aiuaba), devendo ser a PCD de Campos Sales a escolhida para o preenchimento dos dados de Aiuaba tendo em vista que o coeficiente angular se aproxima mais de 1, o  $R^2$  é maior, a linha de confiança tem menor amplitude mostrando maior homogeneidade entre os dados, além da proximidade geográfica entre as PCDs

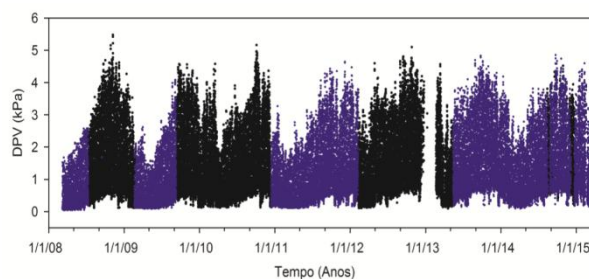
Figura 06 Relação entre o déficit horário de pressão de vapor do ar da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de Aiuaba vs Campos Sales. (Dados Bruto)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Utilizando a equação de regressão linear de Campos Sales vs Aiuaba, obtivemos a variação anual do déficit de pressão de vapor para a PCD de Aiuaba conforme a Figura 07, onde os pontos em preto representam os dados medidos da PCD de Aiuaba enquanto que os pontos em azul representam os dados estimados a partir da equação de regressão linear da Figura 06 (Campos Sales vs Aiuaba). As falhas que observamos entre o final de 2012 e início de 2013 devem-se as falhas na PCD de Campos Sales, sendo refletida nos dados estimados de Aiuaba, já que um depende do outro.

Figura 07- Dados horários do déficit de pressão de vapor (DPV) após preenchimento de falhas, entre MAR/2008 á MAR/2015 na Plataforma de Coleta de Dados (PCD) da FUNCEME (Aiuaba).



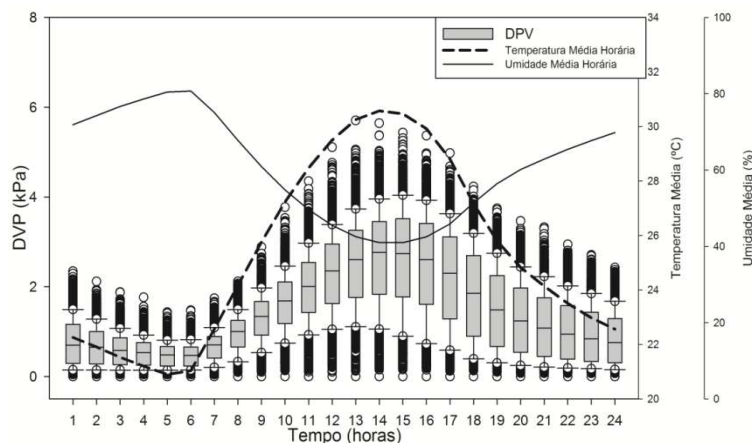
Fonte: Elaborada pelo autor.

O parâmetro estatístico utilizado para avaliar o desempenho do modelo de preenchimento de dados para a PCD de Aiuaba foi a raiz do quadrado médio do erro (RQME) e o Nash e Sutcliffe (NSE), que foram respectivamente 0,87 e 0,45, o qual caracteriza baixa variância entre o valor medido e o estimado, denotando-se portanto uma boa confiabilidade nos modelos utilizados para estimativa e análise dos dados estudados.

## 4.2 Análise da distribuição temporal do déficit de pressão de vapor em regiões semiáridas

A temperatura do ar varia de acordo com a radiação solar recebida. Podemos observar na Figura 08 que o horário mais quente do dia é aproximadamente às 14h-15h ( $T = 31^{\circ}\text{C}$ ), e não 12h ( $T = 29^{\circ}\text{C}$ ), quando temos a posição do sol perpendicular à superfície terrestre, pois o calor que sentimos é o que desprende das partículas do solo depois de aquecido, e não o da incidência direta do sol. Conforme a radiação solar vai diminuindo a temperatura também diminui até chegar ao seu valor mínimo ( $T = 21^{\circ}\text{C}$ ), às 5h da manhã, quando a partir daí a radiação solar se inicia.

Figura 08–Variação horária do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Campos Sales.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A umidade relativa do ar varia com a temperatura. Tem seu valor máximo às 05h da manhã onde a umidade é de 80%, coincidindo com o menor valor de temperatura e valor mínimo às 14h aonde a umidade chega 40%, quando temos a maior temperatura do dia. Com o aumento da temperatura a pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) aumenta, ou seja, a capacidade do ar em reter água é maior, diminuindo assim a umidade do ar (Figura 08).

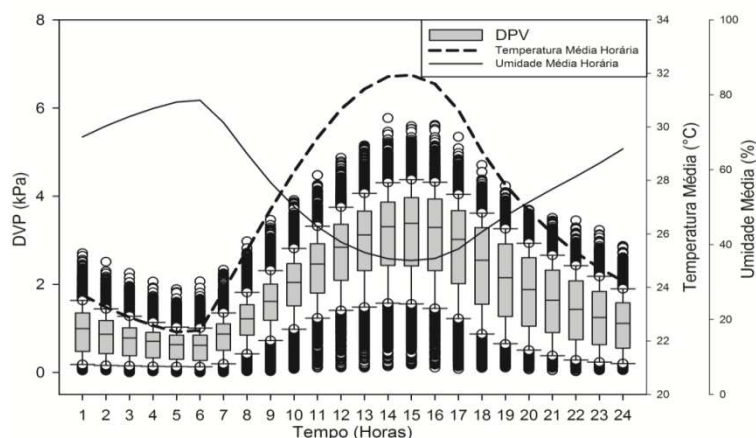
O DPV tem sua variação inversamente proporcional à umidade. Quando temos os menores valores de DPV observamos os maiores valores de umidade e nos maiores valores de DPV observamos os menores valores de umidade (Figura 08).

Como foi mencionado anteriormente com o aumento da temperatura temos o aumento da pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) e conseqüentemente o aumento do

DPV, entretanto, mesmo nos horários mais quentes do dia, (aproximadamente 14h-15h) podemos observar alguns valores de DPV baixos e até mesmo chegando à zero, o que pode ser explicado pelos dias chuvosos ou com alta nebulosidade o que acaba resultando em uma temperatura mais amena. Da mesma forma observamos valores altos de DPV em horários de baixa temperatura onde sugerimos que sejam de dias mais quentes e consequentemente noites mais quentes.

Na Figura 09 temos a variação horária do déficit de pressão de vapor da PCD de Tauá, onde verificamos que o comportamento do DPV em relação à temperatura e umidade é o mesmo observado em Campo Sales, porém em Tauá foram registrados maiores valores de DPV, temperatura e, portanto menores valores de umidade do ar.

Figura 09 - Variação horária do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Tauá.

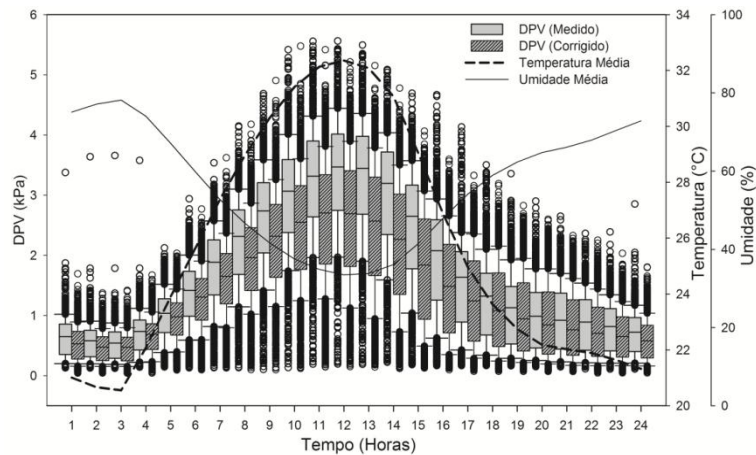


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 10 (PCD de Aiuaba), verifica-se que nos horários mais quentes do dia, (aproximadamente às 15h), os valores de DPV (medido) ultrapassaram 3 kPa além de possuir muitos valores extremos. Nos horários mais frios notam-se também alguns valores extremos o que podemos sugerir ser das falhas observadas na Figura 04.

Os valores hachurados representam os valores de DPV corrigidos com o preenchimento, observamos uma diminuição nos valores de DPV em comparação aos dados não modelados (Figura 10).

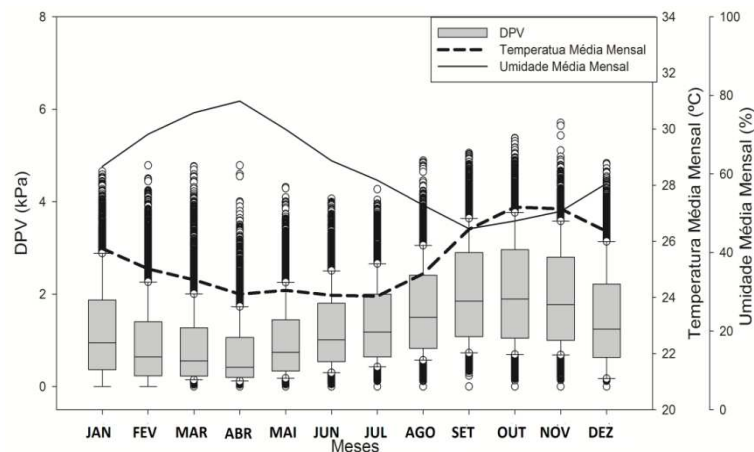
Figura 10–Variação horária do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Aiuaba. Valores com hachuras representam DPV com preenchimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 11 observa-se que os meses de temperatura mais elevada são os de setembro, outubro, novembro e dezembro, coincidindo com a estação seca da região, já em janeiro, fevereiro, março e abril são os meses onde teremos os menores valores de temperatura já que a região se encontra na época invernal. Os meses de maio, junho, julho e agosto, consideram-se como meses de transição.

Figura 11 - Variação mensal do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Campos Sales.



Fonte: Elaborada pelo autor.

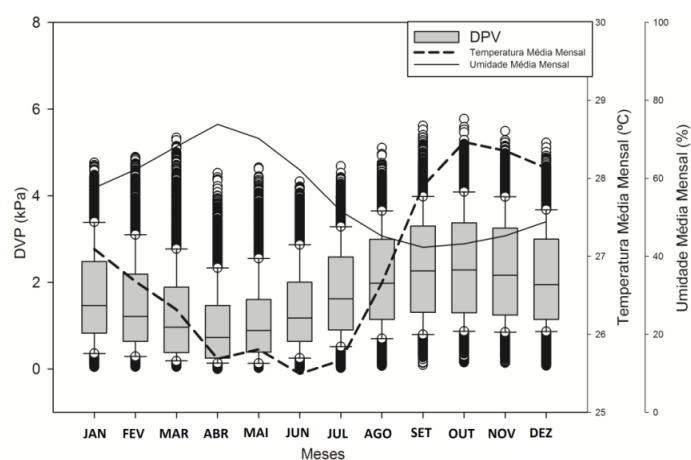
A umidade aumenta na quadra invernal, chegando ao seu máximo a 80%, no momento em que a temperatura apresenta seus menores valores ( $T = 24^\circ$ ). Nos meses de transição verificamos que a umidade vai diminuindo até chegar aos meses de estiagem com o seu valor mínimo em setembro (47%), quando a temperatura começa a aumentar registrando, aproximadamente,  $T = 26^\circ$  nesse mesmo mês. (Figura 11).

O DPV se comporta de acordo com a temperatura, nos meses chuvosos apresenta menores valores e nos meses de seca mostra maiores valores.

Os valores extremos nos meses chuvosos podem ser explicados pelos anos em que houve precipitação anual abaixo da média.

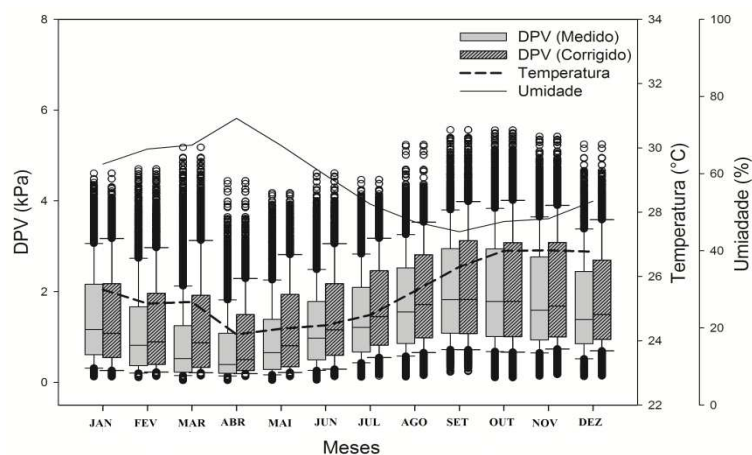
Nas Figuras 12 e 13, as variáveis estudadas (temperatura, umidade e DPV) nas PCDs de Tauá e Aiuaba têm aproximadamente o mesmo comportamento da PCD de Campos Sales, porém Tauá apresenta os maiores valores de temperatura, aproximadamente  $T = 28,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e DPV, aproximadamente  $\text{DPV} = 2,3\text{ kPa}$ , entre as três PCDs.

Figura 12 - Variação mensal do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Tauá.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 - Variação mensal do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Aiuaba.

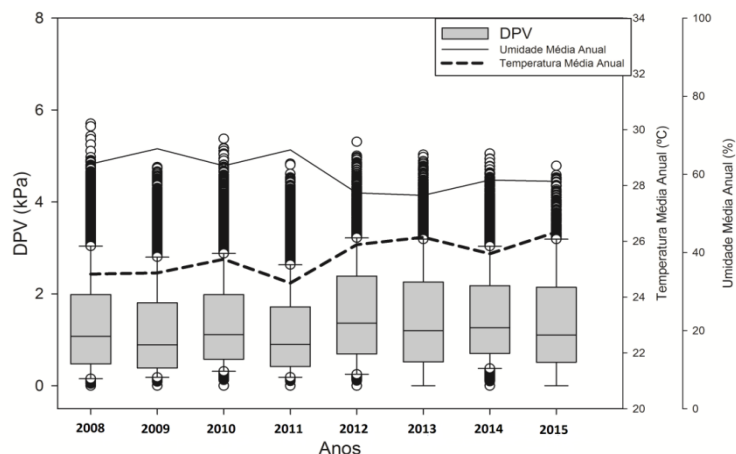


Fonte: Elaborada pelo autor.

As menores temperaturas foram registradas no ano de 2011 (Figura 14), o que podemos sugerir ser reflexo das grandes chuvas registrada em 2009 e 2010. A partir de 2011 a temperatura aumenta já que os anos seguintes são de pouca precipitação. A

umidade variando de acordo com a temperatura e DPV, tendo seus valores máximos nos anos de 2009 e 2011 (UR= 70%) e seus valores mínimos em 2013 e 2014 (UR = 55%). Os valores extremos do DPV ficaram acima de 4 kPa podendo ser explicado pelas precipitações anuais que de um modo geral foram abaixo do esperado.

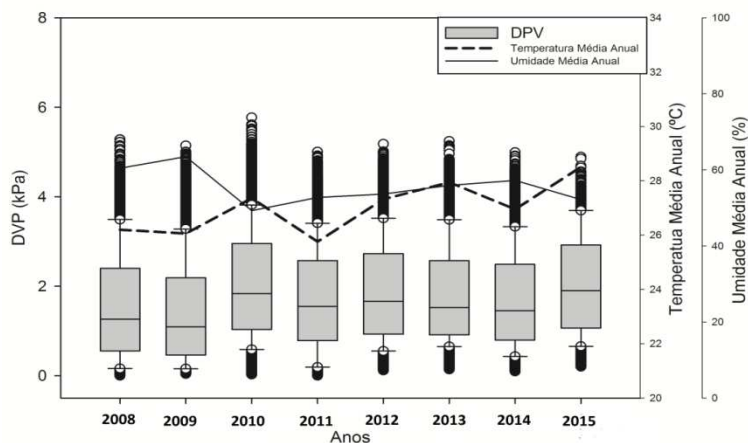
Figura 14 – Variação anual do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 á MAR/2015, na estação do INMET de Campos Sales.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As variações anuais do déficit de pressão de vapor e temperatura da PCD de Tauá (Figura 15) foram superiores as variações da PCD de Campos Sales.

Figura 15 – Variação anual do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Tauá.

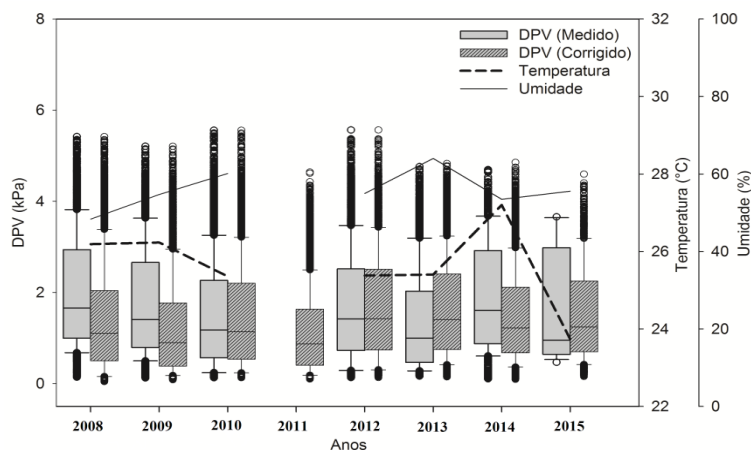


Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise da Figura 16 ficou bastante comprometida devido à grande quantidade de falhas nos dados coletados. Os valores hachurados representam os valores

de DPV corrigidos com o preenchimento, apresentando no ano de 2013 um aumento nos valores de DPV em comparação com os dados não modelados.

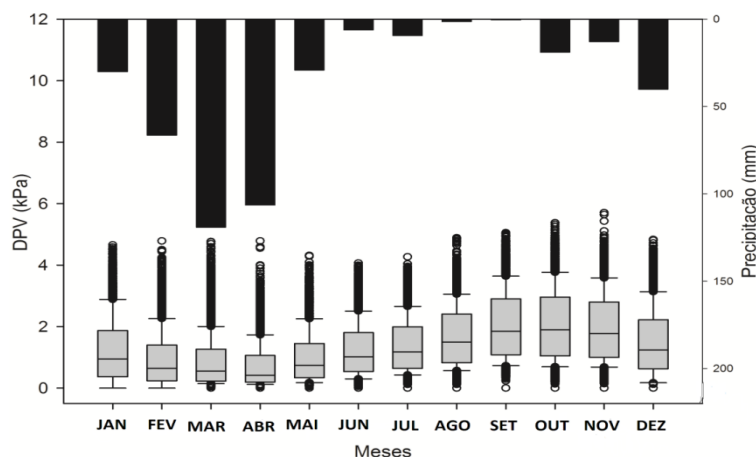
Figura 16 – Variação anual do Déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura média e umidade média, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Aiuaba. Valores com hachuras representam DPV com preenchimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 17 observa-se a variação mensal da precipitação em Campos Sales. Os meses de Fevereiro, Março e Abril são os meses de maior precipitação, com março apresentando o maior valor (120 mm). Nota-se que no período onde temos os menores valores de precipitações, teremos os maiores valores de DPV.

Figura 17 - Variação mensal do Déficit de pressão de vapor (DPV) e precipitação, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Campos Sales.



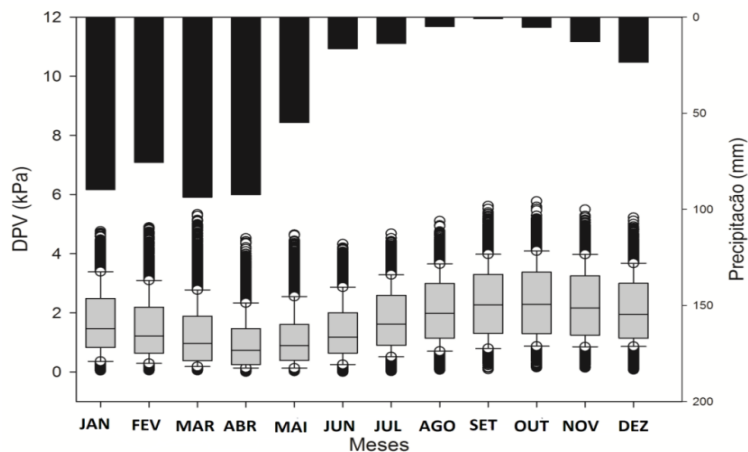
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na variação mensal do déficit de pressão de vapor da PCD de Tauá (Figura 18) as maiores precipitações se concentram entre os meses de Janeiro a Maio, tendo seu



maior valor em março aproximadamente 100 mm. O DPV se comporta da mesma maneira que em Campos Sales (Figura 17).

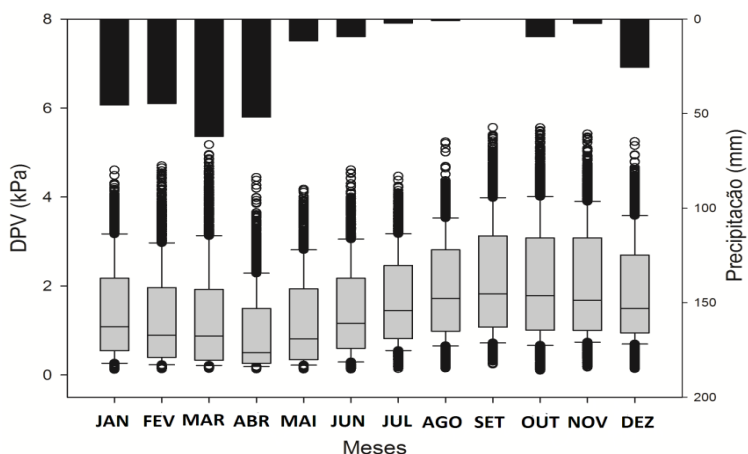
Figura 18 - Variação mensal do Déficit de pressão de vapor (DPV) e precipitação, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Tauá.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 19 tem-se a variação mensal da precipitação da PCD de Aiuaba. O mês de março apresentou o maior registro (55 mm), valor bem abaixo do esperado, podendo também ser resultado de falhas nos dados meteorológicos.

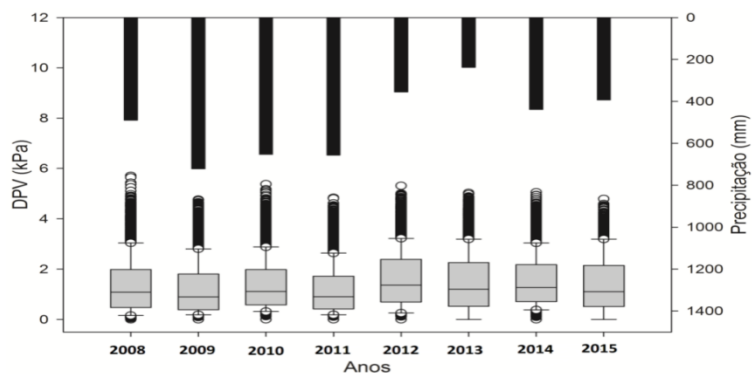
Figura 19 - Variação mensal do Déficit de pressão de vapor (DPV) e precipitação, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Aiuaba.



Fonte: Elaborada pelo autor.

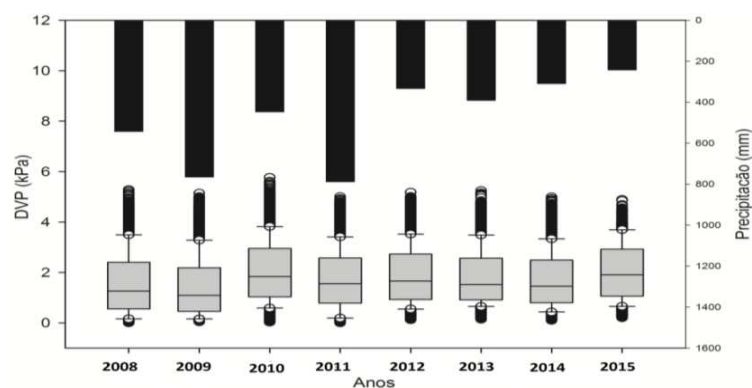
Nas Figuras 20 e 21 observou-se que as maiores precipitações foram registradas entre os anos de 2009 a 2011. Os valores de DPV variaram pouco entre os anos, ficando o ano de 2009 com o menor valor tendo em vista ser um ano com grandes precipitações.

Figura 20 – Variação anual do Déficit de pressão de vapor (DPV) e precipitação, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Campos Sales.



Fonte: Elaborada pelo autor.

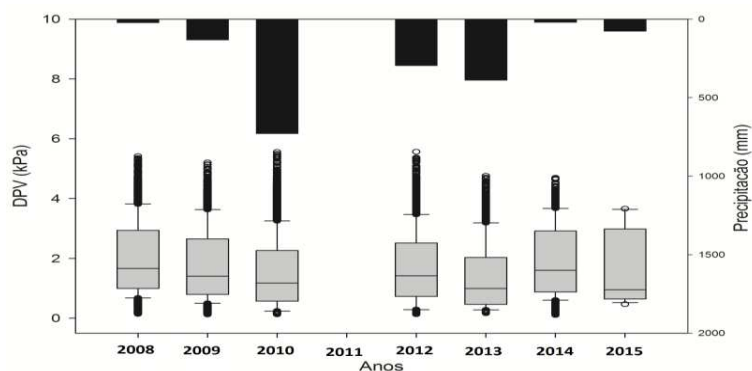
Figura 21 - Variação anual do Déficit de pressão de vapor (DPV) e precipitação, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Tauá



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 22 nota-se diversas falhas na variação anual do DPV e precipitação, principalmente nos anos de 2011 e 2014, comprometendo sua interpretação.

Figura 22 - Variação anual do Déficit de pressão de vapor (DPV) e precipitação, entre MAR/2008 à MAR/2015, na estação do INMET de Aiuaba.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 5.CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a eficiência na coleta de dados foi na ordem de 96%, 98% e 47% para as PCDs de Campos Sales, Tauá e Aiuaba, respectivamente.

A plataforma de coleta de dados de Aiuaba apresentou um déficit de aproximadamente 53% no total de informações que deveriam ser armazenadas ao banco de dados e disponibilizadas para atividades de ensino e pesquisa e outras aplicações em meteorologia.

As três PCDs apresentaram diferença entre si. Apesar da PCD de Tauá está na mesma macrorregião de Aiuaba (Sertão dos Inhamuns) foi a PCD de Campos Sales (macrorregião do Cariri) que mais se assemelhou estatisticamente a PCD de Aiuaba. Os resultados da regionalização foram satisfatórios, pois apresentaram um RQME e NASE de 0,87 e 0,45, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**\_Rome: FAO, 1998. 330 p.. (FAO. IrrigationandDrainagePaper, 56).
- BERTONI J. C.,TUCCI, C. E. M. Precipitação. In Tucci, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007, 177-241p.
- BARNETCHE, D.; KOBIYAMA, M. Aplicação do hycymodel no preenchimento de falhas de monitoramento de vazões. Geosul, v.21, n.42, p.185-194, 2006.
- COSTA, J.P.R. - **Comportamento fisiológico e consumo hídrico da cultura de soja irrigada (GLYCINE MAX (L.) MERRIL)** nas condições semi-áridas do nordeste brasileiro Campina Grande-PB.111P (Dissertação de Mestrado) 1989.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. (Irrigationand Drainage Paper, 24). 2nd ed. Rome: FAO, 1977. 179 p.
- FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHEI, M. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 13, n. 2, 2005. 225-250 p
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature, Chicago. **American Society Agricultural Engineering Meeting**, p.85-2517, 1985.
- HSIAO, T. C.; XU, L. K. 2000. **Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport**. J. Exp. Bot., 51: 1595- 1616.
- JENSEN, M.W.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. et al. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. (ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices,70). New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 329 p.
- LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decendial na metade do sul do Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v 10, n.2, p.397- 407, 2006.
- LEMOS J. R. **Florística, estrutura e mapeamento da vegetação de Caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará**. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Biociências), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP, 2006.
- MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Piraipaba, CE**. 2002. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, São Paulo,2002.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MILBURN, J. **Water flow in plants**. London: Longman, 225p. 1979.

NASH, J.E. e SUTCLIFFE, J.V. (1970) "River flow forecasting through conceptual models, part I – a discussion of principles". **Journal of Hydrology**, 10, 282-290.

OLIVEIRA, M. A. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 2, n. 2, 1998.

OLIVEIRA, A. D. de. Comparação de métodos de 1708 Semina: **Ciências Agrárias, Londrina**, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011 Cavalcante Junior, E. G. et al. estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de uma estação meteorológica convencional e automática. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária. Universidade de São Paulo, Jaboticabal.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; BONOMO, R. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

OLIVEIRA L.F.C; Fioreze A.P; Medeiros A.M.M; Silva M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **R.Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.11, 2010.1186–1192 p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fealq, 1997. 183p.

PEREIRA, C. R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. Viçosa: UFV, 2002. 282 p. Tese (Doutorado em meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2002.

RIGHI, E.Z. **Consumo hídrico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado em estufa plástica e sua relação com variáveis meteorológicas em Santa Maria, RS**. 2000. 83f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L; VERMA, S.G. - Microclimate: **The Biological environment**. 2a Ed John Wiley&sons, Inc. 1983.

SADLER, E. J.; EVANS, D. E. Vapor pressure deficit calculations and their effect on the equation combination equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p.55-80, 1989.

SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABAES, 1996. 167p.

SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidades de água para as plantas cultivada.181f. Monografia** (Especialização por tutoria à distância) ABEAS, Brasília, DF, 1998.

SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; REBICCI, L. C. S.; PERTUSSATTI, C. A. **Estimativa Da Evapotranspiração De Referência Através De Redes Neurais Artificiais.**, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, MS, Brasil Revista Brasileira de Meteorologia, **v.26, n.2**, 197 - 203, 2011

STRECK, N A, BURIOL, G. A, HELDWEIN, A. B, GABRIELA, L. F., PAULA, G. M de Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal o Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 44, n. 12, 2009. 1553-1561 p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, 1948. 55-94 p.

TUCCI, C. E. M. Interceptação. In Tucci, C. E. M., (ed), **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre, ABRH- Editora, , 1993. 243-252 p.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões, In TUCCI, C. (Org): **Hidrologia: Ciência e Aplicação** ARBH, Porto Alegre 2º Edição. 2000. 573-620 p.

TUCCI, C. E. **Regionalização de vazão**. Porto Alegre: UFRGS 2002, 256p

TURCO, J. E. P.; BARBOSA, J. C. **Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método Peanman-Monteith**. Irriga, v.13, n.13, p.339-354, 2008.

VALANDRO, J. et al. **Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com a radiação solar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1999. 1 CD

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife: Inmet, 2006. 463p.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. P. **Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 3, 2005. 713-721 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e Aplicações**. 1º ed. Viçosa: UFV, 2004. p. 379 e 380.

VIEIRA, L. **Meteorologia e climatologia agrícola: notas de aula**. 2009. Disponível em: <<http://www.dea.uem.br/disciplinas/meteorologia/meteorologiaagricola.pdf>>. Acesso em 18 de dezembro de 2015.