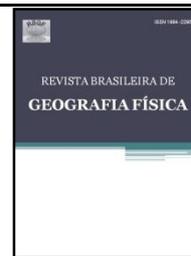




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise mensal, sazonal e interanual da evapotranspiração de referência para o sudoeste da Amazônia, Acre, Brasil

Helder José Farias da Silva¹; Paulo Sérgio Lucio²; Irving Foster Brown³

¹Meteorologista, mestre e doutorando em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, helderlagoia@gmail.com (autor correspondente). ²Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Campus Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, pslucio@ccet.ufrn.br. ³Docente do curso de Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Brasil, fbrown@uol.com.br.

Artigo recebido em 20/06/2015 e aceito em 07/07/2015

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar aspectos climatológicos da variabilidade sazonal e interanual da Evapotranspiração de referência (ET_o) para os municípios de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, estado do Acre, considerando um período de 30 anos, a partir de dados mensais de estações meteorológicas de superfície. Como metodologia realizou-se, primeiramente, a consistência dos dados meteorológicos. Desta forma, foi feito o preenchimento de falhas nas séries temporais por meio de técnicas multivariadas e testes estatísticos de homogeneidade. A técnica de Análise de Variância foi adotada a fim de verificar se há entre os municípios diferença significativa nas médias anuais de evapotranspiração. O método indireto de Penman-Montheith foi utilizado para o cálculo da ET_o. Os resultados deste trabalho permitiram concluir que a média anual da ET_o foi de 3,80, 2,92 e 2,85 mm dia ano⁻¹, para Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, respectivamente. Apresentando padrão sazonal bastante marcante com um mínimo em junho e um máximo em outubro, sendo Rio Branco a localidade que apresentou sinal mais forte, por outro lado, Cruzeiro do Sul apresentou maior variabilidade dentre as localidades estudadas. Pela ANOVA constatou-se que as médias anuais diferem estatisticamente entre as localidades a 1% de significância, porém as médias anuais entre Cruzeiro do Sul e Tarauacá não apresentaram diferenças estatisticamente significativa. Para as três localidades, a década de 2000 foi a que apresentou os maiores valores de ET_o, associada a águas mais quentes da bacia do Atlântico Norte e a década de 80 a de menores valores, associada a águas mais frias desta bacia.

Palavras-chave: Variabilidade climática. Penman-Montheith. Teste de Homogeneidade.

Monthly analysis, seasonal and interannual the reference evapotranspiration for the southwestern Amazon, Acre, Brazil

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate climatological seasonal and interannual variability of the reference evapotranspiration (ET_o) for the state of Acre, whose studies units the Rio Branco municipalities, Tarauacá and Cruzeiro do Sul considering a period of 30 years, from monthly meteorological stations data. The methodology was held, first, the consistency of meteorological data. Thus, it was made the gap filling in the time series by means of multivariate techniques and statistical tests of homogeneity. The analysis of variance technique (ANOVA) was adopted in order to check for significant differences between the municipalities in the annual evapotranspiration averages. The indirect method of Penman-Montheith was used to calculate the ET_o. These results showed that the ET_o the annual average was 3.80, 2.92 and 2.85 mm day⁻¹ year, to Rio Branco, Tarauacá and Cruzeiro do Sul, respectively. Featuring quite remarkable seasonal pattern with a minimum in June and a maximum in October, with Rio Branco to town one with the strongest signal, on the other hand, the Southern Cross presented the highest variability among the studied locations. By ANOVA it was found that the average annual differ statistically between locations 1% of significance, but the annual average between Cruzeiro do Sul and Tarauacá no statistically significant differences. For the three locations, the 2000s was the one with the highest ET_o values associated with warmer waters of the North Atlantic basin and the 80s to lower values, associated with cooler waters of this basin.

Key-Words: Climate variability. Penman-Montheith. Uniformity test.

Introdução

Em solos com cobertura vegetal e corpos d'água (rios, lagos, reservatórios de água) os processos de Evapotranspiração (ET) e Evaporação (E), respectivamente, consomem considerável quantidade de energia através do transporte vertical de vapor. Por ser a água total perdida pelo sistema, a ET deve ser determinada com maior rigor possível, a fim de ser reposta e manter sempre o sistema em condições de máximo relacionamento com o meio. Esses fluxos não podem ser negligenciados em inúmeras atividades humanas; e assim, as suas estimativas e monitoramento são extremamente importantes, principalmente no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos e atividades agrícolas que demandam grandes quantidades de água.

Carvalho et al. (2011) consideram que a Evapotranspiração de referência (ET₀), um importante parâmetro agrometeorológico, que pode ser usado para estudos de demanda hídrica, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos. Estes autores reforçaram que o método indireto de Penman-Monteith-FAO (PMFAO) é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da ET₀, sendo adotado como padrão, que já vem sendo usado há mais de duas décadas. Este método, além de procurar representar de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos observados em estações meteorológicas de superfície.

Os biomas tropicais brasileiros, em especial o Amazônico, têm sido foco de atenção mundial devido a sua grande diversidade biológica e também pelos efeitos que o desmatamento, o uso e ocupação da terra em grande escala podem estar provocando no clima, na hidrologia e nos ciclos biogeoquímicos em escalas regionais e globais (Cavalcante et al., 2009).

Poucas são as pesquisas direcionadas para o sudoeste da Amazônia brasileira, no que concerne a caracterização sazonal e interanual do clima. As regiões mais pesquisadas sobre o clima na Amazônia em geral são a Central e a Oriental, mas muitos resultados dessas pesquisas estão generalizados para toda a Amazônia (Gash et al., 1996; Fisch et al., 1998).

Os estudos encontrados na literatura no que concerne a caracterização da ET₀ para a região do Acre, no entanto, têm sido realizados com enfoque mais técnico, isto é, com o objetivo de avaliar desempenhos de métodos simples (que contenham o menor número de parâmetros), para estimativa da ET₀, por meio de comparações com o método padrão PMFAO. Neste sentido Ferraz (2008) e Souza (2009),

utilizando dados de estações convencionais, realizaram estudos visando comparar valores de ET₀ para a região de Rio Branco, Acre com métodos mais simples. Portanto, ainda há carência de estudos na região, que explorem e analisem os aspectos climatológicos e estatísticos da ET₀ de forma mais metódica (detalhamento da metodologia) e com maior abrangência espacial.

Com o intuito de suprir essa lacuna de estudos e diante da necessidade de se conhecer o comportamento da variabilidade espaço/temporal da ET₀ no estado do Acre, bem como de seus elementos meteorológicos condicionantes, este estudo teve como objetivo investigar aspectos mensais, sazonais e interanuais da ET₀ para os municípios de Rio Branco, leste do Acre, Tarauacá, centro-oeste e Cruzeiro do Sul, extremo oeste do Estado, considerando os dados dos últimos 30 anos (1985 a 2014). Espera-se que os resultados aqui apresentados possam contribuir para a discussão (científica) sobre a variabilidade da ET no Brasil, principalmente no bioma amazônico.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo - A área de estudo corresponde ao estado do Acre que se encontra situado no extremo sudoeste da Amazônia brasileira, entre as latitudes 07°07' S e 11°08' S, e longitudes 66°30' W e 74°W. Apresenta uma superfície territorial de 164.221,36 km², correspondendo a 4% da Amazônia brasileira e 2% do território nacional. Possui uma extensão territorial de 445 km no sentido Norte-Sul e 809 km entre seus extremos Leste-Oeste. O Estado faz fronteira internacional com o Peru e a Bolívia e tem divisas estaduais com os Estados do Amazonas e de Rondônia (Figura 1). A população do Estado é de ~733.559 mil habitantes, com uma concentração atual de 66% nas áreas urbanas (IBGE, 2010; ACRE, 2010).

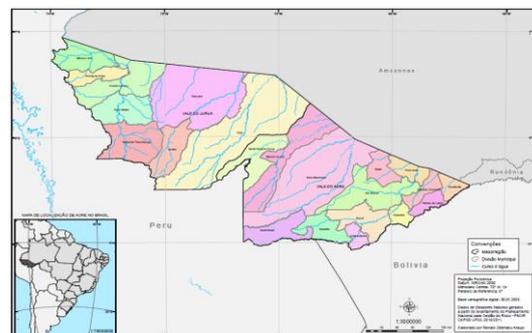


Figura 1. Localização do estado do Acre na América do Sul e Brasil.

Fonte: ZEE (ACRE, 2010).

O Estado está dividido em duas mesorregiões político-administrativas (Vale do Acre, porção leste,

e Vale do Juruá, na porção oeste) e cinco regionais de desenvolvimento (Alto Acre, Baixo Acre, Purus,

Tarauacá/Envira e Juruá), abrangendo 22 municípios (Figura 2).

As cinco cidades mais populosas do Estado são: Rio Branco, sua capital, Cruzeiro do Sul, Sena

Madureira, Tarauacá e Feijó (Tabela 1). Estas regiões são acessíveis por terra pela BR 364 (ACRE, 2010).

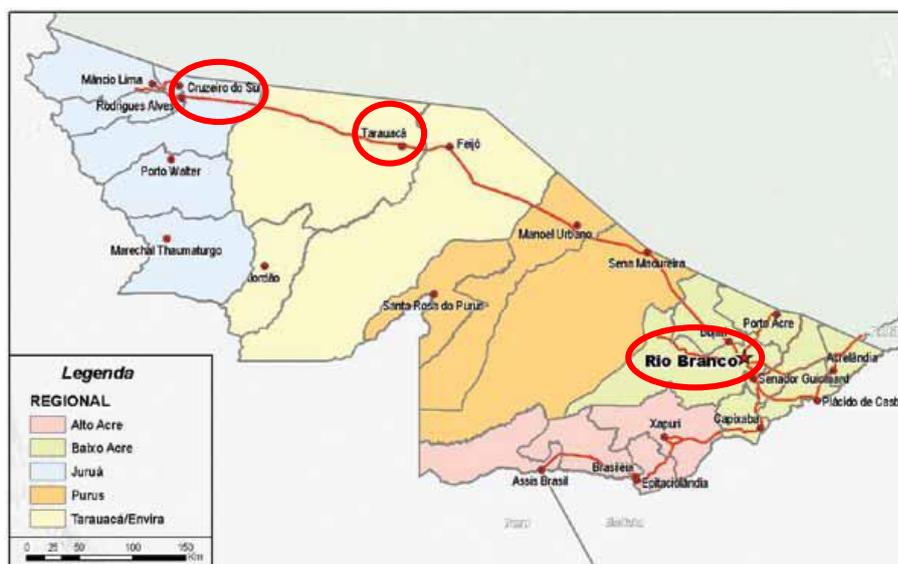


Figura 2. Regionais de Desenvolvimento do Estado do Acre e localização dos municípios utilizados no estudo (círculos vermelhos).

Fonte: ZEE (ACRE, 2010).

Tabela 1. Municípios mais populosos do estado do Acre, em negrito as cidades objeto de estudo.

Ranque	Municípios	População (hab.)	Áreas (Km ²)
1°	Rio Branco (AC)	336.038,00	8.835,541
2°	Cruzeiro do Sul (AC)	78.507,00	8.779,391
3°	Sena Madureira (AC)	38.029,00	23.751,494
4°	Tarauacá (AC)	35.590,00	20.171,053
5°	Feijó (AC)	32.412,00	27.974,890

Fonte: IBGE (2010)

A região leste do Estado, onde se encontra sua capital, é mais favorecida em termos de infraestrutura administrativa, dos serviços de saúde e de outros setores que polarizam a vida na região e em todo o Estado. Essa região possui muitos assentamentos de reforma agrária e fazendas de gado e a ocupação humana é mais densa. Ocorre na área uma rede de ramais e rodovias que dão suporte às atividades econômicas entre os municípios da região, com uma cobertura vegetal original bastante alterada (ACRE, 2010).

A atividade extrativa e a agropecuária destacam-se na base da economia acreana, que gira em torno de produtos primários, embora tenha já um grau modesto de industrialização. A borracha, também chamada de ouro branco, se destacou como carro chefe na pauta de exportações acreanas, até a década de 1970 (Andrade, 2006).

Caracterização do Clima, Hidrografia, Relevo e Vegetação da área de estudo - O clima do estado do Acre é, basicamente, equatorial úmido, no sentido sul e leste, e superúmido, no sentido norte e oeste do estado. Na primeira região há pouco ou moderado déficit de água, enquanto que na segunda praticamente não há ausência do mineral. A precipitação pluvial média anual gira em torno de 2.000 mm. No período de maio a setembro as chuvas diminuem devido a uma maior estabilidade atmosférica, sendo que o período seco mais acentuado se dá nos meses de julho a agosto (Acre, 2010).

As temperaturas médias variam no intervalo de 22° a 24°C, embora, ocasionalmente, o estado sofra penetrações do anticiclone polar antártico que provoca o fenômeno conhecido como “friagem”.

Nestes, períodos, as temperaturas mínimas chegam a menos de 10°C (Duarte, 2006).

A hidrografia do Acre compõe a grande bacia hidrográfica amazônica e os principais cursos d'água do Estado correm na direção nordeste e são afluentes da margem direita do rio Solimões, que, a partir de Manaus, recebe o nome de Amazonas (ANAC, 1993). Estes rios são meandranes (curva acentuada, sinuosos), uma forma típica dos rios de planície. Os principais cursos d'água são os rios Tarauacá, Purus, Gregório, Envira, Acre e Juruá. Eles formam a rede hidrográfica estadual, dividida entre a Bacia do Acre-Purus e a Bacia do Juruá. Os rios do Estado constituem um meio de transporte muito importante, tanto que a maioria das cidades e povoados acreanos são erigidas às margens dos rios (ACRE, 2010).

A estrutura do relevo do Estado do Acre é formada pela Depressão Amazônica, caracterizada por uma extensa superfície rebaixada, pelo Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental, de baixos platôs, e pela Planície Amazônica, de grandes áreas alagadiças e lagos. O Acre encontra-se dividido em nove unidades geomorfológicas: a Planície Amazônica, a Depressão do Endimari-Abunã, a Depressão do Iaco-Acre, a Depressão de Rio Branco, a Depressão do Juruá- Iaco, a Depressão do Tarauacá-Itaqui, a Depressão Marginal à Serra do Divisor, a Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul e os Planaltos Residuais da Serra do Divisor (Cavalcante, 2006).

Do ponto de vista altimétrico, 21% da área do território estão entre as cotas de 101 a 200 metros, 63%, de 201 a 300 metros, e 16%, de 301 a 600 metros. Logo, há um predomínio de cotas de 100 a 300 metros (ACRE, 2010). A característica marcante destes solos se prende ao fato de serem eutróficos, ou seja, possuem elevado grau de bases assimiláveis pelas plantas. Por outro lado, estes solos são muito suscetíveis à erosão quando lhe é extraída a cobertura vegetal (ANAC, 1993).

O território acreano em sua totalidade era originariamente coberto pela Floresta Amazônica, rica em seringueiras, das quais se extrai a borracha. No auge da exploração dos seringais, século passado, os nordestinos foram os principais colonizadores do Estado (Cavalcante, 2006). O Acre está totalmente inserido na maior reserva de diversidade biológica do mundo, a Amazônia, o maior bioma brasileiro (IBGE, 2010). A cobertura vegetal no Acre é bastante uniforme com predomínio da Floresta Ombrófila (Floresta de terra firme) aberta, de transição. Devido à urbanização, a ação antrópica sobre a vegetação é maior nas cidades de Rio Branco, Brasiléia, Plácido de Castro, Porto Acre e Sena Madureira. Por fim, de forma menos marcante, há presença também da Floresta Ombrófila Densa, que é mais representativa da Amazônia (ANAC, 1993).

Dados meteorológicos observacionais - Os dados meteorológicos mensais, descritos na Tabela 3, foram extraídos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), referente ao período de janeiro de 1985 a dezembro de 2014 (30 anos), medidos nas estações meteorológicas convencionais instaladas nos municípios de Cruzeiro do Sul, Tarauacá e Rio Branco, conforme observado na Figura 2 e mostrado na Tabela 2. Este período justifica-se por apresentar valores mais consiste e com menos falhas no conjunto de dados.

As variáveis meteorológicas utilizadas para o cálculo da Evapotranspiração de referência são descritas na Tabela 3. Na tabela são apresentadas as siglas (abreviaturas) adotadas no trabalho assim como suas respectivas unidades de medidas e período utilizado.

Tabela 2. Informações da localização das estações meteorológicas utilizados no estudo.

Municípios	Lat.	Lon.	Altitude (m)
Cruzeiro do Sul (AC)	7°38'48'' S	72°40'12'' W	170
Tarauacá (AC)	8°10'36'' S	71°46'12'' W	190
Rio Branco (AC)	9°58'36'' S	67°52'12'' W	160

Fonte: INMET (2014)

Tabela 3. Elementos meteorológicos, siglas e unidades.

Variável	Unidade	Sigla	Período
Temperatura média	°C	Tmed	1985 a 2014
Temperatura máxima	°C	Tmax	1985 a 2014
Temperatura mínima	°C	Tmin	1985 a 2014
Umidade relativa	%	UR	1985 a 2014
Insolação	Horas	n	1985 a 2014
Pressão atmosférica	hPa	Pres.	1985 a 2014
Velocidade do vento	m/s	u ₂	1985 a 2014
Precipitação pluviométrica	mm	prp	1985 a 2014
Radiação solar global	W/m ²	Rad	1985 a 2014

Normalmente as estações meteorológicas não medem a Radiação solar global (Rad), em razão da dificuldade de medição, aliada a escassez de instrumentos, como por exemplo, os piranômetros. Diante disso, foi utilizada a fórmula de Angstrom (1924), descrito por Ometto (1981), que foi proposta para as estimativas da radiação solar em função de horas de brilho solar ou insolação.

Para a estimativa da radiação solar global utilizou-se a Equação (1):

$$R_g = R_o \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

sendo, R_g a Radiação solar global diária ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), ao nível do solo; R_o a Radiação solar diária recebida por uma superfície horizontal no topo da atmosfera ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); n o número de horas de brilho solar, insolação; N a Insolação máxima ou fotoperíodo; a e b são coeficientes empíricos determinados para cada região.

Caso a e b não estejam disponíveis para determinada localidade Sentelhas e Angelocci (2009) sugerem a seguinte aproximação:

$$a = 0,29 * \cos\varphi \quad (\varphi \text{ latitude do local})$$

$$b = 0,52 \quad (\text{constante})$$

Os valores de radiação solar no topo da atmosfera (R_o) e da insolação máxima (N), necessários na Equação (1) podem ser obtido sem dificuldades em Ometto (1981), Sentelhas e Angelocci (2009) e Fernandes et al. (2010).

Imputação de dados faltantes (missing data) - Tanto nas atividades rotineiras da meteorologia, quanto nos trabalhos específicos de pesquisa há necessidade de ser ter séries completas e confiáveis de dados meteorológicos. Vários são os motivos de existências de falhas (dados errôneos ou ausentes) nas séries temporais meteorológicas. Falhas essas causadas por motivos diversos, como falha nos instrumentos ou problemas nas estações meteorológicas, que não

serão abordadas neste trabalho. Como os métodos de análises estatísticas e aplicativos computacionais foram e são desenvolvidos, em sua maioria, para dados completos, mesmo uma pequena quantidade de dados faltantes pode causar problemas nas estimativas (viés, ineficiência), justificando, então, a necessidade de ser considerado nas análises o problema de dados faltantes (Harrell, 2001).

Entende-se por imputação a técnica de preencher os dados faltantes com valores plausíveis (Nunes et al., 2010). Métodos simples, também conhecidos como métodos de imputação única (IU) ou univariada são bastante utilizados na literatura. Por exemplo, o método pela Interpolação Ponderada, que consiste na estimação do dado faltante pela média ponderada de estações próximas e, o método da substituição pela Média Climatológica que substitui o dado faltante pela média climatológica local considerando um período de pelo menos 30 anos (OMM, 1992). Entretanto, nem sempre tais métodos são os mais triviais quando a qualidade dos dados vizinhos é duvidosa e a quantidade de falhas é numerosa e em seqüência acarretando, desta forma, a subestimação da variabilidade da variável imputada que gerará intervalos de confiança mais estreitos do que o esperado e a impossibilidade de se levar em consideração a variabilidade que possa existir entre diferentes imputações (Schafer, 2002, Zhou et al., 2001).

Por estes motivos e como uma alternativa à imputação univariada, surgiu na década de 80 à imputação múltipla (IM) ou multivariada proposta por Donald Rubin (Rubin, 1987 e Rubin, 1989). A ideia da imputação múltipla é a de que cada dado ausente é imputado m vezes, gerando m bancos de dados completos. Os m bancos são analisados separadamente por uma técnica tradicional de análise estatística e finalmente os m resultados obtidos são combinados de maneira simples para a análise final (Zhou et al., 2001). A principal vantagem da IM em relação à imputação única é a de que ela leva em conta a variabilidade entre as imputações nos resultados,

enquanto os métodos de imputação única não o fazem, visto ser feita apenas uma imputação para cada dado faltante (Tang et al., 2005).

Diversos estudos têm utilizado técnicas multivariadas de imputação para preencher dados faltantes em diversas áreas de pesquisa, tais como saúde e clima e concluíram que os procedimentos multivariados apresentaram melhor desempenho e acurácia que os univariados e que os métodos multivariados com ajuste do componente temporal apresentaram maior acurácia e precisão (Junger, 2008; Nunes et al, 2009; Nunes et al., 2010; Costa et al., 2012).

Desta forma, utilizou-se no presente estudo o MTSDI (*Multivariate Time Series Data Imputation*) que é um algoritmo para preenchimento de dados faltantes em séries temporais normais multivariadas, baseado no algoritmo Expectation Maximisation (EM), proposto por Junger e Leon (2012). Além da estrutura de correlação entre as estações levada em consideração na matriz de covariâncias dos dados, o

método considera também a correlação temporal, por meio da modelagem independente das séries temporais em cada estação.

A referida técnica foi utilizada para as oito variáveis meteorológicas (T_{med}, T_{min}, T_{max}, n, UR, prp, Pres, e u₂) comentadas no item 2.1.3 (Dados meteorológicos observacionais). Como variáveis preditoras, usaram-se séries temporais das variáveis meteorológicas da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET, 2014), disponível pelo Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas (Tabela 4). A tabela mostra a localização geográfica das estações e sua fonte.

Os dados faltantes que se deseja completar são caracterizados por “NA”, e se utilizou o número de imputações múltiplas padrão do pacote *mtsdi* versão 2.15 do software estatístico R (R Core Team, 2013). A série da variável meteorológica original com falha é colocada lado a lado das estações mais próximas da localidade como uma matriz.

Tabela 4. Informações das estações meteorológicas utilizadas como auxílio no preenchimento de dados ausentes (variáveis preditoras).

Estação	Sigla	Fonte	Lat. – Lon.	Altitude (m)
Plácido de Castro (AC)	rbr-rede	REDEMET	09°58' S - 67°48' W	136
Cruzeiro do Sul (AC)	crz-rede	REDEMET	07°36' S - 72°46' W	191
Porto Velho (RO)	rond-rede	REDEMET	08°42' S - 63°54' W	88

Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) - Na ausência de medidas diretas da ET (lisímetros), pesquisadores e irrigantes, muitas vezes, lançam mão de modelos físico-matemáticos (métodos indiretos) que se baseiam em elementos climáticos provenientes de estações meteorológicas, para proceder ao cálculo da Evapotranspiração de referência (ET_o).

O método desenvolvido por Penman-Monteith e, posteriormente, parametrizado pela FAO (Equação 2) é conhecido atualmente como método Penman-Monteith FAO-56 (PMFAO). Este método é recomendado como padrão porque se tem mostrado consistente para estimar a ET_o em diferentes locais e clima, além de considerar todos os parâmetros que governam as trocas de energia e o fluxo de calor

latente. Outro aspecto é que a maioria dos parâmetros podem ser medidos ou estimados a partir de dados meteorológicos (Allen et al., 1998).

Diversos trabalhos confirmam que o desempenho desse método é satisfatório, por exemplo, o de Jensen et al. (1990), Allen et al. (1994) em outros países, Camargo e Sentelhas (1997), Santiago (2001) e Medeiros (2002) no Brasil, quando comparado com medidas diretas como as de lisímetros. Todavia, em algumas situações, o emprego do método de PMFAO é restringido pela indisponibilidade de dados meteorológicos, o que acaba exigindo o uso de métodos mais simples como o de Hargreaves-Samani (Samani, 2000) baseado apenas na temperatura.

A equação de PMFAO é dada a seguir:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900u_2}{T_{med} + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

em que: ET_o é a evapotranspiração potencial (mm dia⁻¹), R_n é a radiação líquida na superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹), G é o fluxo de calor do solo (MJ m⁻²

dia⁻¹), T_{med} é a temperatura média diária do ar medida a 2 metros de altura (°C), u₂ é a velocidade do vento medida a 2 metros (m s⁻¹), e_s é a pressão de vapor de

saturação (kPa), e_a é a pressão atual de vapor (kPa), Δ é a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹) e γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

As equações padronizadas e detalhes para o cálculo de todos os parâmetros da Equação (2) foram realizados conforme demonstrados em Allen et al. (1998) e também em Faria et al. (2003), Fernandes (2010) e Silva (2015).

Teste de Homogeneidade - Para a caracterização climática de uma região, há necessidade de informações meteorológicas confiáveis e homogêneas, pois uma falha na série temporal pode comprometer a análise e as interpretações dos dados.

A homogeneidade é uma questão importante para detectar a variabilidade dos dados. Em geral, quando os dados são homogêneos, isto significa que as medições dos dados são tomadas ao mesmo tempo com os mesmos instrumentos e ambientes, ou seja, quando as variações ocorrem apenas em função das condições do tempo e clima (Longobordi e Villani, 2010; Martinez et al. 2011). No entanto, é uma tarefa difícil quando se tratam de dados meteorológicos, pois tais alterações são sempre causadas por mudanças nas técnicas de medição e procedimentos de observação, características e estruturas de ambiente e localização das estações (Costa e Soares, 2009).

Para testar a homogeneidade das séries anuais dos parâmetros meteorológicos aqui preconizados, foi aplicado o teste de sequencia ou “run test” recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), por meio de sua nota técnica nº 81 (Thom, 1966). Segundo Back (2001), o teste de Run é um teste não paramétrico apresentado por Thom (1966) e é usado para avaliar se uma série ocorre aleatoriamente. O teste consiste em fazer a contagem do número de oscilações acima e abaixo da mediana em uma série naturalmente ordenada. O número de oscilações é chamado de Run e a hipótese a ser testada é se o valor observado está dentro da faixa aceitável de uma distribuição considerada normal. Valores altos de Run indicam muitas oscilações e valores baixos indicam um desvio em relação à mediana durante o período de registro.

Back (2001) descreve o método considerando que se a sequencia contém N_1 símbolos de um tipo e N_2 símbolos de outro tipo (N_1 e N_2 não são muito pequenos), a distribuição amostral do número de Runs totais pode ser aproximada pela distribuição normal com média dada por:

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1 \quad (3)$$

e a variância da distribuição pode ser estimada por

$$\text{Var}(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1+N_2)^2(N_1+N_2-1)} \quad (4)$$

em que “u” representa o número de Runs. Por isso, a hipótese nula de que a distribuição dos símbolos ocorre normalmente e que a amostra é aleatória, pode ser testada com base na estatística:

$$R = \frac{u - E(u)}{\sqrt{\text{Var}(u)}} \quad (5)$$

Este valor calculado pode ser comparado aos valores teóricos da distribuição normal, considerando o nível de significância de 5%, o valor de R deve estar entre -1,96 e 1,96. Caso R calculado seja maior que estes limites tabelados, rejeita-se a hipótese de nulidade. No programa R este teste pode ser obtido por meio da função *runs.test()* do pacote “lawstat”.

Análise de Variância (ANOVA) - O conhecimento da variabilidade de variáveis meteorológicas, tanto no espaço, como no tempo, é importante para estudos hidrológicos, climatológicos e para o planejamento dos recursos hídricos (Bigg, 1991; Sampaio et al., 2007). Por isso, é essencial verificar se as diferenças entre as médias da ETo entre as localidades estudadas são estatisticamente diferentes. Para isso, aplicou-se a técnica estatística denominada Análise de Variância (ANOVA), que tem como principal objetivo comparar médias de três ou mais amostras a fim de fornecer subsídios para decidir quando as médias são diferentes, em relação à dispersão dos valores em cada grupo (localidade), a fim de concluir se há diferença estatisticamente significativa entre as médias (Vieira, 1980; Hoffmann, 2011).

A ANOVA consiste em comparar a variação resultante de fontes específicas com a variação entre indivíduos que deveriam ser semelhantes. Em particular, a ANOVA testa se várias populações têm a mesma média, comparando o afastamento entre as médias amostrais com a variação existente dentro das amostras. A ANOVA pressupõe que a decomposição da variabilidade é atribuída às fontes de variação.

O modelo pode ser escrito como:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

em que, y_{ij} são os valores observados em cada nível do fator em análise, no caso os municípios; i refere-se ao município; j refere-se à observação dentro do grupo; α_i é o efeito dos municípios; μ é uma constante (média geral) e ε são os termos residuais (diferença entre o valor observado e o modelo ajustado).

Suposições do modelo ANOVA:

- (i) homocedasticidade dos resíduos;
- (ii) os resíduos devem seguir uma distribuição normal com media igual a zero e variância constante;

(iii) independência dos resíduos.

A estatística F da ANOVA:

$$F_{\text{calc}} = \frac{\text{Variação entre os grupos}}{\text{variação dentro dos grupos (resíduos)}} \quad (7)$$

As medidas de variação no numerador e denominador de F são chamadas de médias quadráticas. A estatística F testa a hipótese nula de que os municípios têm a mesma média:

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_K$

H₁: nem todas as μ sejam iguais.

Sob Hipótese H₀, então, a estatística F tem distribuição F, com K-1 e N-K graus de liberdade. Se $F_{\text{cal}} < F_{\text{crit}}$, não se rejeita a hipótese H₀ ou a decisão pode ser tomada observando-se o *valor-p* (probabilidade de observar o valor obtido na amostra ou valor mais extremo.), ou seja, caso o *valor-p* seja

menor que o nível de significância α adotado, então se rejeita a hipótese H₀. Um exemplo da tabela ANOVA pode ser visualizado na Tabela 5. Os detalhes das expressões não serão apresentados aqui, mas acredita-se que podem ser obtidas sem dificuldades em Vieira (1980) e Hoffmann (2011).

Para aplicação da ANOVA por médio da metodologia acima descrita, e a fim de resguardar seus principais pressupostos, foram utilizados dados anuais da escala sazonal (estação por estação do ano) e interanual (ano a ano) por se tratar de dados independentes.

Aplicou-se, também, testes de normalidade, homocedasticidade e independência para as variáveis de interesse por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Cochran e Durbin-Watson, respectivamente, descritos em Royston (1982).

Tabela 5. Exemplo da tabela ANOVA:

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma quadrática	Quadrado médio	F _{calc}	P-valor
Entre os grupos	K-1	SQE	QME=SQE/(K-1)	QME/QMR	**
Dentro do grupo	N-K	SQR	QMR=SQR/(N-K)		
Total	N-1	SQT	-	-	-

SQE: Soma quadrática entre os grupos; SQR: Soma quadrática dentro dos grupos (resíduos); SQT: Soma quadrática total; QME: Quadrado médio entre os grupos; QMR: Quadrado médio dos resíduos; K : Número total de grupos; N: Número total de observações **: Nível de significância a 5%.

Ressalta-se que a ANOVA não informa exatamente em quais pares de amostras ocorrem às diferenças significativas. Desta forma, utilizou-se como complemento o teste de Tukey HSD, proposto por Tukey (1949) e descrito por Hoffmann (2011) e também em Pereira et al., (2014). O teste também é conhecido como teste da Diferença Honestamente (mínima) Significativa (*Honestly Significant Difference* – HSD, em inglês). Ele consiste em determinar o intervalo de confiança das diferenças entre as médias (no caso as médias anuais, por serem dados independentes) tomadas duas a duas dos municípios, sendo que se este intervalo não incluir o valor zero, a diferença é significativa. Tal procedimento utiliza a amplitude da distribuição *t-student* e, geralmente, trabalha com um nível de significância de 5%.

No estudo foram utilizadas as funções *aov()* e *anova()* para obtenção da tabela ANOVA e as funções: *TukeyHSD()*, *shapiro.test()*, *dwtest()* e *C.test()* para o teste de Tukey, de normalidade,

independência e homocedasticidade, respectivamente, por meio do programa R.

Resultados e discussão

Homogeneidades dos dados históricos - A Tabela 6 mostra os valores da estatística R do teste de homogeneidade obtidos segundo a metodologia descrita no item Teste de Homogeneidade para as localidades de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul.

Observa-se que todas as estatísticas do teste R para os parâmetros meteorológicos analisados variaram de um mínimo de 0,03 para a variável Insolação (Rio Branco) a um máximo de 1,70 para a Temperatura mínima (Cruzeiro do Sul), ficando abaixo do valor crítico de |1,96|. Desta forma, as séries históricas dos dados das variáveis meteorológicas utilizadas na pesquisa podem ser consideradas homogêneas (H) permitindo assim, estudos mais detalhados que envolva análises de tendência de séries temporais nas referidas localidades do estado do Acre.

Tabela 6. Resultados do teste de homogeneidade (*run test*, R) para as séries anuais dos parâmetros meteorológicos e da ETo para os municípios de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul – 1985 a 2014.

Variáveis	Rio Branco		Tarauacá		Cruzeiro do Sul	
	R	Res.	R	Res.	R	Res.
Temperatura média (Tmed)	0,27	H	0,57	H	1,23	H
Temperatura máxima (Tmax)	0,85	H	0,96	H	1,00	H
Temperatura mínima (Tmin)	1,47	H	0,30	H	1,70	H
Umidade relativa (U.R)	0,30	H	0,42	H	0,81	H
Insolação (n)	0,03	H	0,84	H	0,36	H
Pressão atmosférica (Pres)	0,20	H	1,69	H	1,11	H
Velocidade do vento (u ₂)	0,57	H	0,61	H	1,38	H
Déficit de Pressão de Vapor (DPV)	0,04	H	1,11	H	1,00	H
Precipitação pluviométrica (PRP)	0,19	H	1,45	H	0,88	H
Evapotranspiração de referência (ETo)	1,07	H	1,05	H	1,05	H

H: Homogênea; NH: Não homogênea; Res.: Resultado.

Caracterização climática dos elementos meteorológicos para o período de 1985 a 2014 - Por meio da Figura 3, observam-se as médias dos totais mensais da precipitação para Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul com seus respectivos desvios padrões. Nota-se que o sinal sazonal da precipitação na região de estudo é semelhante apresentando duas estações distintas: uma chuvosa e uma seca.

O período chuvoso ou com forte atividade convectiva na região de estudo é compreendido entre Novembro e Março. Os principais sistemas meteorológicos que atuam na região de estudo e que contribuem para a formação de nuvens e chuvas, nesta estação, são: mecanismos convectivos e de transporte de umidade a partir da evaporação no Oceano Atlântico, associado à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da evapotranspiração na Floresta Amazônica, além de sistemas transientes de escala sinótica como as Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que nesta época abundam os cúmulos de grande desenvolvimento verticais e a direção do vento é predominantemente de noroeste para sudeste (Duarte, 2006; Ferraz, 2008).

Para o período seco (sem grande atividade convectiva) este ocorre entre os meses de Maio e Setembro. Os meses de Abril e Outubro podem ser considerados meses de transição entre uma estação e outra, ou seja, podem apresentar tanto características da estação chuvosa ou da seca.

Para a estação seca a maior contribuição para eventuais chuvas advém de convecção local e de

frentes frias, procedentes da região Sul do Brasil, ocasionando o fenômeno localmente denominado de “friagens”, sendo que a direção do vento oscila de noroeste/sudeste para sudeste/noroeste (Duarte, 2006; Ferraz, 2008). Este comportamento está completamente de acordo com o ciclo anual da atividade convectiva na região amazônica, conforme demonstrado por Horel et al. (1989), Duarte (2006) e comentado por Cavalcante et al. (2009).

Apesar do comportamento sazonal apresentar similaridade entre as localidades, as ocorrências dos máximos e dos mínimos de precipitação são relativamente diferentes. Para Rio Branco, o máximo valor de precipitação foi observado no mês de janeiro/fevereiro (~289,8 mm) e o mínimo em junho (39,3 mm). Para Tarauacá e Cruzeiro do Sul os máximos ocorreram no mês de março (316,6 e 300,7 mm, respectivamente) e os mínimos em julho (51,3 e 58,4 mm, respectivamente).

Os totais anuais registraram, em ordem decrescente, os valores de 2240,1; 2158,2 e 1994,2 mm para Tarauacá, Cruzeiro do Sul e Rio Branco, respectivamente. Essa diferença nos picos máximos e mínimos, assim como nas suas amplitudes observadas na região, estar associada à variabilidade espaço/temporal dos sistemas meteorológicos atuantes na região (comentados no parágrafo anterior), que com o passar do tempo, suas influências diminuem gradualmente.

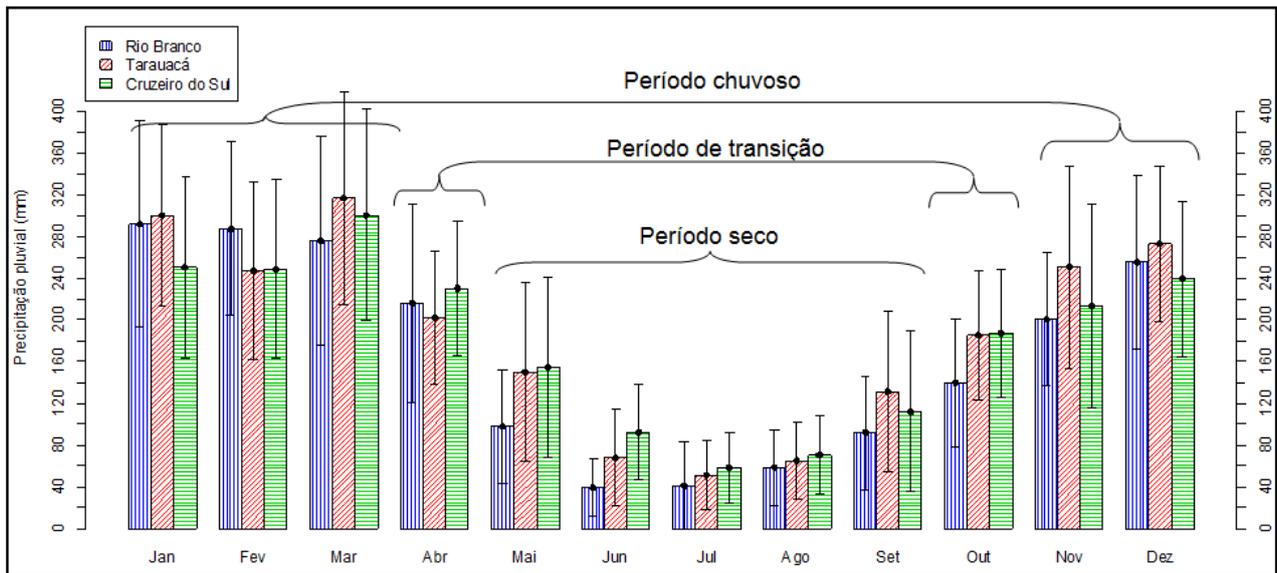


Figura 3. Média do acumulado mensal da precipitação pluvial para Rio Branco (barra azul), Tarauacá (barra vermelha) e Cruzeiro do Sul (barra verde) com seus respectivos desvios padrões para o período de 1985 a 2014.

Na Figura 4, encontra-se o comportamento médio dos valores mensais da umidade relativa do ar (UR), temperatura média do ar (Tmed), velocidade média do vento medida a 2 m de altura (u2) e radiação solar global (Rad.) para o período de 1985 a 2014 para as três localidades do Acre.

Para a umidade relativa (Figura 4a) observa-se que a média mensal acompanha a estação chuvosa e a seca da região, observada na Figura 3. Durante a estação chuvosa a UR é alta, com média de 86,6%, com máximo ocorrendo nos meses de janeiro/fevereiro e baixa na estação seca com média de 78,2% no mês de agosto. A média anual ficou em torno de 84%. Estes resultados são coerentes com os obtidos por Duarte (2006).

De acordo com a Figura 4b, observa-se que a Tmed possui comportamento sazonal semelhante nas três localidades. Os mínimos ocorrem no mês de julho e os máximos no mês de outubro com respectivos valores médios regionais de 24,2 a 26,1°C. Em Rio Branco verificou-se a maior amplitude térmica (2,1°C) quando comparada com as demais localidades. Este sinal sazonal mais forte observado na cidade de Rio Branco pode estar associado a sua localização geográfica e aos efeitos de urbanização. O fato de estar mais ao sul e a oeste (~ 9°S e 67°W) sofre mais os impactos do fenômeno de friagens durante o ano fazendo com que os valores da temperatura do ar sejam menores nesta localidade devido as incursões de massas de ar mais seco e fria. Este padrão sazonal observado na região, assim como seus valores médios, estão de acordo com os encontrados por Salati e Marques (1984) e

comentados por Cavalcante et al. (2009) para a região amazônica.

Quanto à velocidade média mensal do vento (Figura 4c), observa-se que para Rio Branco o sinal sazonal foi mais definido e com maior amplitude, apresentando em média valores menores de janeiro a junho e relativamente mais elevados de julho a dezembro, com média anual de 1,1 m/s. Para Tarauacá e Cruzeiro do Sul as médias mensais sofreram poucas variações no ciclo anual, porém os valores são relativamente menores no primeiro semestre e maiores no segundo, com médias anuais em torno de 0,5 m/s, sendo que a média regional anual foi de 0,7 m/s.

Na Figura 4d, observa-se que entre as localidades há similaridade no ciclo anual da radiação solar global, mostrando diferença apenas em suas amplitudes, em que os valores máximos alcançados oscilaram de 13,9 a 20,1 MJ/m² para o mês de setembro/outubro e os mínimos de 10,6 a 12,7 MJ/m² para os meses de maio/junho, sendo Rio Branco a localidade com maior incidência de radiação solar global. A média regional oscilou na ordem de 12,7 a 16,1 MJ/m² com média anual de 14,3 MJ/m². O fato dos mínimos de radiação ocorrerem nos meses de maio e junho na região de estudo estão associada à cobertura de nuvens devido à incursão de sistemas frontais nesse período que pode prolongar-se de 3 a 5 dias fazendo com que o céu fique totalmente encoberto (Hamilton e Tarifa, 1978; Salati e Marques (1984); Fisch et al., 1998).

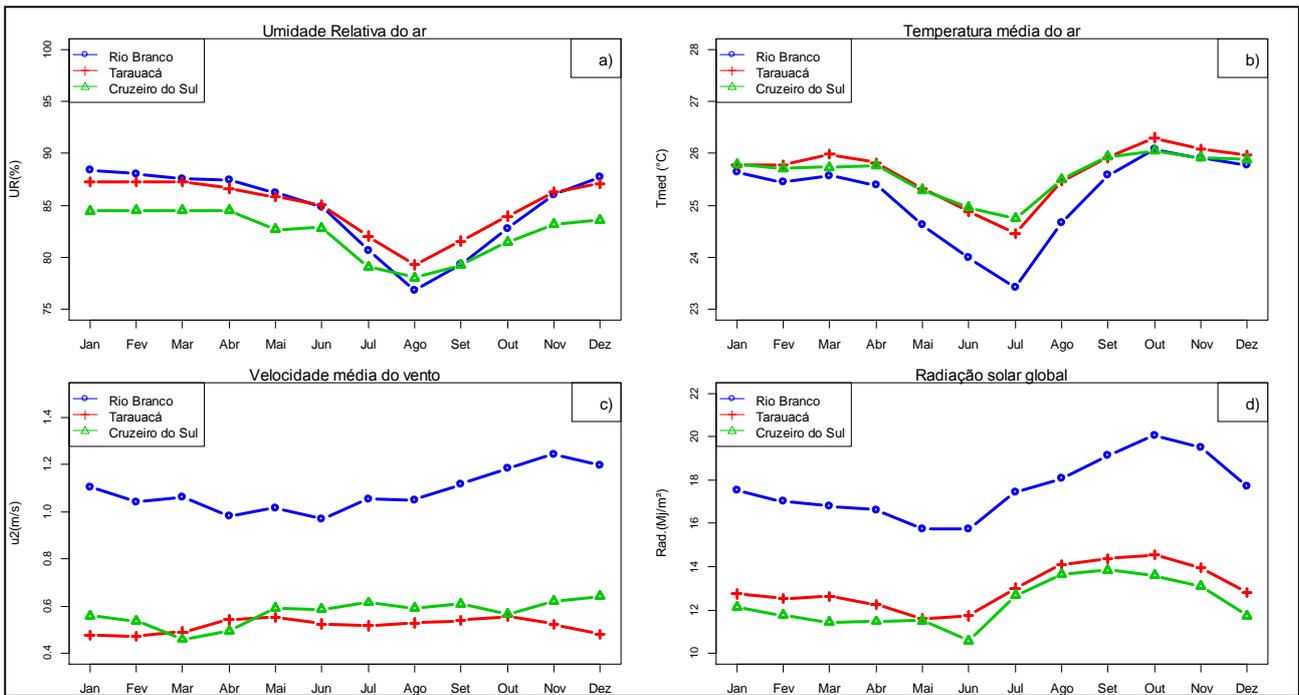


Figura 4. Umidade relativa média mensal (a), Temperatura média do ar (b), Velocidade média do vento (c) e Radiação solar global (d) para os municípios de Rio Branco (linha azul), Tarauacá (linha vermelha) e Cruzeiro do Sul (linha verde) para o período de 1985 a 2014.

Análise mensal da ETo - Um padrão sazonal parece ser comum na cidade de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul (Figura 5), isto é, a ETo tem pico em outubro, mais especificamente na transição para o início da estação chuvosa e o aumento acontece a partir de julho. A ETo mais baixa na região de estudo é observada durante a maior parte da estação seca (maio a julho) associada às temperaturas mais frias e ao ar mais seco no inverno (Figura 4b) devido às incursões de frentes frias comuns nessa época do ano na região, que modificam significativamente alguns parâmetros meteorológicos (umidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do vento e outros) condicionantes da ET. Do mesmo modo o efeito do solstício de inverno no hemisfério sul a 9°S reduz significativamente a radiação solar no topo da atmosfera e a incidência de radiação solar em superfície, bem como o efeito de cobertura de nuvem provocado, principalmente, pelas friagens.

Este padrão sazonal é coincidente com os padrões da temperatura do ar e radiação solar (Figuras 4b e 4d, respectivamente). Isto sugere que a radiação solar e a temperatura, aliadas a uma atmosfera mais seca (menos chuva) e com menos turbulência (menor velocidade do vento), sejam um forte controle da ETo das regiões de floresta nativa localizadas entre latitudes de 7 a 10°S, resultado que corrobora com

estudos anteriores realizados na Amazônia Brasileira (Shuttleworth et al., 1988; Rocha et al., 2004; Hasler e Avissar, 2006 e Rocha et al., 2009).

Os valores máximos observados na região de estudo no mês de outubro assim como seus mínimos no mês de junho, padrão para as três localidades, podem ser vistos na Tabela 7, na qual são mostradas algumas estatísticas descritivas tais como: Média, Desvio Padrão (D.P) e Coeficiente de Variação (C.V).

Nota-se que os valores médios diários mensais de ETo para Rio Branco são maiores quando comparados às demais localidades durante todo o ciclo anual, com valores oscilando entre 3,14 a 4,49 mm dia⁻¹. Em Cruzeiro do Sul, que apresentou os menores valores, a variação foi de 2,37 a 3,33 mm dia⁻¹. Tarauacá configurou-se com valores intermediários, entre 2,51 a 3,32 mm dia⁻¹. Assim, Rio Branco teve maior amplitude de ETo dentre as localidades estudadas, caracterizado por um sinal sazonal mais forte, ao passo que Cruzeiro do Sul apresentou menor sinal sazonal. O fato de Rio Branco apresentar maior amplitude de ETo está associado aos maiores valores de radiação solar global, conforme verificado na Figura 4d.

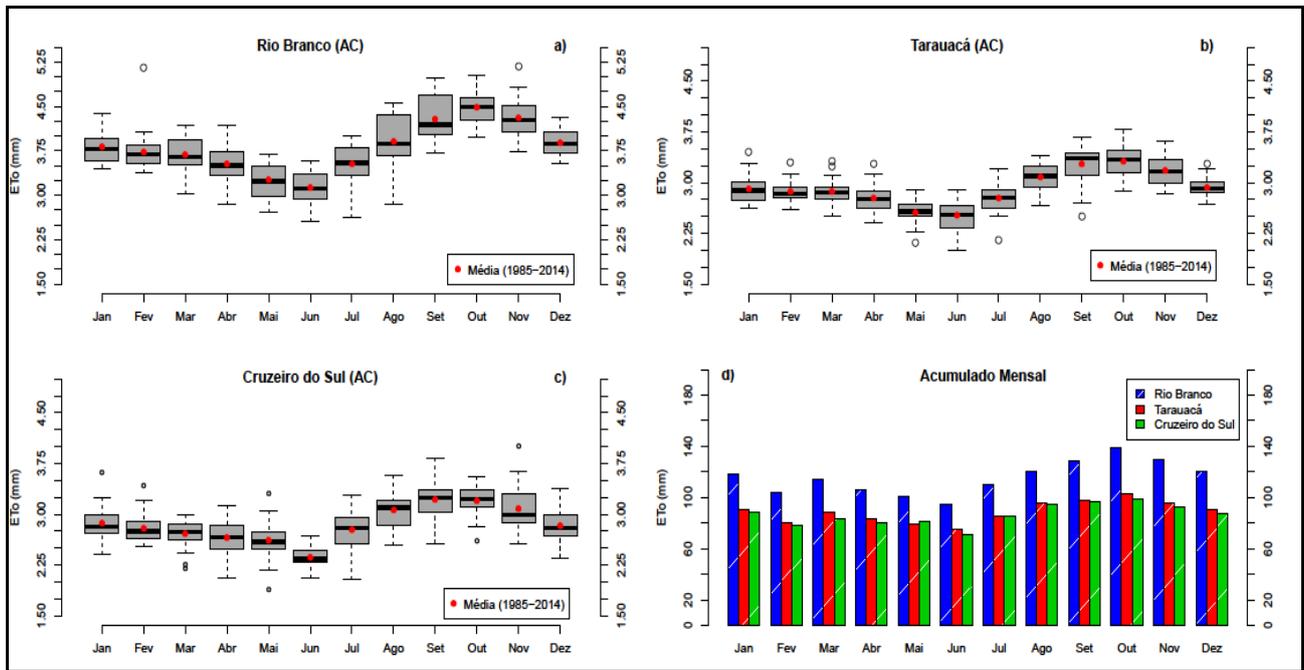


Figura 5. Boxplot da média diária mensal da ETo para o município de Rio Branco (a), Tarauacá (b), Cruzeiro do Sul (c) e gráfico de barras do acumulado médio mensal (d) para o período de 1985 a 2014.

Quanto à variabilidade (dispersão dos dados) observada por meio dos valores de D.P e C.V (Tabela 7), nota-se que Cruzeiro do Sul apresentou maior variabilidade quando comparada às demais localidades, principalmente, nos meses da estação seca (~9%). Tarauacá apresentou menor dispersão (~7%) e Rio Branco com valores intermediários (~8%). Percebe-se, então, que de um modo geral a

ETo na região de estudo apresenta baixa dispersão dos dados com relação à média, e esta apresenta boa aproximação da mediana, como pode ser observado por meio dos gráficos *boxplot* da Figura 5, indicando que este parâmetro (a média) é um bom estimador para representar a ETo na região de estudo.

Tabela 7. Estatísticas descritivas das séries históricas da ETo diária mensal para Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, Acre – 1985 a 2014.

Loc.	Rio Branco				Tarauacá				Cruzeiro do Sul			
	Média (mm/dia)	D.P (mm)	C.V.	Total (mm/mês)	Média (mm/dia)	D.P (mm)	C.V.	Total (mm/mês)	Média (mm/dia)	D.P (mm)	C.V.	Total (mm/mês)
Jan	3,82	0,26	7%	118,26	2,91	0,20	7%	90,25	2,86	0,25	9%	88,77
Fev	3,73	0,33	9%	104,34	2,87	0,16	5%	80,40	2,80	0,21	8%	78,29
Mar	3,68	0,28	8%	114,14	2,86	0,17	6%	88,74	2,70	0,20	7%	83,78
Abr	3,53	0,31	9%	105,80	2,77	0,20	7%	83,14	2,66	0,26	10%	79,86
Mai	3,25	0,26	8%	100,79	2,56	0,17	7%	79,41	2,61	0,26	10%	81,01
Jun	3,14	0,29	9%	94,14	2,51	0,22	9%	75,34	2,37	0,17	7%	70,96
Jul	3,54	0,32	9%	109,66	2,76	0,20	7%	85,63	2,76	0,29	11%	85,60
Ago	3,90	0,47	12%	120,81	3,08	0,20	6%	95,54	3,06	0,29	9%	94,78
Set	4,29	0,36	8%	128,82	3,27	0,28	9%	98,17	3,33	0,29	9%	96,76
Out	4,49	0,30	7%	139,11	3,32	0,23	7%	102,82	3,20	0,22	7%	99,11
Nov	4,30	0,31	7%	129,12	3,17	0,20	6%	95,22	3,08	0,32	10%	92,45
Dez	3,89	0,21	5%	120,57	2,93	0,15	5%	90,94	2,82	0,24	9%	87,46
Média	3,80			Total: 1385,57	2,92			Total: 1065,60	2,85			Total: 1038,84

Resultados semelhantes foram observados por Ferraz (2008) e Souza (2009) para Rio Branco (AC), leste do Acre, estimando a ETo por meio da equação de Pennam-Monteith e comparando-a com métodos mais simples para um período de 25 anos (1981 a 2006). Estes autores observaram que a máxima mensal ocorre em outubro (3,96 mm d⁻¹) e o mínimo em junho (2,79 mm d⁻¹) com médias anuais de 3,40 mm dia⁻¹. Marques et al. (1980) e Shuttleworth et al. (1987) encontraram valores médios globais de ET para o bioma Amazônico em torno de 4,0 mm. dia⁻¹.

Análise sazonal da ETo - Seguindo o mesmo padrão identificado na escala mensal, discutida anteriormente, em que a estação de Rio Branco apresentou maiores valores médios de ETo, ao passo que Cruzeiro do Sul os menores e Tarauacá os intermediários. O mesmo é observado na escala

sazonal por meio da Figura 6 e mostrado na Tabela 8.

Observa-se que regionalmente que a ETo pode ser caracterizada por valores oscilando na faixa média de 3,82 a 2,79 mm dia⁻¹ no verão (DJF), de 3,43 a 2,59 mm dia⁻¹ no outono (MAM), 3,44 a 2,64 mm dia⁻¹ no inverno (JJA) e de 4,29 a 3,10 mm dia⁻¹ na primavera (SON). Estes valores configuram um nítido efeito de hierarquia sazonal, em que os máximos encontram-se na primavera e os mínimos no outono. A máxima ETo assinalada para os meses da primavera está associada ao maior aquecimento radioativo. Os meses de outono, ao contrário, apresentaram os menores valores de ETo em virtude, é claro, da menor forçante evapotranspirativa – o aquecimento por radiação solar, já comentado e discutido na análise mensal.

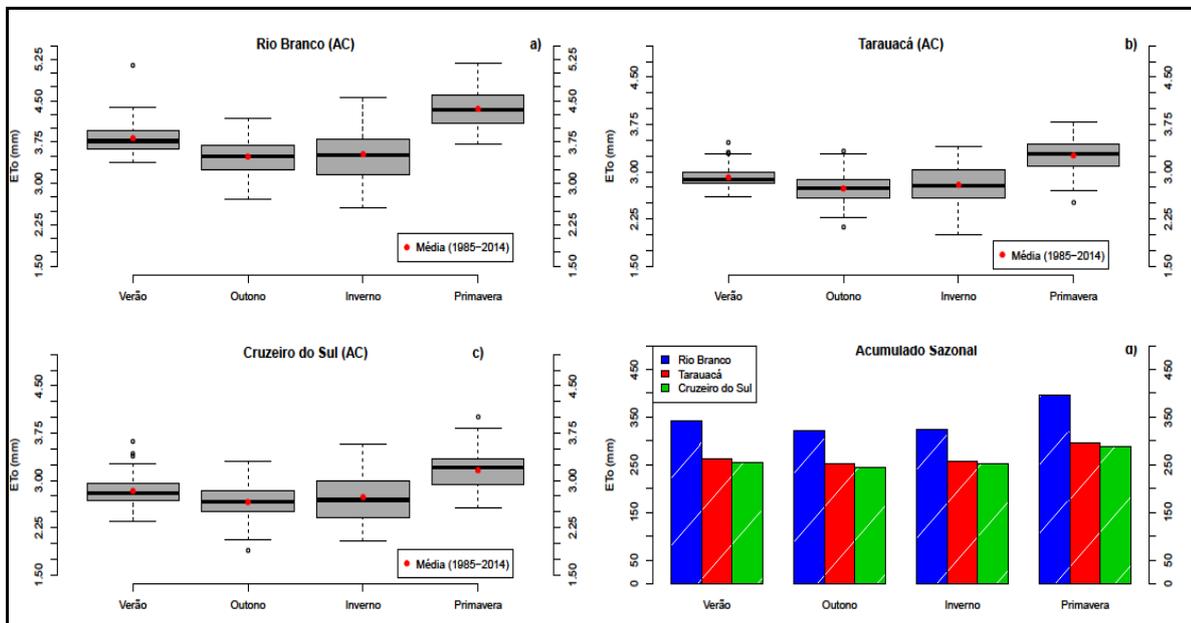


Figura 6. Boxplot sazonal da ETo média diária para o município de Rio Branco (a), Tarauacá (b), Cruzeiro do Sul (c) e gráfico de barras das médias sazonais (mm/dia) para as três localidades – 1985 a 2014.

Quando se analisam os C.V e os D.P (dispersão dos dados) das referidas localidades, nota-se que em geral os valores são baixos e não varia muito de uma estação para outra, sendo que Rio Branco e Cruzeiro do Sul apresentaram os maiores valores, ao passo que Tarauacá os menores, em que a estação do ano primavera, em média, foi a que apresentou maior variabilidade (Tabela 8 e Figura 6).

Análise anual da ETo - A Figura 7 e Tabela 9, mostram os valores dos totais anuais médios da ETo (mm/mês) ao longo do período de estudo (1985 a 2014) bem como a média climatológica (linha azul contínua) e desvios padrões (linha laranja).

A média climatológica local variou de uma região para outra. O maior valor foi observado na localidade de Rio Branco (Figura 7a) com média de 115,5 mm mês ano⁻¹, Cruzeiro do Sul (Figura 7c) com a menor 86,57 mm mês ano⁻¹ e Tarauacá (Figura 7b) com 88,80 mm mês ano⁻¹. Entretanto, quando se observa os coeficientes de variação (CV) notou-se uma inversão na ordem, em que o maior CV ocorreu na localidade de Cruzeiro do Sul (5,21%) e o menor em Tarauacá (3,11%), enquanto que para Rio Branco o CV foi de 4,32% (Tabela 9).

Tabela 8. Estatística descritiva da série histórica da média diária sazonal da ETp para Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, Acre – 1985 a 2014.

Estações do ano	Rio Branco				Tarauacá				Cruzeiro do Sul			
	Média (mm/dia)	D.P (mm)	C.V. (%)	Total (mm/tri)	Média (mm/dia)	D.P (mm)	C.V. (%)	Total (mm/tri)	Média (mm/dia)	D.P (mm)	C.V. (%)	Total (mm/tri)
Verão (DJF)	3,81	0,28	7%	343,17	2,90	0,17	6%	261,59	2,83	0,23	8%	254,52
Outono (MAM)	3,49	0,34	10%	320,73	2,73	0,22	8%	251,30	2,66	0,24	9%	244,66
Inverno (JJA)	3,52	0,48	14%	324,60	2,78	0,31	11%	256,51	2,73	0,38	14%	251,34
Primavera (SON)	4,36	0,33	8%	397,05	3,25	0,24	7%	296,20	3,17	0,28	9%	288,32

Com relação à variabilidade interanual observadas por meio das caixas interquartílicas do gráfico boxplot para cada ano (Figura 10). Observa-se que o ano com menor variabilidade ocorreu em 1985 para Rio Branco, 1986 para Cruzeiro do Sul e no ano de 1987 para Tarauacá, ao passo que a maior variabilidade para Rio Branco ocorreu no ano de 1992, em 1999 para Tarauacá e 1988 para Cruzeiro do Sul.

Ainda de acordo com a Figura 10 é possível verificar que o ano com maior demanda hídrica considerando a média anual (pontos vermelhos) ocorreu em 2005 (122,8 mm mês⁻¹) para Rio Branco, em 2006 para Cruzeiro do Sul (95,77 mm mês⁻¹) e em 2005/2010 para Tarauacá (94,49 mm mês⁻¹), que coincidiram com as secas severas ocorridas em 2005 e 2010 (Saatchi et al., 2013). Uma das piores já registradas na Amazônia, que se caracterizou por apresentar reduções de chuvas significativas na estação chuvosa, bem como de volumes dos rios, altas temperaturas, incêndios florestais e forte déficit hídrico que afetou dezenas até centenas de milhares de hectares de floresta (Brow et al., 2006; Zeng et al.,

2008, Brow et al., 2011). Em contra partida os picos mínimos ocorreram nos anos de 1986 para Cruzeiro do Sul (76,90 mm.mês⁻¹) e Rio Branco (106,4 mm mês ano⁻¹), enquanto que para Tarauacá foi em 1993 com 83,59 mm mês⁻¹.

De acordo com o estudo de Silva (2015) utilizando dados observacionais dos últimos 30 anos, observou por meio de correlações lineares que a maior parte da variabilidade interanual da ETo na região do Acre esteve associada a variabilidade da temperatura superfície do mar (TSM) da bacia do Atlântico norte que varia de acordo com o índice de Oscilação Multidecadal do Atlântico (na sigla em inglês, AMO). Os resultados deste estudo sugeriram que as maiores influências sobre a ETo nesta parte da Amazônia foi do oceano Atlântico tropical norte, ou seja, quando as TSM estão mais aquecidas (frias) nesta região do Atlântico, há mais (menos) demanda hídrica no Acre, em decorrência de uma circulação anômala que se forma entre a região do Atlântico norte e a Amazônia descrita por Yonn e Zeng (2010).

Tabela 9. Estatística descritiva da série histórica do acumulado médio anual (mm/mês) da ETo para Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul em relação ao período de 1985 a 2014.

Estatísticas	Rio Branco	Tarauacá	Cruzeiro do Sul
Valor Mín. (mm)	106,4	83,59	76,90
Mediana (mm/mês ano)	116,1	88,72	85,86
Média (mm/mês ano)	115,5	88,80	86,57
Valor Max. (mm)	122,8	94,49	95,77
Desvio Padrão (mm)	4,99	2,76	4,51
C.V. (%)	4,32	3,11	5,21
Total (mm/ano)	1385,57	1065,59	1038,84

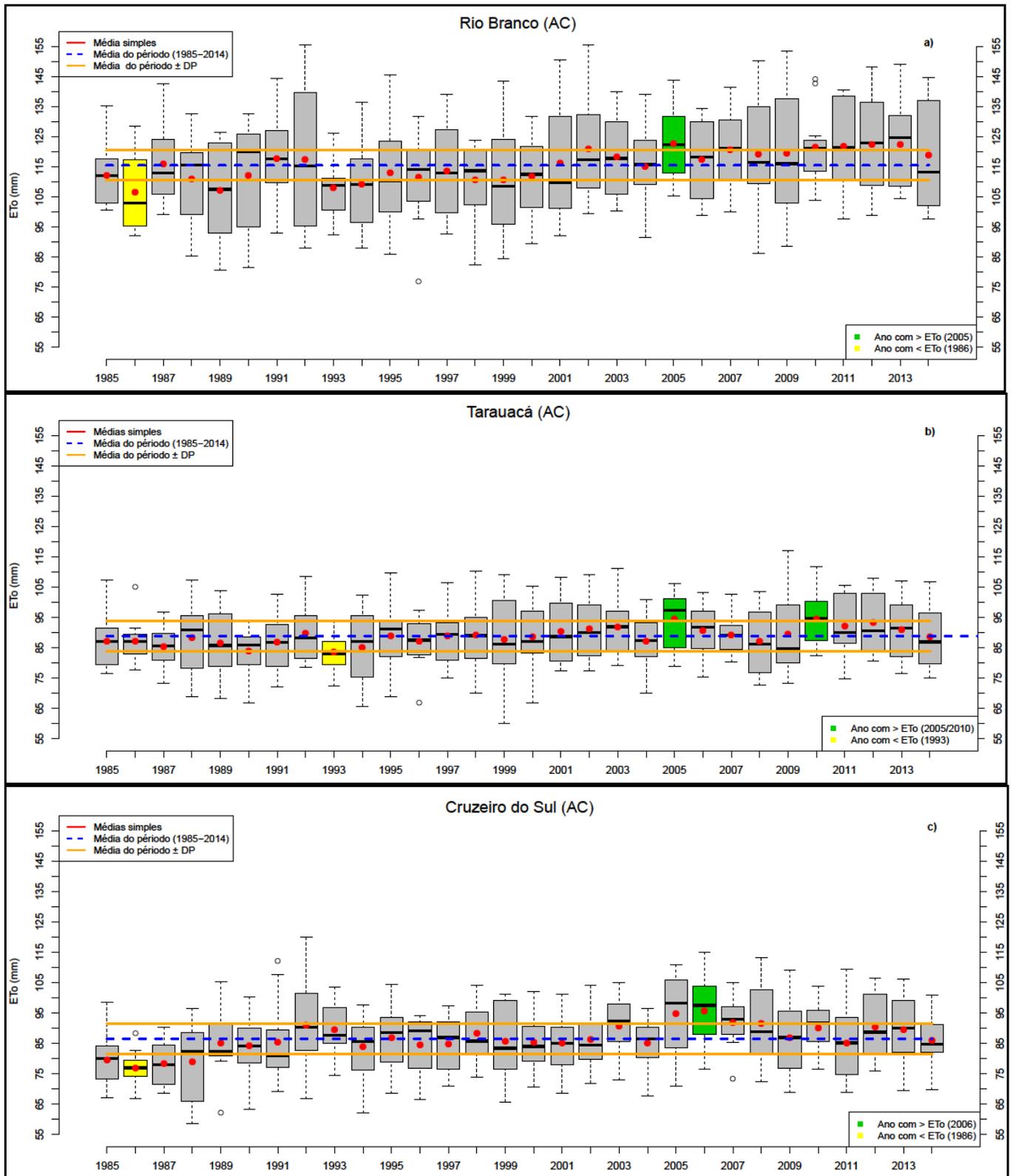


Figura 7. Boxplot da variação do total anual da ETo (mm/mês) observada na estações meteorológicas localizadas nos municípios de Rio Branco (a), Tarauacá (b) e Cruzeiro do Sul (c) para o período de 1985 a 2014.

Análise de Variância - São mostrados na Tabela 11 os resultados da ANOVA realizadas nas médias anuais e sazonais da ETo para as três localidades do estado do Acre: Rio Branco (rbr), Tarauacá (tara) e Cruzeiro do Sul (crz). Verificou-se por meio do valor-p a 1% de significância, que as diferenças entre as

médias anuais e sazonais (estações do ano) foram altamente significativas. Sugerindo, desta forma, que há pelo menos uma diferença significativa entre os pares de amostras da ETo.

Tabela 11. Resultado da aplicação da técnica de ANOVA para as médias anuais da ETo para as localidades de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul – 1985 a 2014.

Estatísticas	Anual	Verão	Outono	Inverno	Primavera
F _{calc}	446,0	365,7	187,1	131,5	309,3
Valor-p	***	***	***	***	***

***: nível de significância de 1%.

Para verificar entre, exatamente, quais pares de amostras (rbr-tara, rbr-crz e tara-crz) ocorreram às diferenças significativas, utilizou-se o teste de Tukey-HSD, em que o resultado é mostrado em sua forma gráfica por meio da Figura 8. O critério de decisão foi que se o intervalo de confiança, criado em torno das diferenças das médias dos pares amostrais, contiver o valor zero, não se rejeita a hipótese de igualdade entre as médias, caso contrário rejeita-se a hipótese de nulidade.

Assim, para a escala sazonal (Figura 8) observou-se que nem todos os pares de amostra apresentaram

diferença significativa. As médias anuais entre as localidades de Tarauacá e Cruzeiro do Sul não diferiram estatisticamente em nenhuma das estações do ano. Esta situação pode ser explicada pelo fato destas localidades estarem próximas geograficamente, sendo assim os sistemas meteorológicos, bem como as variáveis que condicionam a ETo durante esse período agirem de forma homogênea nestas cidades durante estas estações. Em contra partida, entre Rio Branco e as demais localidades houve diferença estatisticamente significativa a 5% durante todo o ciclo anual.

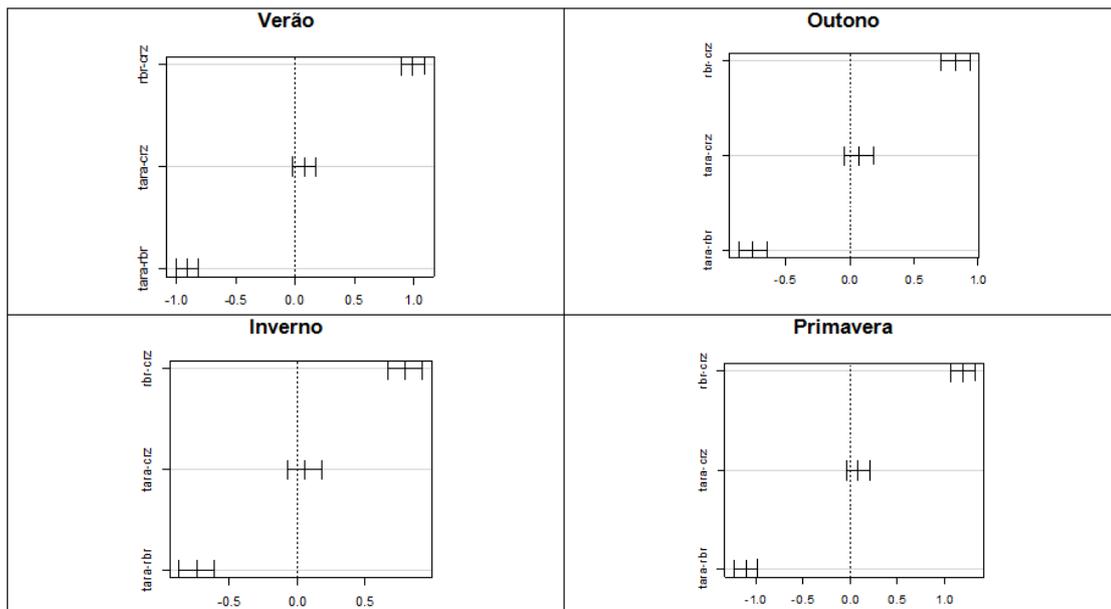


Figura 8. Intervalo de confiança de 95% para a diferença das médias da ETo na escala sazonal entre os pares Tarauacá e Rio Branco (tara-rbr), Tarauacá e Cruzeiro do Sul (tara-crz) e Rio Branco e Cruzeiro do Sul (rbr-crz).

A fim de garantir a eficácia e os pressupostos de normalidade, homocedasticidade (variância constante) e independência do modelo ANOVA, realizou-se a análise dos resíduos por meio dos testes estatísticos de Shapiro-Wilk, Cochran e Durbin-Watson, respectivamente, para os dados anuais. Os resultados dos testes, não mostrados, garantiram os

pressupostos da ANOVA a 5% de significância, conforme também pode ser verificado pela Figura 9, onde não há evidências de quebra dos pressupostos de homocedasticidade e normalidade.

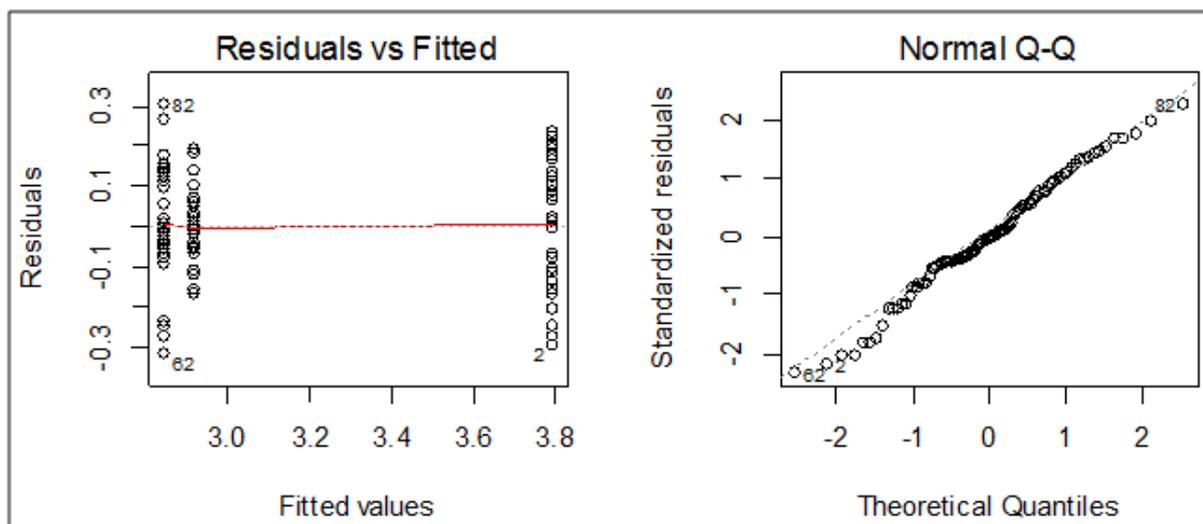


Figura 9. Gráfico dos resíduos do modelo ANOVA para variância (lado esquerdo) e normalidade (lado direito).

Conclusões

Os resultados deste trabalho permitiram concluir que:

1. A média diária anual da ETo, para Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, para o período de 1985 a 2014, foi de 3,80, 2,92 e 2,85 mm dia ano⁻¹ com acumulados médios anuais de 1385,6, 1065,6 e 1038,8 mm ano⁻¹, respectivamente, e que houve diferença estatisticamente significativa de uma localidade para outra a 1% de significância, exceto entre as localidades de Tarauacá e Cruzeiro do Sul que não apresentaram diferenças em suas médias anuais.
2. O sinal sazonal foi semelhante para as três localidades apresentando um mínimo em junho a um máximo no mês de outubro, sendo Rio Branco a localidade que apresentou sinal mais forte (amplitudes), por outro lado, Cruzeiro do Sul apresentou maior variabilidade (dispersão dos dados) dentre as localidades estudadas.
3. Os anos com maiores demandas evapotranspirativas ocorreram em 2005, 2006 e 2010 para Rio Branco, Cruzeiro do Sul e Tarauacá, respectivamente, associados à maior frequência de valores de anomalias positivas de temperatura da superfície do mar da bacia do Atlântico Norte. Em contra partida, os anos com menores valores ocorreram em 1986 para Cruzeiro do Sul e Rio Branco e, para Tarauacá em 1993 associados à maior frequência de valores negativos de anomalias de temperatura da superfície do mar desta bacia.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro e o incentivo à pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande

do Norte (UFRN) por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas (PPGCC) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES).

Referências

- ACRE. Governo do Estado do Acre, 2010. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000) [online]: Documento Síntese. 2 ed. Rio Branco: SEMA. Disponível: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C/D194D39/ZEE-Acre-faseII_Parte1-baixareol.pdf. Acesso: 10 mar. 2014.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *Icid Bulletin* 43, 1-34.
- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil, 1993. Plano Aeroviário do Estado do Acre.
- Andrade, A.M., 2006. Patrimônio ambiental e cultural do estado do Acre: A economia do meio ambiente como ferramenta de análise de bens ambientais e culturais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Rio de Janeiro, UFRJ.
- Back, A.J., 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36, 717-726.
- Brown, F., Santos, G.P., Pires, F.F., Costa, C.B.da, 2011. Brazil: Drought and Fire Response in the Amazon. *World Resources Report*, Washington DC [online] 1. Disponível: <http://www.worldresourcesreport.org/>. Acesso: 14 abr. 2014.

- Camargo, A.P., Sentelhas, P.C., 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 5, 89-97.
- Carvalho, L.G., Rios, G.F.A., Miranda, W.L., Neto, P.C., 2011. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativas. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 41, 456-465.
- Cavalcante, I.F.A., Ferreira, N.J, Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F.S., 2009. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, São Paulo.
- Costa, A.C., Soares, A., 2009. Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal. *International Journal of Climatology* 29, 1956-1975.
- Costa, R.L., Silva, F.D.S., Sarmanho, G.F., Lucio, P.S, 2012. Imputação Multivariada de dados diários de precipitação e Análise de Índices de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3, 661-675.
- Duarte, A.F., 2006. Aspectos da climatologia do acre, Brasil, com base no intervalo 1971 – 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21, 308-317.
- Faria, R.T., Camarori, P.H., Chibana, E.Y., Brito, L.R.S., 2003. CLIMA – Programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. *Engenharia Agrícola* 23, 372-387.
- Fernandes, D.S., Heinemann, A.B., Amorim, A.O., 2010. Evapotranspiração – Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás. (Documentos, 263).
- Ferraz, P.A., 2008. Estimativa da Evapotranspiração de referência (ET_o) para a região de Rio Branco – ACRE. Mestrado (Dissertação). Rio Branco, UFAC.
- Fisch, G., Marengo, J.A., Nobre, C.A., 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica* 28, 101-126.
- Gash, J.H.C., Nobre, C.A., Roberts, J.M., Victoria, R.L., 1996. *Amazonian deforestation and climate*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Harrell, F.E., 2001. *Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis*. Springer 1, New York.
- Hasler, N., Avissar, R., 2006. What Controls Evapotranspiration in the Amazon Basin?. *Journal Of Hydrometeorology* 8, 385-395.
- Hoffmann, R., 2011. *Estatística para economistas*, 4 ed. Cengage Learning, São Paulo.
- Horel, J.D., Hahmann, A.N., Geisler, J.E., 1989. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of Climate* 2, 1388-1403.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. *Cidades*. Rio Branco. Disponível: <http://ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso: 14 fev. 2014.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R. G., 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements. Manual and Reports on Engineering Practice (ASCE)* 70.
- Junger, W., Leon, A.P., 2012. *mtsdI: Multivariate time series data imputation*. R package 0.3.3.
- Junger, W. L., 2008. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro, UFRJ.
- Longobardi, A., Villani, P., 2010. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *Internacional Journal of Climatology* 30, 1538-1546.
- Marques, J., Salati, E., Santos, J.M., 1980. Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. *Acta Amazônica* 10, 357-361.
- Martinez, M.D, Serra, C., Burgueno, A., Lana, X., 2011. Communication Response to the comments on time trends of daily Maximum and minimum temperatures in Catalinia (NW Spain) for the period 1975-2014. *Internacional Journal of Climatology* 31, 153-157.
- Medeiros, A.T., 2002. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE. Tese (Doutorado). Piracicaba, ESALQ.
- Nunes, L.N., Klück, M.M, Fachel, J.M.G., 2009. Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos. *Caderno de Saúde Pública* 25, 268-278.
- Nunes, L.N., Kluck, M.M., Fachel, J.M., 2010. Comparação de métodos de imputação única e múltipla usando como exemplo um modelo de risco para mortalidade cirúrgica. *Revista Brasileira de Epidemiologia* 13, 596-606.
- Ometto, J.C., 1981. *Bioclimatologia vegetal*, 1 ed. Agronômica Ceres, São Paulo.
- OMM. Organización Meteorológica Mundial, 1992. *Vocabulo Meteorológico Internacional*. Publicación WMO (Word Meteorological Organization).
- Pereira, M.A.F., Kobiyama, M., Castro, M.R., 2014. Análise de Variâncias Pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Taboão/RS. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 409-419.
- R Core Team, 2013. *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível: <http://www.R-project.org/>. Acesso: 14 mar. 2014.

- REDEMET, Rede de Meteorologia da Aeronáutica, 2014. Homepage oficial do Comando Aéreo da Aeronáutica. Disponível: <http://clima.icea.gov.br/clima/>. Acesso: 14 mar. 2014.
- Rocha, H.R., Goulden, M.L., Miller, S.D., Menton, M.C., Pinto, L.D.V.O., Freitas, H.C., Figueira, A.M.S., 2004. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological Applications* 14, 22-32.
- Rocha, H.R. Manzi, A.O., Cabral, O.M., Miller, S.D., Goulden, M. L., Saleska, S.R., Coupe, N.R., Wofsy, S.C., Borma, L.S., Artaxo, P., Vourlitis, G., Nogueira, J.S., Cardoso, F.L., Nobre, A.D., Kruijt, B., Freitas, H.C., Randow, C.V., Aguiar, R.G., Maia, J.F., 2009. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. *Journal of Geophysical Research* 114, 1-8.
- Royston, P., 1982. An extension of Shapiro and Wilk's *W* test for normality to large samples. *Applied Statistics* 31, 115-124.
- Rubin, D.B., 1989. Multiple imputation after 18+ years. *JASA* 91, 473-489.
- Rubin, D.B., 1987. *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys*. John Wiley & Sons, New York.
- Samani, Z., 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126, 265-267.
- Saatchi, S., Asefi-Najafabady, S., Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Anderson, L.O., Myneni, R.B., Neman, R., 2013. Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 110, 565-570.
- Salati, E., Marques, J., 1984. Climatology of the Amazon region, in *The Amazon*. Harald Sioli. Editora: Springer Netherlands, Boston, pp. 85-126.
- Sampaio, S.C., Queiroz, M.M.F., Frigo, E.P., Longo, A.J., Suszek, M., 2007. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o Estado do Paraná. *Irriga* 12, 38-53.
- Santiago, A.V., 2001. Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ.
- Schafer, J.L., Graham, J.W., 2002. Missing data: our view of the state of the art. *Psychol Methods* 7, 147-77.
- Sentelhas, P.C., Angelocci, L.R., 2009. Evapotranspiração – definições e conceitos, ESALQ/USP, Disponível: <http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula8.pdf>. Acesso: 11 ago. 2014.
- Shuttleworth, W.J., 1988. Evaporation from Amazonian rain forest. *Proceedings of the Royal Society* 233, 321-346.
- Shuttleworth, W.J., Gash, J.H.C., Lloyd, C.R., Moore, C.J., Roberts, J.M., Molion, L.C.B., Nobre, C.A., Sá, L.D.A., Marques Filho, A.O., Fisch, G., Januario, M., Plana-Fattori, A., Ribeiro, M.N.G., Cabral, O., 1987. Amazonian Evaporation. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2, 179 -191.
- Silva, H.J.F., 2015. Análise de Tendência e caracterização sazonal e interanual da Evapotranspiração de Referência para o sudoeste da Amazônia Brasileira: Acre, Brasil. Dissertação (Mestrado). Natal, UFRN.
- Souza, M.L.A., 2009. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em Rio Branco, Acre. Dissertação (Mestrado), Rio Branco, UFAC.
- Tang, L., Song, J., Belin, T.R, Unutzer, J., 2005. A comparison of imputation methods in a longitudinal randomized clinical trial. *Join Statistical Meetings* 24, 3430-3435.
- Thom, H.C.S., 1966. Some methods of climatological analysis. *WMO Technical Note* 81, 53.
- Tukey, J.W., 1949. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics* 5, 99.
- Vieira, S., 1980. *Introdução a bioestatística*. 4 ed. Elsevier Editora Ltda, Rio de Janeiro.
- Zeng, N., Yoon, J.H., Marengo, J.A., Subramaniam, A., Nobre, C.A., Mariotti, A., Neelin, J.D., 2008. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environmental Research Letters*. 3, 1-9.
- Zhou, X.H., Eckert, G.J., Tierney, W.M., 2001. Multiple imputation in public health research. *Statistics Medicine* 20, 1541-1549.