



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbge](http://www.ufpe.br/rbge)



## Índices climáticos e caracterização climática do entorno de Manaus

Isaac Cohen Antonio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, isaac.cohen@embrapa.br

Artigo recebido em 12/04/2017 e aceito em 05/08/2017

### RESUMO

Neste trabalho é apresentada a caracterização climática através de alguns índices climáticos pluviométricos e termopluiométricos, calculados com os dados da série histórica, registrados na estação agrometeorológica da Embrapa Amazônia Ocidental, (Manaus, AM), nas coordenadas georreferenciadas de -2°53'25" de Latitude; -59°58'06" de Longitude e Altitude de 102 metros. O Índice de Porcentagem Normal-IPN mensal caracteriza um período de 3 meses de seca suave a moderada (JAS) e, seis meses de período úmido (dezembro a maio), caracterizando junho como sendo o mês de transição para o período seco e outubro o mês de transição para o período chuvoso podendo ser usado como índice de alerta para meses de secas hídricas do solo nos meses mais secos (JAS) na região de Manaus. O Precipitation Concentration Index - PCI anual confirma que ocorre uma moderada concentração de chuvas. O PCI do trimestre mais seco (JAS) mostrou que as poucas chuvas deste período, são distribuídas de forma uniforme a moderadamente concentradas. A variação interanual do IAC e do IACm não divergiu para os três Fatores de Escala, ambos podem ser usados. O Índice de Anomalia de Chuva mostrou que os trimestres mais chuvoso e menos chuvoso estiveram seis vezes na faixa extrema. O Diagrama Termopluiométrico de Gaussen-Bagnouls e Walter-Lieth construído com as médias da série histórica, não caracterizou os meses secos. Quando se aplicam estes índices mês a mês, aparece uma frequência de meses secos, com agosto sendo o mais seco. O índice anual de De Martonne, classifica o clima local como Superúmido, porém não tem acurácia para caracterizar os meses secos.

### Climate indices and climate characterization of the Manaus' periphery

#### ABSTRACT

This work presents the climatic characterization and some pluviometric and termopluiometric climatic indexes, calculated with the data of the historical series, recorded in the agrometeorological station of Embrapa Amazônia Ocidental, located at km 29 of the highway AM-010 (Manaus-Itacoatiara), in georeferenced coordinates -2°53'25" of Latitude; -59°58'06" of Longitude and Altitude of 102 meters. The monthly PNI characterizes a period of 3 months of mild to moderate drought (JAS) and, 6 months of wet period (December to May). Characterizes June as the transition month for the dry period and October the month of transition for the rainy period, the PNI can be used as an alert index for months of soil water droughts, in the driest months (JAS) in the Manaus region. The annual PCI confirms that there is a moderate concentration of rainfall. The driest quarter PCI (JAS) showed that the few rains of this period have a distribution uniform to moderately concentrated. The inter-annual variation of RAI and RAI<sub>m</sub> did not differ for the three Scale Factors used, can be used both indexes and it showed that, the rainier and less rainy quarters reached six times the extreme range. The Thermopluiometric Gaussen-Bagnouls and Walter-Lieth Diagram constructed with the historical series averages, does not characterized the dry months. When are applied this indexes month by month, a frequency of dry months appears, with August being the driest. The annual De Martonne index classifies the local climate as extremely humid, but does not have accuracy to characterize the dry months.

#### Introdução

Os índices climáticos, usados para definir o clima de um local, são obtidos principalmente através dos parâmetros temperatura, precipitação e evapotranspiração combinados com a latitude e

altitude do local, podendo ser térmicos, pluviométricos, termopluiométricos, de continentalidade e oceanidade, de mediterraneidade e bioclimáticos. No entanto, outras variáveis precisam ser consideradas como o

tipo de solo e vegetação, a distância dos oceanos e a topografia local são determinantes para o regime de precipitação.

Segundo Vivas (2011), as avaliações da percentagem da Normal de Precipitação funcionam bem quando utilizadas para uma única região ou época do ano, poderá ser calculado tanto com base mensal (ou grupo de meses), como com base anual. Gois (2005) avaliou Índice de Porcentagem Normal (IPN) adaptado e mais quatro, para diferentes regiões de Minas Gerais, constatando que o IPN foi o índice que identificou o maior número de eventos de seca. Gois (2005) dividiu o IPN em onze categorias, adaptada por, para diferentes regiões de Minas Gerais. Cunha (2008) apresenta 5 classes do IPN para parte portuguesa da bacia do Guadiana ao Sul de Portugal com uma classe a mais da classificação do Instituto Nacional da Água de Portugal (INAG – PT). Willeke et al. (1994, citado por Sayari et al., 2013) também distribuíram o IPN adimensional em 5 classes para monitorar a intensidade e duração da seca na bacia de Kashafrood, no nordeste do Irã.

O Índice de Concentração da Precipitação (do inglês Precipitation Concentration Index – PCI), que caracteriza a concentração mensal de precipitação em uma escala que varia de menos de 10 (chuvas distribuídas uniformemente) à 100 (distribuição extrema da precipitação mensal, com grande concentração), foi desenvolvido por Oliver (1980), modificando um índice usado por Gibbs e Martin em 1962, para medir a diversificação de emprego na indústria a fim de comparar unidades regionais. Para aplicação climática, Oliver considerou que  $x$  seria o valor da precipitação média mensal e não subtraiu da unidade o resultado da expressão, ao invés disso, multiplicou o resultado por 100 para evitar o uso extensivo de frações. Considerou mais adequado que a escala fosse revertida e que a uniformidade de precipitação fosse indicada por um índice baixo, com a distribuição cada vez mais sazonal sendo mostrada por um valor mais elevado, considerou que um PCI menor do que 10 sugere uma distribuição uniforme das chuvas e um valor de 11 à 20, indica um distribuição sazonal. Enquanto um índice acima de 20 representa marcadas diferenças sazonais, conforme o valor do PCI aumenta, aumenta a concentração mensal das chuvas, um IPC de 100, indica a concentração de chuvas anuais em um só mês. Oliver (1980), após testar a eficácia deste índice de precipitação para diferenciar padrões regionais de distribuição de chuvas, para estações nos Estados Unidos, África e Austrália, adverte que a distribuição bimodal de precipitação de estações equatoriais não é bem exibida usando o

PCI. Michiels et al. (1992) consideram que uma distribuição desequilibrada da precipitação provoca períodos de excesso de chuvas, então propuseram este índice também como um indicador da concentração e erosividade da chuva, quanto maior a concentração de chuvas maior o risco de erosão, podendo ser calculado para o trimestre ou semestre segundo de Luis et al. (2011). Ernani e Gabriels (2007) dividiram o índice PCI em cinco classes, para a bacia de Yazd-Ardakan no Irã. O PCI foi utilizado por Rodríguez et al. (2011) para avaliar a distribuição e a agressividade de precipitação na região sudeste Venezuela, por Higareda et al. (2014) para ver tendências de chuva e consequentes secas em Sinaloa no México e por Guio-Martínez et al. (2015) para avaliar o risco de erosão causado pelas chuvas na bacia do reservatório de La Copa em Boyacá, Colombia.

Índice de Anomalia de Chuva IAC ou em inglês RAI (Rainfall Anomaly Index), classifica e ordena anomalias de precipitações, usa valores de limiar ou fatores de escalas arbitrários que foram atribuídos por Rooy (1965) citado por (Oladipo, 1985) na faixa  $\pm 3$  e que em alguns trabalhos vão de  $\pm 1,7$  (Hänsel et al., 2016). As anomalias extremas podem ser classificadas em positivas e negativas, baseadas no desvio da precipitação em relação à normal. Oladipo (1985) encontrou diferenças insignificantes entre o IAC e os índices de Palmer e Bhalme-Mooley para a detecção de seca meteorológica. Também Hänsel et al. (2016) citam vários estudos que mostram um desempenho do IAC comparável ao índice de seca universal proposto pela OMM que é o Standardized Precipitation Index (SPI) e consideram o IAC igualmente robusto como o SPI podendo ser calculado com os mesmos prazos e, ainda possui maior grau de transparência e rastreabilidade e procedimento menos complexo, eles modificaram o IAC, para adaptar este índice a uma série de 40 anos, menor que a utilizada por Rooy e poder comparar com o outro índice mais complexo o SPI, encontrando uma correlação de Pearson com o SPI, com coeficientes maiores que 0,9 e coeficientes de Spearman maiores que 0,99.

Em 1953 Bagnouls e Gaussen, criaram um diagrama baseado nas médias anuais da temperatura ( $T_m$ ) e da precipitação ( $P$ ) que ficou conhecido como diagrama de Gaussen e consideram que um mês é árido quando a média histórica da precipitação mensal ( $P$ ) é inferior a duas vezes a temperatura média ( $T_m$ ) deste mês ( $P < 2T_m$ ). Mais tarde Walter e Lieth (1964), introduziram mais uma escala ( $P < 3T_m$ ), criando os seguintes critérios:  $P > 3T_m =$  Úmido;

$3T_m > P > 2T_m$  = Semiúmido;  $P < 2T_m$  = Árido. Um mês é úmido quando a média da precipitação é maior que três vezes a sua temperatura média; semiúmido quando a média da precipitação é maior que duas vezes a sua temperatura média e menor que três vezes a sua temperatura média e árido quando a média da precipitação é menor que duas vezes a sua temperatura média. Esta escala pode ser visualizada graficamente (Universidad de Sevilla, s/d).

O índice de aridez de De Martonne é mais adequado para climas frios por ter a constante +10 no denominador que elimina várias temperaturas negativas (Almorox, 2003). É um índice usado para detectar a transição de uma área para outra e a transição lenta entre ambientes áridos, semiáridos, e úmidos (Martonne, 1926 citado por Fernandes et al., 2009).

Cinco Índices climáticos foram calculados para caracterização do clima da região de Manaus e evidenciar períodos secos e muito úmidos que podem interferir na atividade de produção agrícola: O Índice de Porcentagem Normal (IPN), o Índice de Concentração da Precipitação (ICP), o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), o Índice de Aridez de Gausson e o Índice de Aridez de De Martonne.

## Material e métodos

Os índices climáticos foram calculados com os registros de 40 anos da Estação Agroclimatológica convencional da sede Embrapa Amazônia Ocidental, localizada no km 29 da rodovia AM-10, nas coordenadas georreferenciadas de  $-2^{\circ}53'25''$  de Latitude;  $-59^{\circ}58'06''$  de Longitude e Altitude de 102 metros, nos anos de 1971 a 2010, constituindo uma série histórica de registro de dados climáticos de 40 anos.

O Índice de Porcentagem Normal foi obtido pela Equação 1, descrita por Gois (2005), que avaliou este índice adaptado e mais quatro, para diferentes regiões de Minas Gerais, constatando que o IPN foi o índice que identificou o maior número de eventos de seca.

$$IPN = \left[ \frac{P_m}{P_{Na}} \right] \times 100 \quad \text{[Equação 1]}$$

Onde:

IPN = porcentagem da precipitação normal (%);

$P_m$  = precipitação mensal medida em um dado local ou estação em mm;

$P_{Na}$  = precipitação normal anual local ou da estação em estudo em mm.

O Índice de Concentração da Precipitação (PCI), foi calculado pela Equação 2 de Oliver (1980):

$$PCI_{\text{anual}} = 100 \frac{\sum P_{\text{mensal}}^2}{P_{\text{anual}}^2} \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde PCI é o Índice anual de Concentração da Precipitação em percentagem e  $P_{\text{mensal}}$ , é a precipitação mensal para cada mês do ano e  $P_{\text{anual}}$  o total de precipitação anual. O PCI trimestral foi calculado utilizando a Equação 3 proposta por de Luis et al. (2011).

$$PCI_{\text{trimestral}} = 25 \left\{ \frac{\sum p^2}{(\sum p)^2} \right\} \quad \text{[Equação 3]}$$

Baseado na classificação de Oliver (1980), foi calculada a variação interanual do PCI trimestral para os meses secos (julho, agosto e setembro) comparados com o PCI anual e a precipitação total anual.

O Balanço hídrico do solo foi calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1957), considerando que a localização da estação está próxima da linha do equador (Latitude:  $-2^{\circ}53'25''$ ), adotou-se o dia de referência ( $D_{ref}$ ) para o cálculo do número de horas de insolação e a equação para o cálculo da declinação do sol, recomendados por Klein (1977). A evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ) foi calculada usando a equação de Thornthwaite (1948), quando a temperatura média mensal foi maior ou igual a zero e menor que  $26,5^{\circ}C$  e, quando foi maior ou igual  $26,5^{\circ}C$ , usou-se a equação de Willmott et al. (1985). Utilizou-se dois fatores de correção, um para a variação dos dias mensais e outro para o número de horas no cálculo da evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ), recomendado por Wilm e Thornthwaite (1944), devido a variação do número de dias dos meses e, do número de horas no dia entre início e o final da evapotranspiração, que varia com a estação do ano e a latitude do lugar.

Índice de Anomalia de Chuva, IAC ou RAI (Rainfall Anomaly Index) mensal foi obtido pelas Equações 4 e 5 de Rooy (1965) citado por Oladipo (1985) com as médias mensais da série histórica.

$$IAC = 3 \left[ \frac{p - P_m}{P_{m\acute{a}x} - P_m} \right] \quad \text{[Equação 4]}$$

$$IAC = -3 \left[ \frac{p - P_m}{P_{m\acute{m}n} - P_m} \right] \quad \text{[Equação 5]}$$

Onde:

IAC = Índice de Anomalia de Chuva (adimensional)  
Sendo em mm:

$p$  = precipitação total do mês;

$P_m$  = precipitação média do período;

$P_{m\acute{a}x}$  = média dos dez mais altos valores mensais da precipitação no período;

$P_{m\acute{m}n}$  = média dos dez mais baixos valores mensais da precipitação no mesmo período.

Os Fatores de escala  $\pm 3$ , positivo para as anomalias das dez maiores precipitações  $P_{m\acute{a}x}$  (equação 4) e negativo para as dez menores

precipitações  $P_{mín}$  (Equação 5) do período em questão.

O Índice de Anomalia de Chuva modificado (IACm) pelo método de Hänsel et al. (2016), com a Equação 6, para adaptar este índice à série de 40 anos, arbitrando-se fatores de escala  $\pm 3$  e  $\pm 4$ , para o ano menos chuvoso (1983) e mais chuvoso (2008), agrupando os índices achados em 7 classes, após análise da distribuição de frequência. Também foi calculada a variação interanual do IAC para os trimestres mais chuvoso (FMA) e menos chuvoso (JAS) arbitrando-se fatores de escala  $\pm 1,7$ ;  $\pm 3$  e  $\pm 4$ .

$$IACm_i = \pm FE \cdot \left[ \frac{(P_i - P_{md})}{(\bar{E} - P_{md})} \right] \quad \text{[Equação 6]}$$

Onde:

IACm<sub>i</sub> = Índice de Anomalia de Chuva modificado do mês *i*.

P<sub>i</sub> = É a soma da precipitação mensal de mês *i* em questão.

P<sub>md</sub> = Precipitação Mediana mensal do período considerado para o respectivo mês (por exemplo, se o mês em questão é Janeiro, então P<sub>md</sub> é a mediana de todos Janeiro dos anos em estudo)

$\bar{E}$  = média dos 10% das precipitações mais extremas (10% percentil para anomalias positivas, 90% percentil para as anomalias negativas) da série período considerado, para o respectivo mês (por exemplo, se o mês em questão é janeiro, então  $\bar{E}$  é a média de 10% das mais extremas somas de precipitação de Janeiro do período considerado). Sendo feito o mesmo cálculo para as anomalias negativas.

$\pm FE$  = Fator de Escala (positivo para  $P_i \geq P_{md}$  e negativo para  $P_i < P_{md}$ )

O Diagrama Termopluiométrico de Gausson-Bagnouls e Walter-Lieth, foi construído com as médias mensais da precipitação e temperatura do ar da Série Histórica de 1971 a 2010, usando os seguintes critérios:

$P > 3T_m = \text{Úmido}$

$3T_m > P > 2T_m = \text{Semiúmido}$

$P < 2T_m = \text{Árido}$

O índice de aridez de De Martonne foi calculado mensalmente pela Equação 7 (Martonne, 1926 citado por Almorox, 2003):

$$I_{Mm} = \frac{12 p}{t + 10} \quad \text{[Equação 7]}$$

Onde:

$I_{Mm}$  = Índice de Aridez de De Martonne Mensal

$p$  = Precipitação Média Mensal em mm

$t$  = Temperatura Média Mensal em graus centígrados

Os valores e os significados do Índice de Aridez de De Martonne citado por Almorox (2003), foram agrupados no Quadro 1.

Quadro 1. Índice de Aridez de De Martonne e clima (Extraído de Almorox, 2003).

| Índice de aridez | Tipo de clima             |
|------------------|---------------------------|
| < 5              | Aridez absoluta (deserto) |
| 5 e 10           | Árido (semideserto)       |
| 10 e 20          | Semiárido                 |
| 20-30            | Sub úmido                 |
| 30-60            | Úmido                     |
| > 60             | Superúmido                |

## Resultados e discussão

Foram calculados 3 índices pluviométricos e 2 índices termopluiométricos, para os registros climáticos da série histórica 1971-2010, apresentados a seguir.

### Índices Pluviométricos

#### Índice de Porcentagem Normal (IPN)

O IPN médio adimensional anual da série foi 0,083. Na Tabela 1 são apresentados os valores mínimo e máximo, a amplitude total, a amplitude para 5 classes, a média e a mediana para o IPN da série e na Tabela 2, a distribuição de classes e frequências do IPN adimensional mensal, para os meses mais secos (julho, agosto e setembro). Na Tabela 3 uma proposição da distribuição de classes com grau de intensidade para o IPN adimensional, baseado nos dados da série histórica.

Tabela 1. Valores mínimo e máximo, a amplitude total, a amplitude para 5 classes (AC), a média e a mediana para o IPN da série histórica 1971-2010.

|              |          |
|--------------|----------|
| Mínimo       | 0,002604 |
| Máximo       | 0,096661 |
| Amplitude    | 0,094056 |
| AC 5 Classes | 0,019    |
| Média        | 0,043817 |
| Mediana      | 0,040614 |

Tabela 2. Distribuição de classes e frequência (F) do IPN adimensional de JAS, da série histórica.

| Classe            | F Relativa | % acum. | Densidades  | Ponto médio |
|-------------------|------------|---------|-------------|-------------|
| [0,0026 ; 0,0214) | 0,12       | 11,67   | 6,201954397 | 0,012009804 |
| [0,0214 ; 0,040)  | 0,38       | 49,17   | 19,93485342 | 0,030821078 |
| [0,0402 ; 0,0590) | 0,3        | 79,17   | 15,94788274 | 0,049632353 |
| [0,0590 ; 0,0778) | 0,13       | 92,5    | 7,087947883 | 0,068443627 |
| [0,0778 ; 0,0967) | 0,08       | 100     | 3,986970684 | 0,087254902 |

A Tabela 4 mostra os IPN mensais, calculados para a série histórica, com a proposição dos respectivos graus de severidade, bem representativos das ocorrências dos meses secos no local da estação. Para o local da estação, o limite de alerta para seca é o IPN adimensional 0,06. Índices menores que 0,06 (que equivale a 156,7 mm de chuva), indicam atenção e cuidado no fornecimento de água para as plantações.

Tabela 3. Intensidade de seca do IPN para os meses de JAS, adotados para o local da estação.

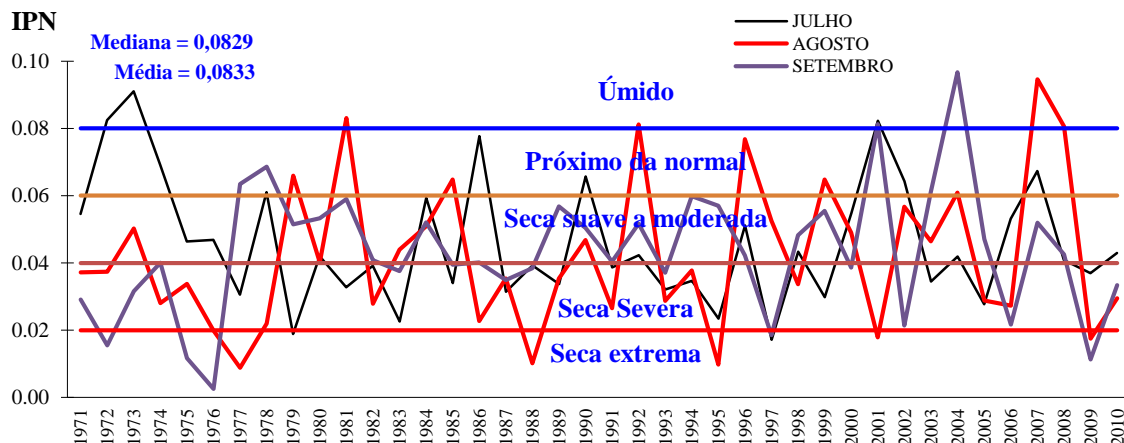
| IPN adimensional       | Grau de Intensidade   |
|------------------------|-----------------------|
| $IPN \geq 0,08$        | Úmido                 |
| $0,06 \leq IPN < 0,08$ | Próximo do normal     |
| $0,04 \leq IPN < 0,06$ | Seca suave a moderada |
| $0,02 \leq IPN < 0,04$ | Seca Severa           |
| $IPN < 0,02$           | Seca extrema          |

Na Figura 1 é apresentada a variação interanual do IPN para o trimestre mais seco (JAS), observa-se que estes meses já sofreram secas extremas e chuvas acima da Normal, durante o período da série histórica, pela escala proposta, sendo que o mês de agosto é o mais seco dos três.

Tabela 4. IPN adimensional, calculado com as médias mensal e anual da precipitação da série histórica 1971-2010 e as classes encontradas para o local da estação.

| Mês       | IPN adimensional | Classe de severidade  |
|-----------|------------------|-----------------------|
| Janeiro   | 0,1039           | Úmido                 |
| Fevereiro | 0,1143           | Úmido                 |
| Março     | 0,1257           | Úmido                 |
| Abril     | 0,1262           | Úmido                 |
| Mai       | 0,1063           | Úmido                 |
| Junho     | 0,0648           | Próximo do normal     |
| Julho     | 0,0459           | Seca suave a moderada |
| Agosto    | 0,0421           | Seca suave a moderada |
| Setembro  | 0,0434           | Seca suave a moderada |
| Outubro   | 0,0615           | Próximo do normal     |
| Novembro  | 0,0731           | Próximo do normal     |
| Dezembro  | 0,0928           | Úmido                 |
| Méd. ano  | 0,0833           |                       |

Figura 1. Variação interanual do IPN de JAS e faixas do grau de intensidade da seca para o local da estação.



Índice de Concentração da Precipitação (PCI)

A distribuição interanual do PCI anual indica que há uma moderada concentração de chuvas na maioria dos anos observados, o que significa presença de períodos secos e úmidos bem

caracterizados no Balanço Hídrico anual (Figuras 3), com os meses secos sendo julho, agosto e setembro. A variação interanual do PCI trimestral destes meses secos, mostra que predomina uma distribuição uniforme à moderadamente sazonal das chuvas nestes meses. O total da precipitação anual influencia a distribuição anual de chuvas, ou

seja, anos com os menores volumes de precipitação tiveram distribuição uniforme e os de maiores volumes, tiveram distribuição moderadamente sazonal, sazonal e altamente sazonal, é o que observa-se na Figura 2.

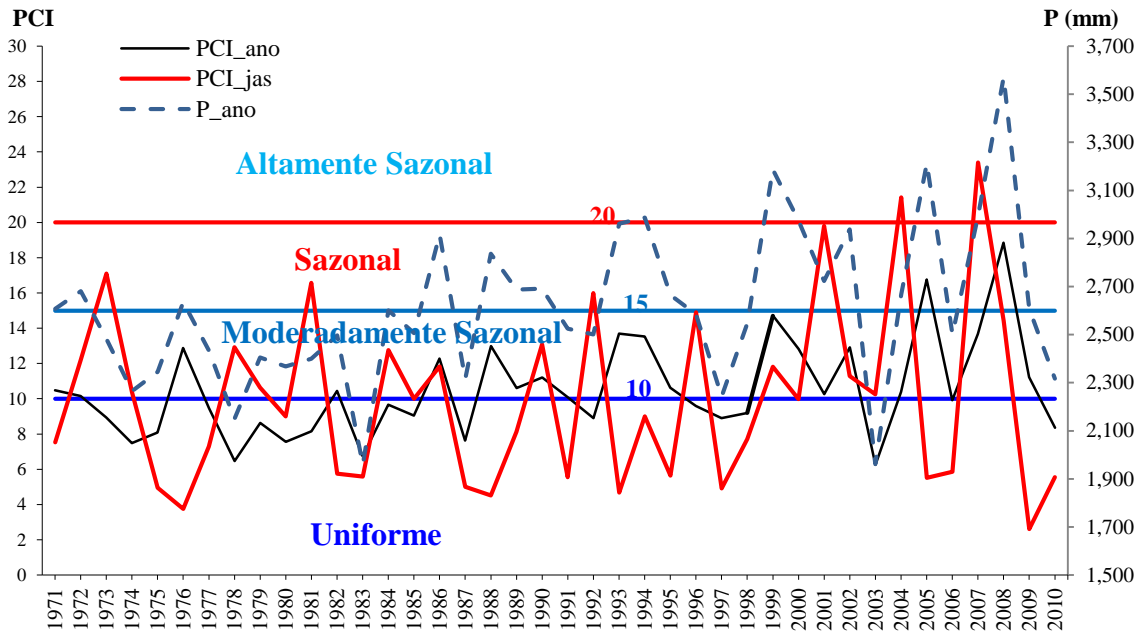


Figura 2. Variação interanual da Precipitação (P\_ano), PCI anual, do PCI do trimestre junho, agosto e setembro (PCI\_jas) e faixas do grau de distribuição de chuvas segundo Oliver (1980), calculado para o local da estação.

**Índice de Anomalia de Chuva (IAC)**

A distribuição de frequência com 7 classes do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e do Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm) calculados com fatores de escala (FE)  $\pm 3$  e  $\pm 4$ , para o trimestre mais chuvoso (FMA) e menos chuvoso (JAS), no período 1971 a 2010, foram muito parecidas (Tabelas 4 e 5). Com base nestas

distribuições e como não houve diferenças consideráveis entre o IAC e o IACm, foram adotadas as mesmas classes para o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e para o Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm) baseadas na classificação de Rooy (1965) citado por Hänsel et al. (2016) para o local do estudo, tendo como fator de escala (FE)  $\pm 3$  (Tabela 6).

Tabela 5. Distribuição de frequência com 7 classes, do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm) calculados com Fatores de Escala (FE)  $\pm 3$ , para o trimestre mais chuvoso (FMA) e menos chuvoso (JAS), com intervalo de classes  $\pm 0,9$ .

| IAC                 |             |             | IACm                |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|
| Classes             | Freq. Acum. | Ponto Médio | Classes             | Freq. Acum. | Ponto Médio |
| [-1,4847 ; -0,6346) | 22,5        | -1,0596231  | [-1,4823 ; -0,6335) | 22,5        | -1,0579016  |
| [-0,6346 ; 0,2156)  | 50          | -0,2094999  | [-0,6335 ; 0,2153)  | 50          | -0,2091331  |
| [0,2156 ; 1,0657)   | 67,5        | 0,6406232   | [0,2153 ; 1,064)    | 67,5        | 0,6396354   |
| [1,0657 ; 1,9158)   | 80          | 1,4907464   | [1,064 ; 1,9128)    | 80          | 1,4884039   |
| [1,9158 ; 2,7659)   | 87,5        | 2,3408695   | [1,9128 ; 2,7616)   | 87,5        | 2,3371725   |
| [2,7659 ; 3,6161)   | 92,5        | 3,1909927   | [2,7616 ; 3,6103)   | 92,5        | 3,185941    |
| [3,6161 ; 4,4662)   | 100         | 4,0411158   | [3,6103 ; 4,4591)   | 100         | 4,0347095   |

Tabela 6. Distribuição de frequência com 7 classes e intervalo de classes  $\pm 0,9$ , do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm) com fatores de escala (FE)  $\pm 4$ , para o trimestre mais chuvoso (FMA) e menos chuvoso (JAS).

| IAC                 |                 |             | IACm                |                 |             |
|---------------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|
| Classes             | Freq. Acum. (%) | Ponto Médio | Classes             | Freq. Acum. (%) | Ponto Médio |
| [-1,9796 ; -0,8461) | 22,5            | -1,4128308  | [-1,9764 ; -0,8447) | 22,5            | -1,4105354  |
| [-0,8461 ; 0,2874)  | 50              | -0,2793332  | [-0,8447 ; 0,287)   | 50              | -0,2788441  |
| [0,2874 ; 1,4209)   | 67,5            | 0,8541643   | [0,287 ; 1,4187)    | 67,5            | 0,8528472   |
| [1,4209 ; 2,5544)   | 80              | 1,9876618   | [1,4187 ; 2,5504)   | 80              | 1,9845386   |
| [2,5544 ; 3,6879)   | 87,5            | 3,1211594   | [2,5504 ; 3,6821)   | 87,5            | 3,1162299   |
| [3,6879 ; 4,8214)   | 92,5            | 4,2546569   | [3,6821 ; 4,8138)   | 92,5            | 4,2479213   |
| [4,8214 ; 5,9549)   | 100             | 5,3881544   | [4,8138 ; 5,9455)   | 100             | 5,3796126   |

Tabela 6. Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e do Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm) utilizando como fatores de escala (FE)  $\pm 3$ .

| IAC e IACm    | Classificação       |
|---------------|---------------------|
| $\geq 3,00$   | Extremamente úmido  |
| 2,00 a 2,99   | Muito úmido         |
| 1,0 a 1,99    | Moderadamente úmido |
| 0,50 a 0,99   | Pouco úmido         |
| -0,49 a 0,49  | Entorno da Normal   |
| -0,99 a -0,50 | Pouco seco          |
| -1,99 a -1,00 | Moderadamente seco  |
| -2,99 a -2,00 | Muito seco          |
| $\leq -3,00$  | Extremamente seco   |

Os resultados obtidos da variação interanual do IAC para os trimestres mais chuvoso

(FMA) e menos chuvoso (JAS) arbitrando-se fatores de escala (FE)  $\pm 1,7$ ;  $\pm 3$  e  $\pm 4$  para os dois métodos (IAC e IACm), não divergiram nos três FE (Figuras 3 e 4). Os índices mostram que houve seis ocorrências na faixa extremamente úmido para o trimestre mais chuvosos e cinco ocorrências na faixa de extremamente seco para o trimestres mais seco.

A variação mensal do IAC calculado com as médias mensais da precipitação, arbitrando-se fator de escala  $\pm 3$ , para o ano menos chuvoso (1983) e mais chuvoso (2008), agrupando os índices achados em 7 classes, apresentados na Figura 5. O ano mais chuvoso teve 4 meses extremamente úmido (fevereiro, maio, agosto e novembro), enquanto o ano mais seco teve 4 meses extremamente secos (janeiro, fevereiro, julho e novembro).

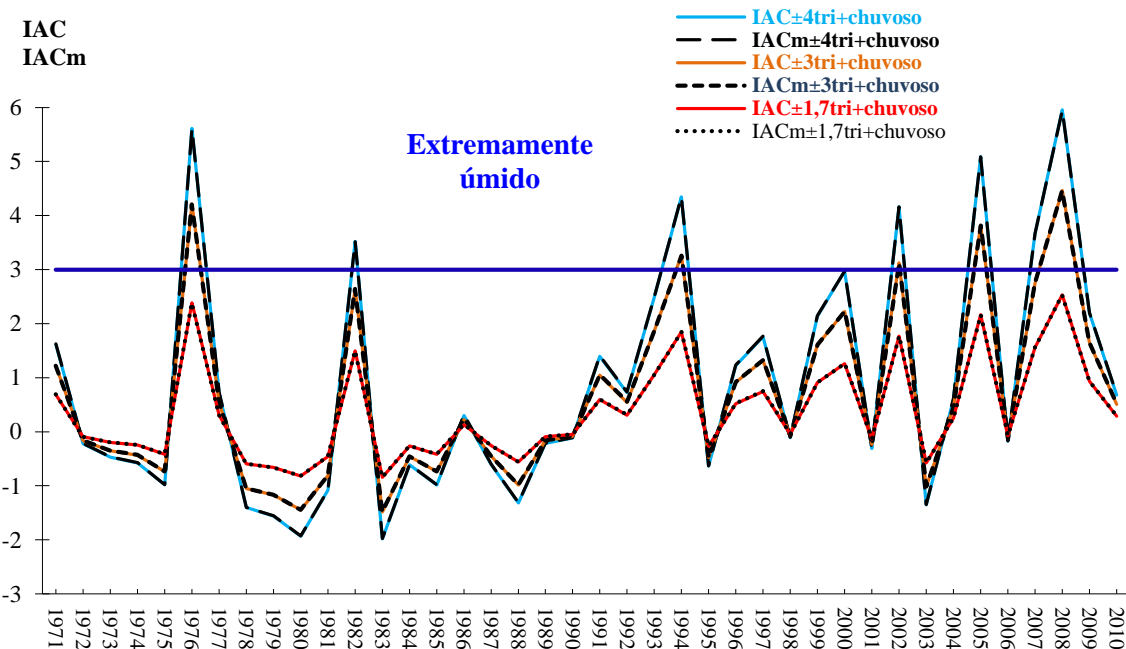


Figura 3. Variação interanual do Índice de Anomalia de Chuva (IAC, linhas contínuas) e do Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm, linhas pontilhadas) do trimestre mais chuvoso (FMA), da Série Histórica 1971-2010, com fatores de escala  $\pm 1,7$ ;  $\pm 3$  e  $\pm 4$ . Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

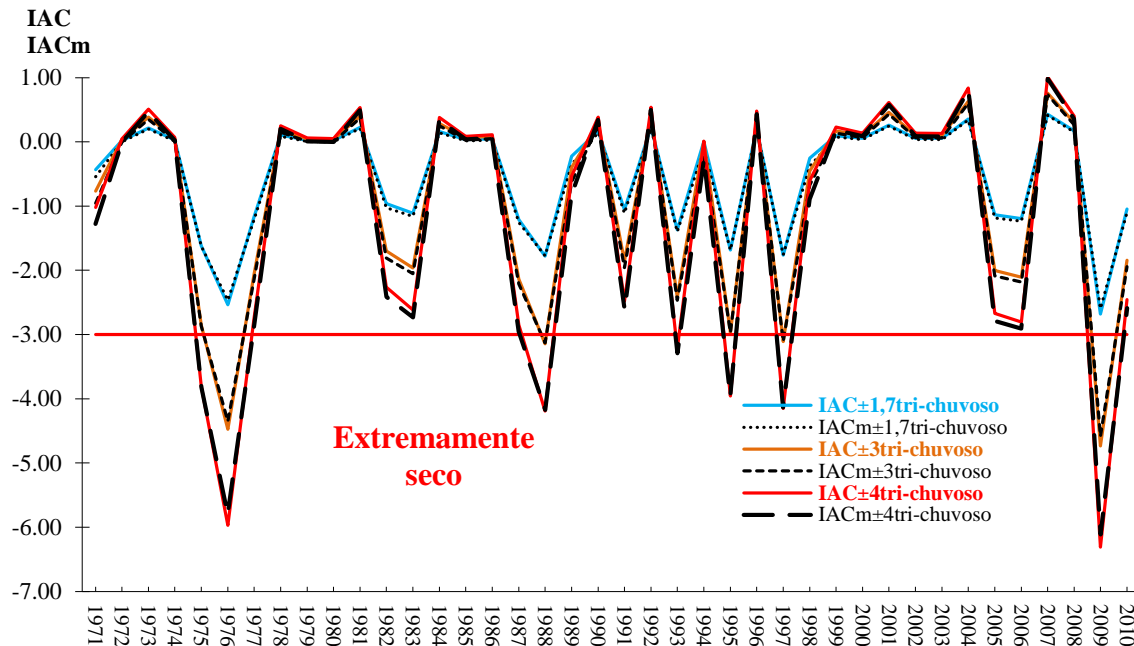


Figura 4. Variação interanual do Índice de Anomalia de Chuva (IAC, linhas contínuas) e do Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm, linhas pontilhadas) do trimestre menos chuvoso (JAS) da Série Histórica 1971-2010, com fatores de escala  $\pm 1,7$ ;  $\pm 3$  e  $\pm 4$ . Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

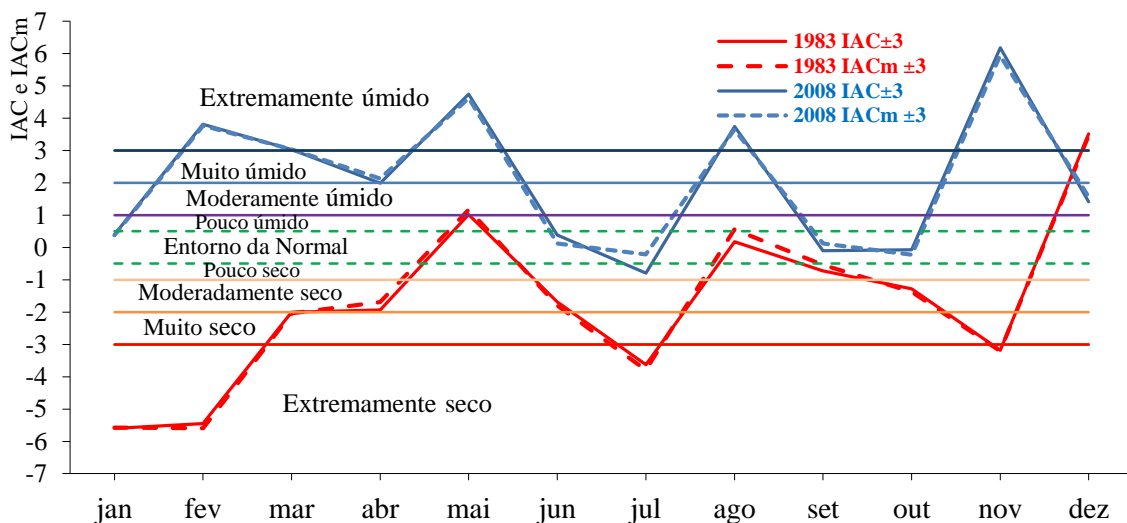


Figura 5. Índice de Anomalia de Chuva (IAC, linhas contínuas) e Índice de Anomalia de Chuva Modificado (IACm, linhas pontilhadas) do ano menos chuvoso (1983, linhas vermelhas) e ano mais chuvoso (2008, linhas azuis) da Série Histórica 1971-2010, com fator de escala  $\pm 3$  e faixas de seca e umidade. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

### Índices Termopluviométricos

#### Índice de Aridez de Gausse

O Diagrama Termopluviométrico de Gausse-Bagnouls e Walter-Lieth da Figura 6, construído com as médias da temperatura do ar e precipitação da série histórica, mostra que não

existe um mês seco ou semiúmido, em que o total mensal da precipitação é inferior ao dobro da temperatura média mensal ou maior que duas vezes e menor que três vezes a sua temperatura média ( $P < 2T_m$  e  $3T_m > P > 2T_m$ ). No entanto, este índice baseado nas médias mensais da temperatura do ar e da precipitação da série histórica, não traduz a



variação interanual da chuva, que pode alternar em anos secos com anos chuvosos, para um determinado mês, quando ocorre por exemplo a influência do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), fenômeno de grande escala que causa variações positivas e negativas na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), no Oceano Pacífico Equatorial (anomalias quentes, El Niño e anomalias de temperatura frias, La Niña), afetando a circulação da atmosfera, com reflexos dentro de períodos sazonais. Quando se aplica o mesmo Diagrama Termopluiométrico com as escalas de Gausse-Bagnouls e Walter-Lieth, variando anualmente apenas a precipitação do mês em estudo e fixando os limites de aridez nas temperaturas das médias históricas de cada mês, observa-se aridez ou seca

nos meses de janeiro, julho, agosto, setembro e outubro (Figuras 7, 8, 9, 10 e 11). Na Tabela 7 é apresentada a frequência relativa da ocorrência de aridez dos meses áridos e semiúmidos pelo índice de aridez de Gausse-Bagnouls e Walter-Lieth, com os meses de agosto e setembro apresentando maiores frequências de anos em que foram classificados como árido ou seco, segundo o índice de aridez de Gausse-Bagnouls e Walter-Lieth e o mês de agosto apresentou maior frequência de anos em que foi classificado como semiúmido pela escala de Walter-Lieth, o que não pode ser visto no diagrama com as médias mensais da série histórica na Figura 6.

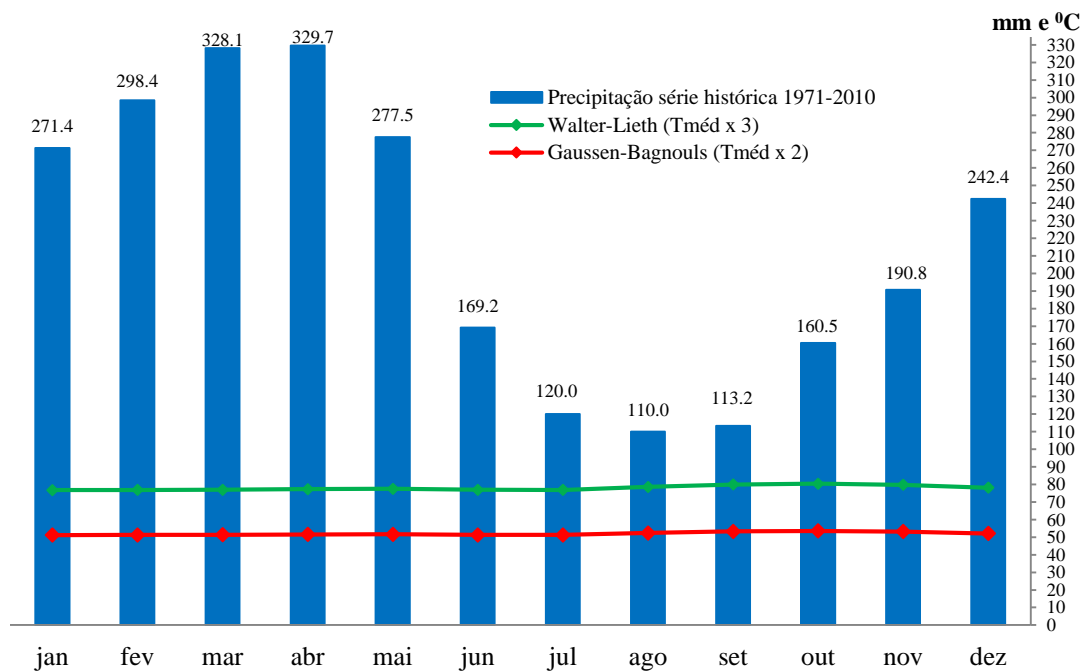


Figura 6. Totais mensais da precipitação e Médias Mensais das Temperaturas do Ar em Diagrama Termopluiométrico de Gausse-Bagnouls e Walter-Lieth, da Série Histórica de 1971 a 2010. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

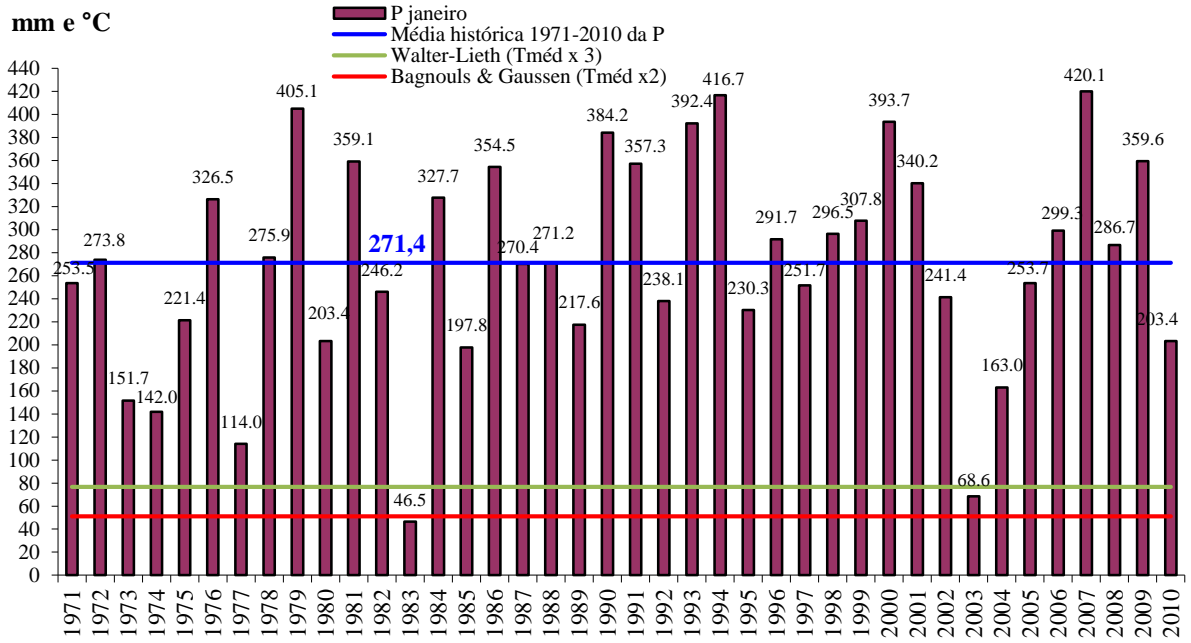


Figura 7. Variação interanual da precipitação e média histórica do mês de janeiro, temperaturas do Ar em Diagrama Termopluiométrico de Gausson-Bagnouls e Walter-Lieth. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

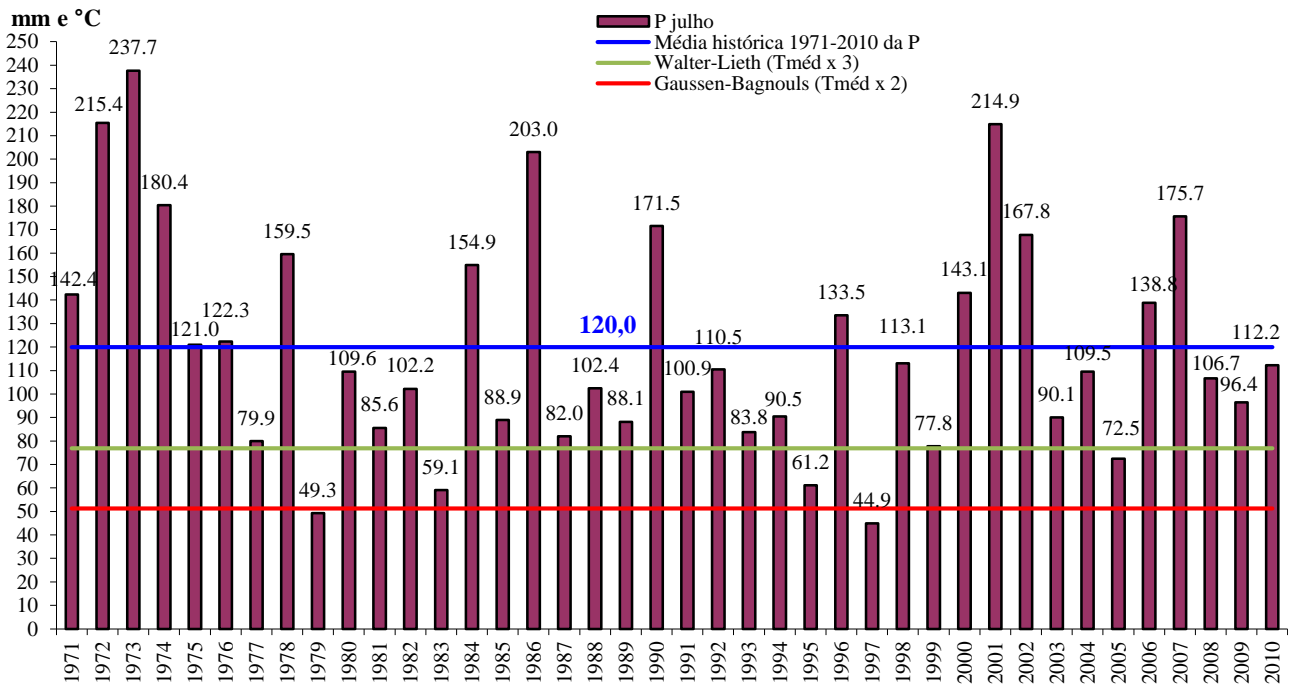


Figura 8. Variação interanual da precipitação e média histórica do mês de julho, temperaturas do Ar em Diagrama Termopluiométrico de Gausson-Bagnouls e Walter-Lieth. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

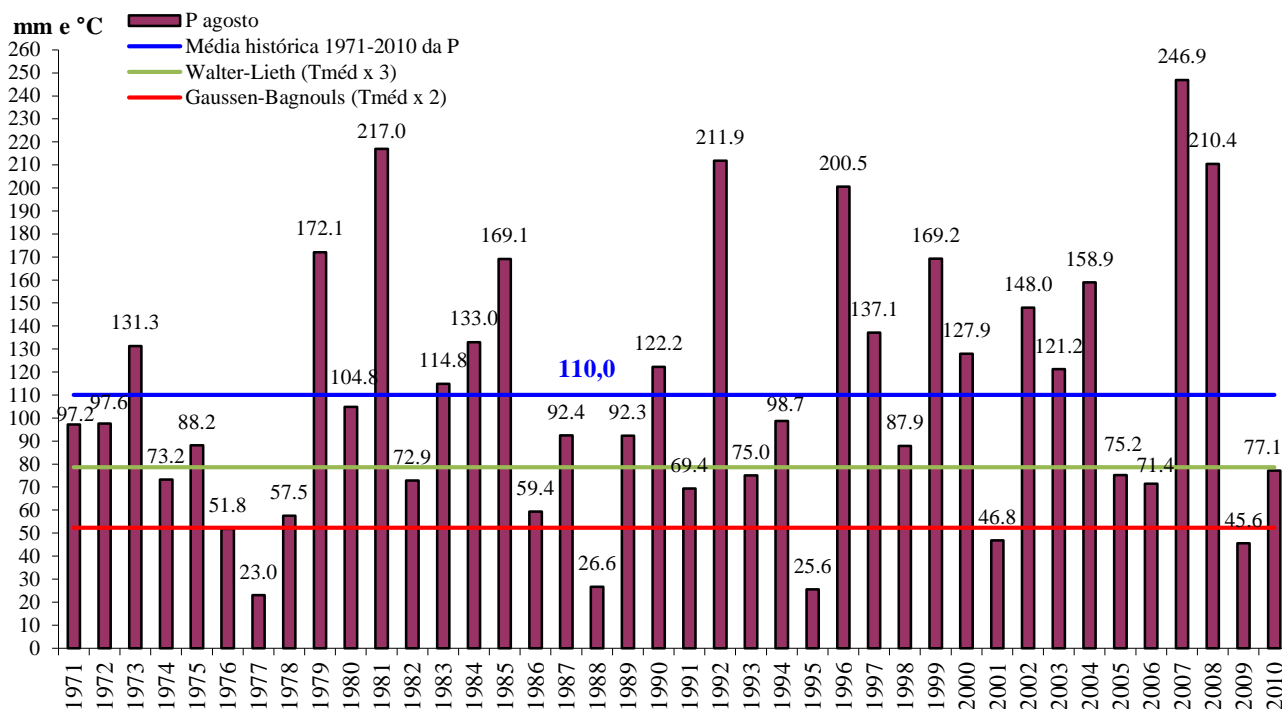


Figura 9. Variação interanual da precipitação e média histórica do mês de agosto, temperaturas do Ar em Diagrama Termopluiométrico de Gausсен-Bagnouls e Walter-Lieth. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

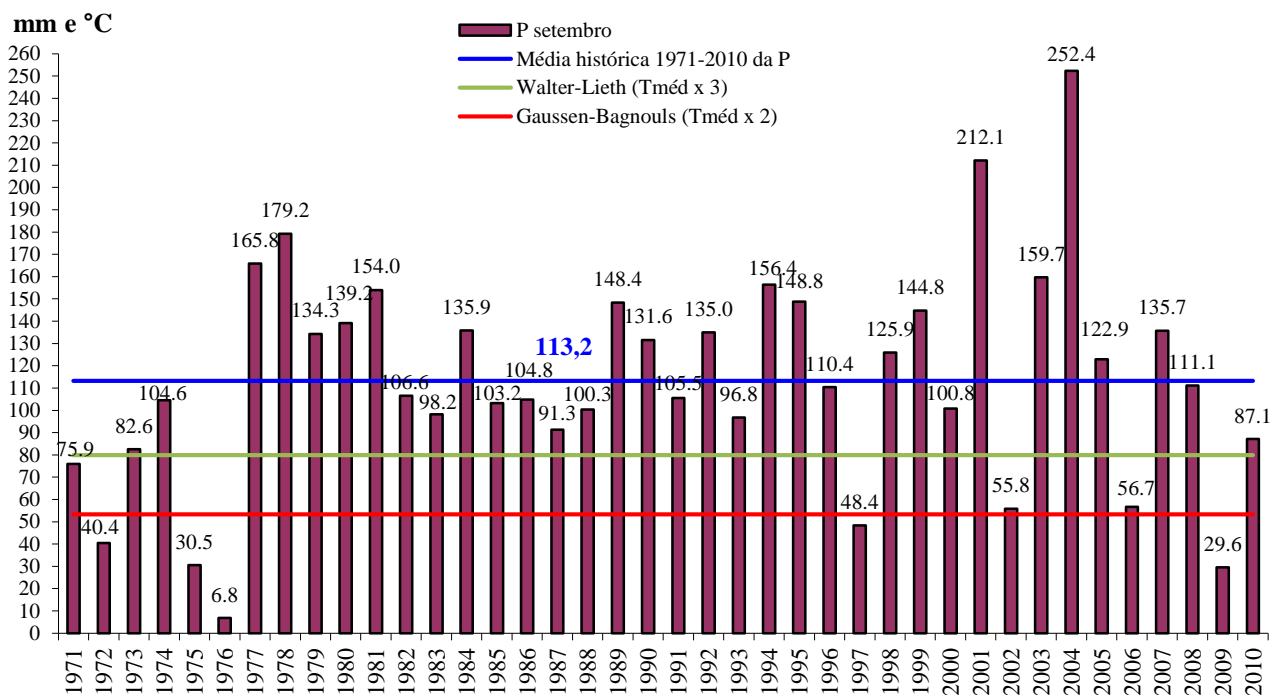


Figura 10. Variação interanual da precipitação e média histórica do mês de setembro, temperaturas do Ar em Diagrama Termopluiométrico de Gausсен-Bagnouls e Walter-Lieth. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

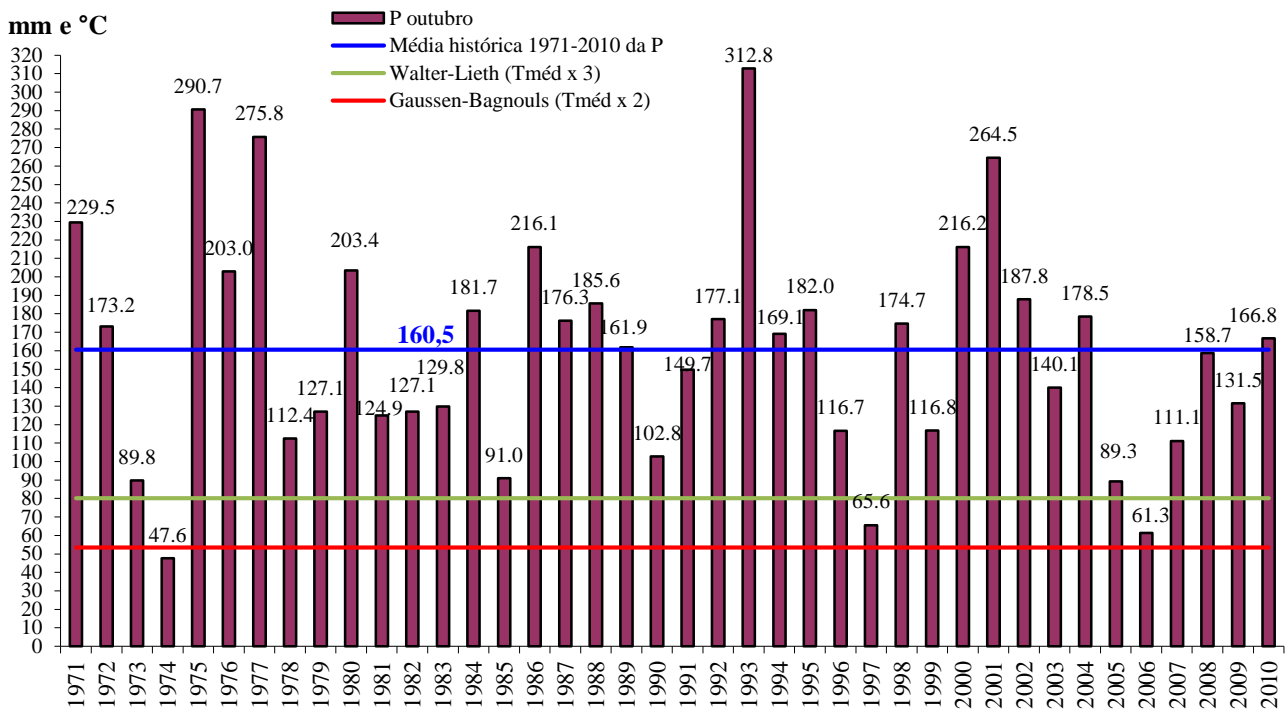


Figura 11. Variação interanual da precipitação e média histórica do mês de outubro, temperaturas do Ar em Diagrama Termopluiométrico de Gausse-Bagnouls e Walter-Lieth. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM.

Tabela 7. Frequência de anos áridos e semiúmidos nos meses, pelo índice de aridez de Gausse-Bagnouls<sup>1</sup> e Walter-Lieth<sup>2</sup>.

| Mês      | Seco <sup>1</sup> | Fr.Relativa | Semiúmido <sup>2</sup> | Fr.Relativa |
|----------|-------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Janeiro  | 1                 | 0,025       | 1                      | 0,025       |
| Junho    | 0                 | 0           | 3                      | 0,075       |
| Julho    | 2                 | 0,05        | 3                      | 0,075       |
| Agosto   | 6                 | 0,15        | 9                      | 0,225       |
| Setembro | 6                 | 0,15        | 3                      | 0,075       |
| Outubro  | 1                 | 0,025       | 1                      | 0,025       |
| Novembro | 0                 | 0           | 4                      | 0,1         |
| Dezembro | 0                 | 0           | 1                      | 0,025       |

Índice de Aridez de De Martonne

O Índice de Aridez de De Martonne Mensal foi calculado para cada mês com as médias da precipitação e temperatura média do ar da série histórica e o resultado apresentado na Tabela 10.

Tabela 8. Índice Mensal de Aridez de De Martonne e classificação do clima dos meses da série histórica.

| MÊS       | I <sub>De Martonne</sub> | TIPO DE CLIMA |
|-----------|--------------------------|---------------|
| Janeiro   | 91,5                     | Superúmido    |
| Fevereiro | 100,5                    | Superúmido    |
| Março     | 110,4                    | Superúmido    |

|          |       |            |
|----------|-------|------------|
| Abril    | 110,6 | Superúmido |
| Mai      | 92,9  | Superúmido |
| Junho    | 56,9  | Úmido      |
| Julho    | 40,4  | Úmido      |
| Agosto   | 36,5  | Úmido      |
| Setembro | 37,1  | Úmido      |
| Outubro  | 52,4  | Úmido      |
| Novembro | 62,6  | Superúmido |
| Dezembro | 80,7  | Superúmido |
| Ano      | 72,5  | Superúmido |

O índice de De Martonne obtido para a série histórica de dados mensais, classifica os meses de junho a outubro como úmidos e os outros

como extremamente úmidos. O índice anual foi de 72,5 o que equivale ao tipo de clima Superúmido. Este índice não reflete muito bem as condições do clima local, ao classificar os meses secos julho, agosto e setembro como úmidos.

### Conclusões

O Índice de Porcentagem Normal-IPN mensal obtido com a média histórica de 40 anos da precipitação, caracteriza um período de 3 meses de seca suave a moderada (janeiro, agosto e setembro) e seis meses de período úmido (dezembro a maio), caracterizando junho como sendo o mês de transição para o período seco e outubro o mês de transição para o período chuvoso e pode ser usado como índice de alerta para meses de secas hídricas do solo nos meses mais secos (JAS) na região de Manaus.

O Precipitation Concentration Index-PCI anual confirma que ocorre uma moderada concentração de chuvas e nos anos de menor precipitação, abaixo da média histórica, as chuvas se distribuem melhor ao longo do ano. O PCI do trimestre mais seco (JAS) mostrou que as chuvas deste período menos chuvoso, são distribuídas de forma uniforme a moderadamente concentradas.

A variação interanual do Índice de Anomalia de Chuva-IAC e do IACm não divergiu para os três Fatores de Escala, o que significa que ambos podem ser usados.

O Diagrama Termopluiométrico de Gausson-Bagnouls e Walter-Lieth quando construído com as médias da série histórica da temperatura do ar e precipitação, não caracteriza bem os meses secos. Quando se aplicam estes índices mês a mês, aparece uma frequência de meses secos com agosto sendo o mais seco.

O índice anual de De Martonne, classifica o clima local como Superúmido, porém não tem acurácia para caracterizar os meses secos.

### Agradecimentos

O autor agradece a Embrapa Amazônia Ocidental, pela oportunidade e estrutura para realização do trabalho.

### Referências

Almorox, A. J., 2003. Climatología aplicada al medio ambiente y agricultura. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica superior de Ingenieros Agrónomos. Department Pedology. Madrid.

Cunha, R. L. A. da, 2008. Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas. Porto, Portugal. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da

Universidade do Porto. (Relatório de Projeto para Mestrado). Disponível: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58023/1/000129128.pdf>. Acesso: 19 nov. 2015.

Ernani, M. Z., Gabriels, D., 2007. Evaluation and classification of climatic indices for yazd region (Iran). In: GABRIELS, D. Aridity and drought indices. Department of Soil Management and Soil Care, International Centre for Eremology, Ghent University, Belgium. Disponível: <http://indico.ictp.it/event/a06222/material/4/2.pdf>. Acesso: 16 out. 2015.

Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., Paz, R. L., Amorim, A. O., Cardoso, A. O. A., 2009. Índices para a quantificação da seca. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, (Documentos / 244). Disponível: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2010/29786/1/doc-244.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

Gois, G. de, 2005. Caracterização da seca e seus efeitos na cultura do milho para as diferentes regiões do Estado de Minas Gerais. Viçosa, UFV. Tese (Mestrado). Disponível: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8207>. Acesso: 30 out. 2015.

Guio Martínez, V.H., Cely Reyes, G. y Moreno Pérez, D. F., 2015. Determinación y mapeación de la erosividad de la lluvia en la cuenca del embalse de La Copa, Boyacá. Ingenio Magno [online] 6. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/308971440>. Acesso: 10 jul. 2016.

Hänsel, S., Schucknecht, A., Matschullat J., 2016. The Modified Rainfall Anomaly Index (mRAI) - is this an alternative to the Standardised Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics? In: Theoretical and Applied Climatology Volume 123. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-015-1389-y>. Acesso: 20 mai. 2016.

Higareda, C. E. R., Guevara, L. I. P., León, S. C. et al., 2014. Analysis of Rainfall Variables Trends and Potential Vegetation Responses in Sinaloa, México. Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, México. In: American Journal of Climate Change [online] 3. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.33030>. Acesso: 26 jan. 2016.

Klein, S. A., 1977. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. Solar Energy [online] v. 19, n. 4. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/>

- pii/0038092X77900019>. Acesso: 05 dez. 2016.
- de Luis, M., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., Longares, L. A., 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* [online] 11. Disponível: [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1259/2011/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1259/2011/). Acesso: 30 nov. 2015.
- Michiels, P., Gabriels, D., Hartmann, R. 1992. Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing monthly rainfall distribution in Spain. *Catena* [online] 19. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0341816292900165>. Acesso: 03 mar. 2016.
- Oladipo, E. O. A., 1985. Comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *Journal of Climatology* [online] v. 5, n. 6. Disponível: [https://www.researchgate.net/publication/229604292\\_A\\_comparative\\_performance\\_analysis\\_of\\_three\\_meteorological\\_drought\\_indices\\_Nebaska](https://www.researchgate.net/publication/229604292_A_comparative_performance_analysis_of_three_meteorological_drought_indices_Nebaska). Acesso: 30 out. 2016.
- Oliver, J. E., 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index, *Professional Geographer*, 32.
- Rodríguez, M. F et al., 2011. Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. III. Región sureste (Guayana y Delta). *Bioagro* [online] v. 23, n. 2. Disponível: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612011000200004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612011000200004&lng=es&nrm=iso). Acesso: 02 mar. 2016.
- Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., Farid, A., 2013. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin). *Meteorological Applications* [online]. 20: Disponível: [http://profdoc.um.ac.ir/pubs\\_files/p11033190.pdf](http://profdoc.um.ac.ir/pubs_files/p11033190.pdf). Acesso: 18 nov. 2015.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* [online]. v. 38, n. 1. Disponível: <https://www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/ET/Thornthwaite48-GeogrRev.pdf>>. Acesso: 01 dez. 2016.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology; v. 10, n. 3. 311 p.
- U.S. Universidad de Sevilla, s/d. Metodos analiticos de los factores mesologicos de la vegetacion, factores hidricos y bioclimaticos. Disponível: <https://studylib.es/doc/349018/bloque-ii---universidad-de-sevilla>. Acesso: 19 out. 2015.
- Vivas, E. B. de F., 2011. Avaliação e gestão de situações de seca e escassez - Aplicação ao caso do Guadiana. Porto, Portugal. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. Tese (Doutorado). Disponível: [http://paginas.isep.ipp.pt/ebv/files/22-tese\\_phd\\_definitiva\\_evivas\\_2011.pdf](http://paginas.isep.ipp.pt/ebv/files/22-tese_phd_definitiva_evivas_2011.pdf). Acesso: 19 nov. 2015.
- Willmott, C. J., Rowe, C. M., Mintz, Y., 1985. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. *Journal of Climatology* [online] v. 5. Disponível: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3370050602/epdf>>. Acesso: 05 dez. 2016.
- Wilm, H. G., Thornthwaite, C. W., 1943-1944. Reports, hydrology. Report of the committee on transpiration and evaporation. Disponível: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/T R025i005p00693/epdf>>. Acesso: 05 dez. 2016.