

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
 CAMPUS DE JI-PARANÁ  
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

UNIR

DEA  
 Departamento de Engenharia Ambiental

# Climatologia

Prof.<sup>a</sup> Renata Gonçalves Aguiar

## Artigo para a aula de hoje

LETTER

doi:10.1038/nature12957

### Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements

L. V. Gatti<sup>1\*</sup>, M. Gloor<sup>2\*</sup>, J. B. Miller<sup>3,4\*</sup>, C. E. Doughty<sup>5</sup>, Y. Malhi<sup>6</sup>, L. G. Domingues<sup>7</sup>, L. S. Basso<sup>8</sup>, A. Martineuskij<sup>9</sup>, C. S. C. Correia<sup>1</sup>, V. F. Borges<sup>1</sup>, S. Freitas<sup>1</sup>, R. Braz<sup>1</sup>, L. O. Anderson<sup>10</sup>, H. Rocha<sup>1</sup>, J. Grace<sup>11</sup>, O. L. Phillips<sup>12</sup> & J. Lloyd<sup>13</sup>


2

## Artigo – Temperatura do Ar e do Solo



3

## 2.3 – Umidade do Ar



Fonte: clim.waambiente.wordpress

4

## Umidade do Ar

Como definir?

Umidade é o termo usado para descrever a presença de vapor d'água no ar.

5

## Umidade do Ar

Qual o teor na atmosfera?

O teor de vapor d'água na atmosfera varia de 0 a 4% (ou 7%) do volume de ar. Isso quer dizer que em uma dada massa de ar, o máximo de vapor d'água que ela pode reter é 4% (ou 7%) de seu volume.

6

### Umidade do Ar

Caso a umidade corresponda a 0% do volume de ar ⇒ AR SECO

Caso a umidade corresponda a um valor entre 0% e 7% do volume de ar ⇒ AR ÚMIDO

Caso a umidade corresponda a 7% do volume de ar ⇒ AR SATURADO

### Umidade do Ar

**Ar Saturado**

Um ambiente é dito saturado a uma determinada temperatura, quando possui a quantidade máxima possível de vapor d'água aquela temperatura.

Com o aumento da temperatura, o ar tem uma maior capacidade de reter vapor e com o resfriamento essa capacidade diminui.

### Umidade do Ar

De acordo com a Lei dos Gases Ideais o ar atmosférico tem a capacidade de se contrair e expandir com a variação de sua temperatura. Assim, a capacidade do ar em reter vapor d'água, em termos absolutos, irá aumentar com a temperatura.

$T_2 > T_1$  e  $V_2 > V_1$   
O aumento da temperatura provoca o aumento do volume, devido à expansão do ar

### Umidade do Ar

Quanto maior a temperatura do ar maior sua capacidade em reter vapor d'água.

### Umidade do Ar

**Figura 1** - Sistema fechado, a 20 °C, no qual em (a) têm-se o ar seco.

À medida que a evaporação ocorre, a pressão exercida pelo vapor d'água aumenta (b).

Até atingir a condição de saturação para essa temperatura (c).

Caso haja o aumento da temperatura do sistema, a capacidade máxima de retenção de vapor do ar aumenta (d).

### Umidade do Ar

A água na atmosfera e suas mudanças de fase desempenham papel importantíssimo em diversos processos naturais:

- Transporte e distribuição de calor
- Absorção da radiação
- Evaporação/Evapotranspiração

## Umidade do Ar

Afeta vários aspectos relacionados à agricultura, silvicultura, pecuária e conservação de alimentos:

**Conforto térmico**                      **Incêndios florestais**

**Consumo hídrico das plantas**        **Relação plantas-doenças/pragas**

**Secagem, armazenamento e processamento de grãos**



## Umidade do Ar

Podem ser descritas de várias maneiras. Quais conhecem?

- Umidade relativa
- Umidade específica
- Pressão de vapor

## Umidade do Ar

### Lei de Dalton

A pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) é igual à soma das pressões parciais exercidas por todos os constituintes atmosféricos.

$$P_{atm} = P_N + P_O + \dots + P_{CO_2} + P_{O_3} + P_{H_2Ov}$$

$$P_{atm} = P_{Ar\ Seco} + P_{H_2Ov}$$

## Umidade do Ar

**Pressão de vapor do ar saturado ( $e_s$ ):** pressão parcial exercida pelo vapor d'água, em condições de saturação.

**Pressão de vapor ( $e$ ):** pressão real de vapor d'água na atmosfera.

São expressos em unidade de pressão.

$$1\ atm = 760\ mmHg = 1013,3\ mb = 1013,3\ hPa = 101,33\ kPa$$

## Umidade Específica do Ar

É a massa de vapor d'água contida na unidade de massa do ar.

$$q = \frac{0,622e}{P - 0,378e}$$

q = umidade específica do ar (g de vapor d'água/kg de ar úmido).  
 e = pressão real do vapor d'água na atmosfera (hPa).  
 P = pressão atmosférica local (hPa).

## Umidade Específica do Ar

### Fórmulas

$$e = \frac{UR \times e_s}{100}$$

$$e_s = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{7,5t}{237,3+t}\right)}$$

para  $t \geq 0\ ^\circ C$

UR = umidade relativa do ar (%)  
 e = pressão real do vapor d'água na atmosfera (hPa)  
 $e_s$  = pressão do vapor d'água do ar saturado (hPa), equação de Tetens  
 t = temperatura do ar ( $^\circ C$ )

### Varição Temporal Anual

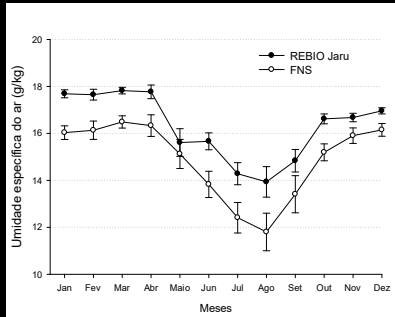


Figura 2 - Média mensal da umidade específica do ar e IC de 95% na REBIO Jaru e na FNS nos anos de 1999 a 2010.

Fonte: Gomes, 2011.

19

### Varição Temporal Anual

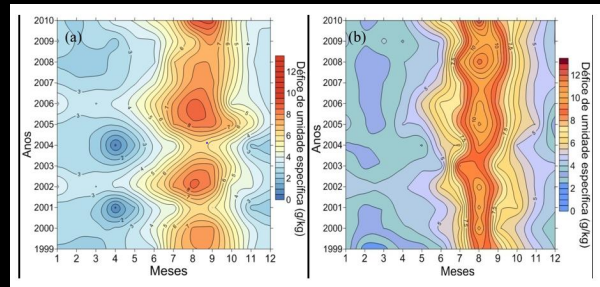


Figura 3 - Variabilidade do déficit de umidade específica do ar nos anos de 1999 a 2010 na REBIO Jaru (a) e na FNS (b).

Fonte: Gomes, 2011.

20

### Umidade Relativa do Ar

É a relação entre a quantidade de vapor d'água presente e aquela que prevaleceria em condições saturadas, à mesma temperatura.

$$UR = \frac{e}{e_s} \times 100$$

UR = umidade relativa do ar (%)  
 e = pressão real do vapor d'água na atmosfera (hPa)  
 e<sub>s</sub> = pressão do vapor d'água do ar saturado (hPa)

21

### Varição Temporal Anual

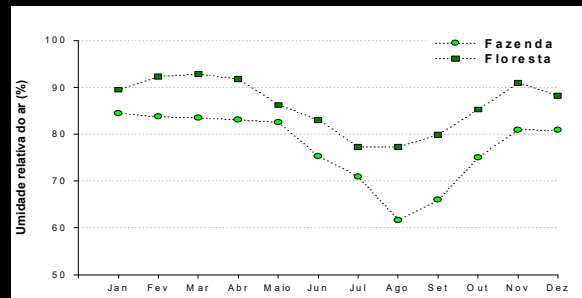


Figura 4 - Variabilidade anual da umidade relativa do ar nos anos de 1999 a 2010 na Fazenda (FNS) e na Floresta (REBIO Jaru).

Fonte: Weblar, 2007.

22

### Varição Temporal Anual

Na escala anual, a UR média mensal acompanha basicamente o regime de chuvas, pois havendo água na superfície haverá vapor d'água no ar.

Em Manaus a UR é sempre maior que nas duas outras localidades, devido à estação seca ser mais curta e menos intensa.

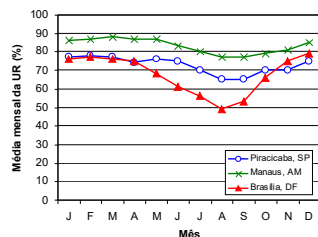


Figura 5 - Variação anual da umidade relativa do ar.

23

### Varição Temporal Diária

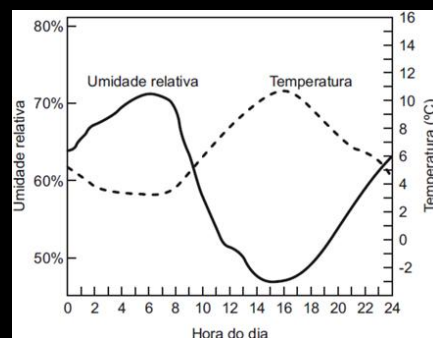


Figura 6 - Variabilidade horária da temperatura do ar e da umidade relativa.

Fonte: proprofs.com.

24

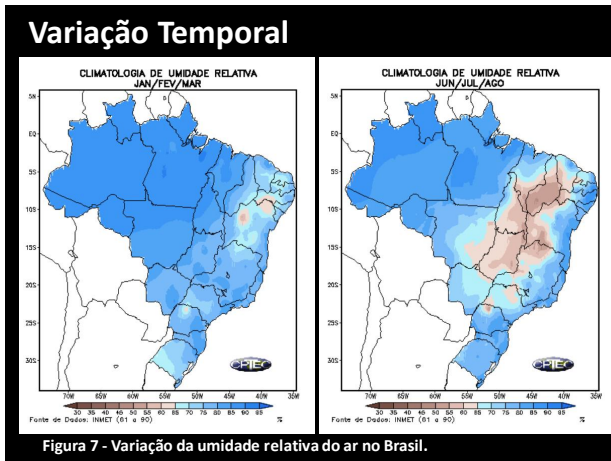


Figura 7 - Variação da umidade relativa do ar no Brasil.

## Aula Prática

Aula no Lab. 2 de Estatística no dia 03.04.2018.

Trazer notebook e baixar o arquivo na página pessoal no dia 02.04.2018.

Ativar a análise de dados do programa de planilha eletrônica.

### Artigo para a aula do dia 10.04

REVIEW

doi:10.1038/nature10717

#### The Amazon basin in transition

Eric A. Davidson<sup>1</sup>, Alessandro C. de Araújo<sup>2,3</sup>, Paulo Artaxo<sup>4</sup>, Jennifer K. Balch<sup>1,5</sup>, I. Foster Brown<sup>1,6</sup>, Mercedes M. C. Bustamante<sup>7</sup>, Michael T. Coe<sup>8</sup>, Ruth S. DeFries<sup>9</sup>, Michael Keller<sup>9,10</sup>, Marcos Longo<sup>11</sup>, J. William Munger<sup>11</sup>, Wilfrid Schroeder<sup>12</sup>, Britaldo S. Soares-Filho<sup>13</sup>, Carlos M. Souza Jr<sup>14</sup> & Steven C. Wofsy<sup>15</sup>

27

## Despertando o(a) Engenheiro(a) Ambiental

Departamento de Engenharia Ambiental

28

## Despertando

### Energia limpa no Brasil

Fonte: Wikipedia

29

## Despertando a Solidariedade

Prof.<sup>a</sup> Renata Gonçalves Aguiar  
Universidade Federal de Roraima - UFRR - Departamento de Engenharia Ambiental - DEA

Você é a esperança de muitos. Doe sangue, salve vidas.

Participe do Trote Solidário: doar sangue é doar vida

30

## Trote Solidário



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
CAMPUS DE JI-PARANÁ**

Convidamos toda a comunidade acadêmica e servidores para participar da **campanha de doação de sangue, Trote Solidário**, em parceria com o Hemocentro de Ji-Paraná, no dia **26.04.2018**, na UNIR Campus de Ji-Paraná, das 15 h às 21 h. **Tem que trazer um documento de identificação.**

Estendemos o convite para o cadastramento de **doadores voluntários de medula óssea.**

Ressaltamos que **DOAR SANGUE É DOAR VIDA** e esse compromisso é de todos nós para com todos aqueles que diariamente necessitam de sangue para continuar vivendo, sorrindo, trabalhando e produzindo.

**Contamos com sua presença!**

31

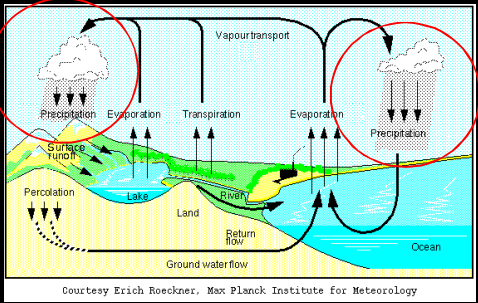
## 2.4 – Chuva



Fonte: iStockphoto.com

32

## Chuva



Courtesy Erich Roeckner, Max Planck Institute for Meteorology. Fontes: Santalusa e Angelucci [5, 6].

É a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre.

## Formação das Chuvas

Condensação → Núcleos de condensação

↓

Pequenas gotículas de água que permanecem em suspensão no ar. ← Elementos de nuvens

34

## Formação das Chuvas

Núcleos de condensação

- Principal: sal marinho
- Fuligem, poeira. Resíduos de processos industriais: óxidos de enxofre, fósforo, sulfato de amônia
- 2-metiltreitol, álcool proveniente da reação do isopreno emitido pela floresta com a radiação solar

Considerado o principal núcleo de condensação para formação das chuvas convectivas na Região Amazônica.

35

## Formação das Chuvas

O processo de condensação por si só não é capaz de promover a ocorrência de precipitação, pois nesse processo são formadas gotículas muito pequenas (elementos de nuvem).

Gotas maiores → Elementos de precipitação

Coalescência das gotas menores

36

### Formação das Chuvas

Elemento de precipitação 2.000 μm

Gota mínima de chuva

Elemento de nuvem 20 μm

Núcleo de condensação 0,2 μm

37

### Formação das Chuvas

#### Coalescência das gotas

A coalescência (do latim, *coalescere*, “aderir, unir, aglutinar”) é um processo que promove uma rápida união de um grande número de elementos de nuvem até um tamanho suficiente para transformá-los em elementos de precipitação.

1 gota de chuva = colisão de 1 a 10 milhões de gotículas de nuvens.

38

### Formação das Chuvas

#### Coalescência das gotas

As gotas chegarão à superfície terrestre se a massa dos elementos de precipitação forem de tal ordem que resistam ao trajeto de queda, pois durante esse a gota diminui sua massa, reevaporando com o atrito gerado com a atmosfera.

39

### Medida da Chuva

A medida da chuva é feita pontualmente em estações meteorológicas, tanto automáticas como convencionais.

40

### Medida da Chuva

$h = \text{Volume precipitado} / \text{Área de captação}$

Se 1 litro de água for captado por uma área de 1 m<sup>2</sup>, a lâmina de água coletada terá a altura de 1mm. Ou seja, 1mm = 1L / 1m<sup>2</sup>.

41

### Chuvas

#### Impacto da urbanização no clima amazônico

A poluição de Manaus influencia a química de isopreno lançada pela floresta na atmosfera, alterando a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas.

Isopreno é o gás emitido para a atmosfera pelas plantas em risco quantitativa entre 10% e 20% das emissões da vegetação da floresta amazônica

MANAUS

762km em linha reta

597km em linha reta

2 milhões de habitantes

700 mil veículos

1.500 km de florestas

Os pesquisadores avaliaram:

- 1 De quanto é a emissão de isopreno para a atmosfera  
A emissão é muito maior do que se pensava
- 2 O quanto esse gás (isopreno) se transforma em núcleo de condensação de nuvens  
A própria floresta controla a quantidade de núcleo de condensação de nuvens na atmosfera
- 3 Os cientistas constataram que  
A poluição de Manaus altera os mecanismos de oxidação de isopreno, interferindo no funcionamento natural da floresta

Fonte: Jornal da Usp

## Chuva Convectiva



O ar úmido aquecido na vizinhança do solo fica menos denso sobe, diminui a temperatura, condensa e precipita.

São formações locais com pequena abrangência espacial e alta intensidade. Atinge principalmente pequenas bacias.

Ocorre principalmente no verão em climas tropicais.

## Chuva Convectiva



### Características da chuva convectiva

- Intensidade:** moderada a forte, dependendo do desenvolvimento vertical da nuvem
- Predominância:** no período da tarde/início da noite
- Duração:** curta a média (minutos a horas)

## Variação Temporal Diária

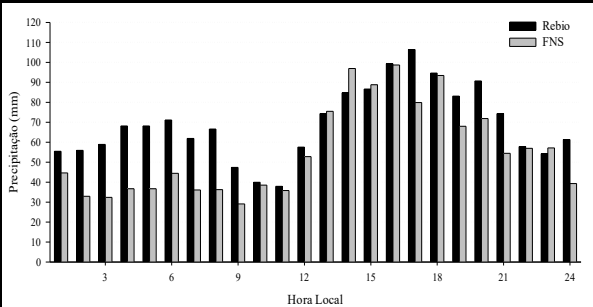


Figura 8 - Variabilidade média horária da precipitação da REBIO Jaru e da FNS nos anos de 1999 a 2012. Fonte: Oliveira, 2014.

45

## Variação Temporal Diária

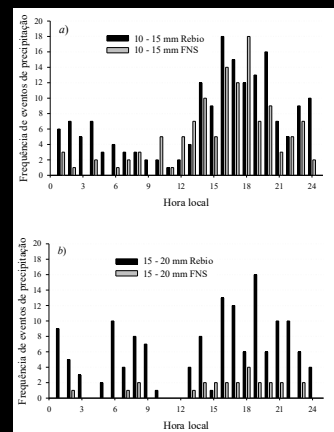


Figura 9 – Frequência de eventos de precipitação para dados de 1999 a 2012, na FNS e na Rebio.

- a) Eventos de chuva de 10-15 mm.
- b) Eventos de chuva de 15-20 mm.

Fonte: Oliveira, 2014.

## Variação Temporal Diária

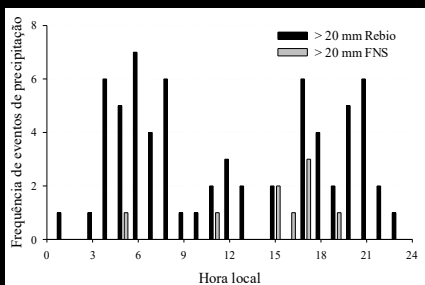


Figura 10 – Frequência de eventos de precipitação maiores que 20 mm para dados de 1999 a 2012, na FNS e na Rebio Jaru. Fonte: Oliveira, 2014.

47

## Chuva Orográfica



Ventos quentes e úmidos provenientes do oceano encontram barreiras físicas, sobem condensam e precipitam sobre áreas montanhosas.

O vento que ultrapassa a barreira é seco, retirando umidade do ambiente, podendo gerar áreas desérticas.

Atua sobre bacias pequenas com intensidade variável.



## Chuva Ácida



A queima de carvão e de combustíveis fósseis e os poluentes industriais lançam dióxido de enxofre e de nitrogênio na atmosfera.

Esses gases combinam-se com o hidrogênio presente na atmosfera sob a forma de vapor de água e provocam a chuva ácida.

Um dos problemas da chuva ácida é o fato dela poder ser transportadas através de grandes distâncias, podendo vir a cair em locais onde não há queima de combustíveis.

## Chuva Ácida



### Prejuízos para o homem

#### SAÚDE

A chuva ácida libera metais tóxicos que estavam no solo. Esses metais podem alcançar rios e serem utilizados pelo homem causando sérios problemas de saúde.

## Chuva Ácida



### Prejuízos para o homem

#### PRÉDIOS, CASAS, ARQUITETURA

A chuva ácida também ajuda a corroer os materiais usados nas construções como casas, edifícios e arquitetura, destruindo represas, turbinas hidrelétricas, etc.

## Chuva Ácida



### Prejuízos para o meio ambiente

#### LAGOS

Os lagos podem ser os mais prejudicados com o efeito da chuva ácida, pois podem ficar totalmente acidificados, perdendo toda a sua vida.

## Chuva Ácida



### Prejuízos para o meio ambiente

#### DESMATAMENTOS

A chuva ácida faz clareiras, matando duas ou três árvores, algum tempo após muitas plantas que se utilizavam da sombra dessas árvores morrem e assim vão indo até formar uma clareira. Essas reações podem destruir florestas.

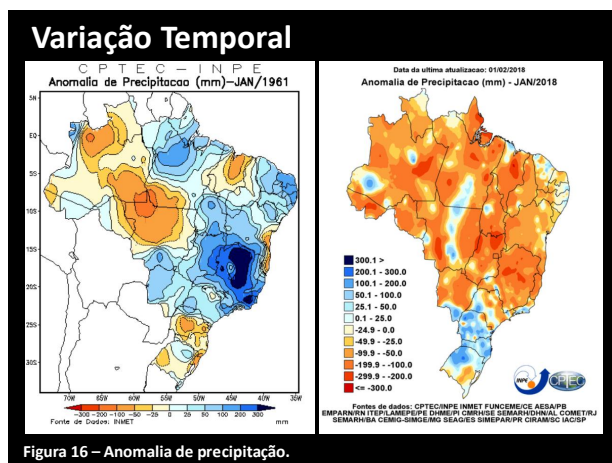
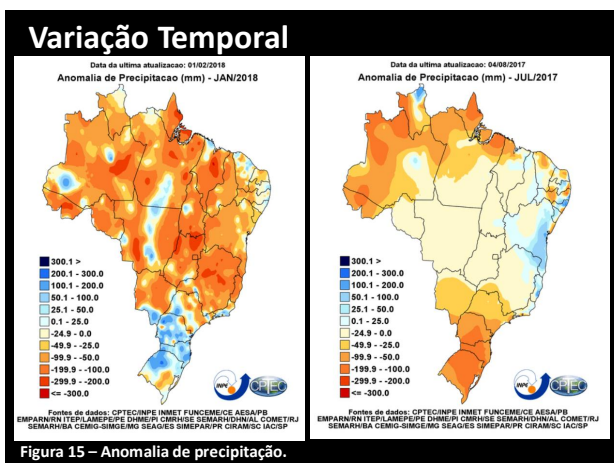
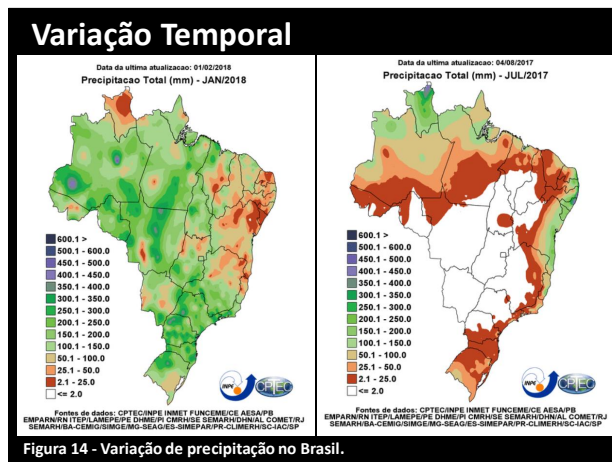
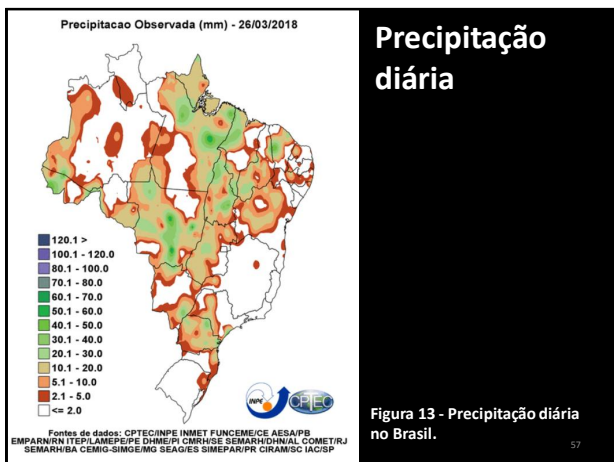
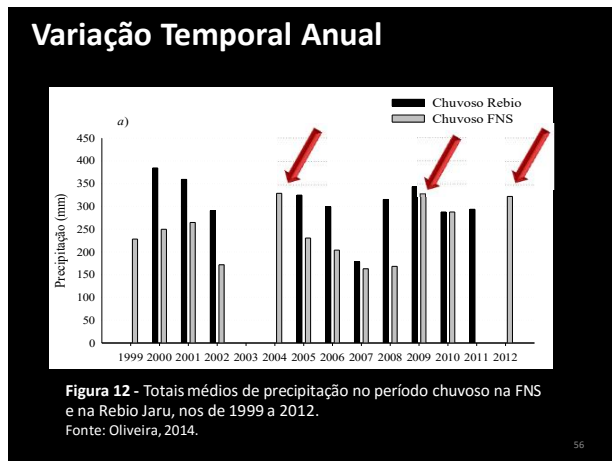
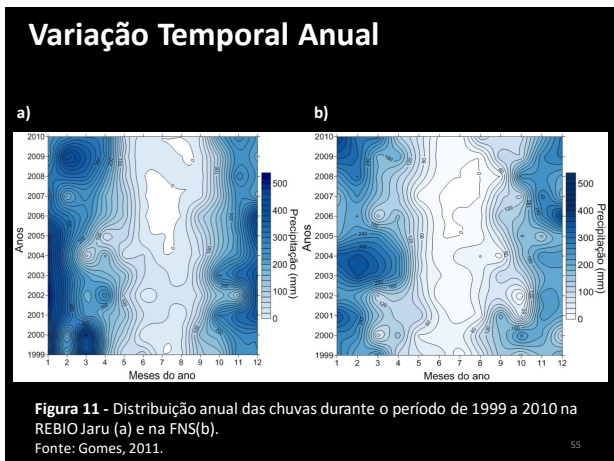
## Chuva Ácida



### Prejuízos para o meio ambiente

#### AGRICULTURA

A chuva ácida afeta as plantações quase do mesmo jeito que afeta as florestas, só que é destruída mais rápido, uma vez que as plantas são do mesmo tamanho, tendo assim mais áreas atingidas.



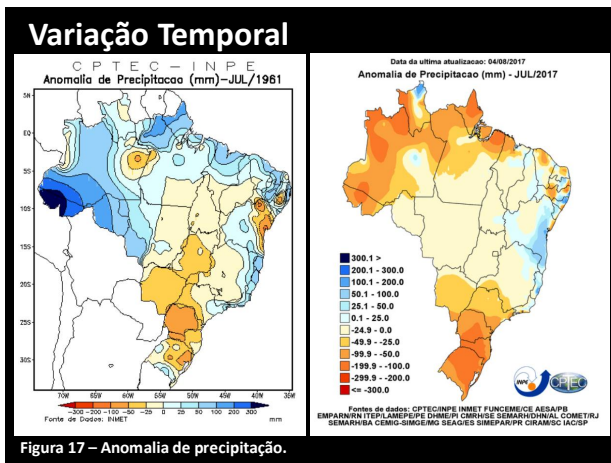



Figura 17 – Anomalia de precipitação.

## Extremos

Quais foram as maiores cheias?

**3. Ocorrência de eventos extremos no rio Negro em Manaus**  
 Rio Negro em Manaus – 14990000

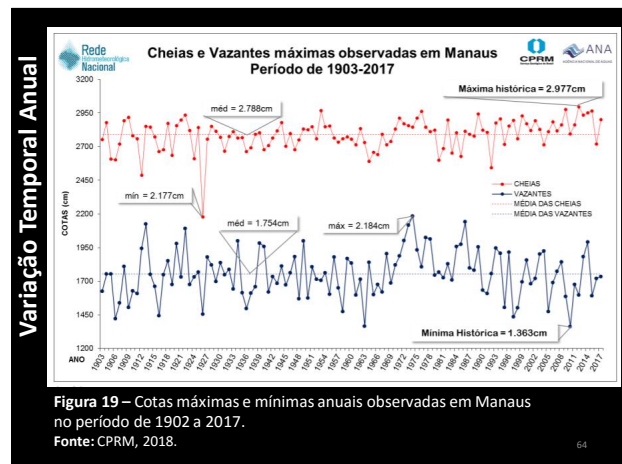
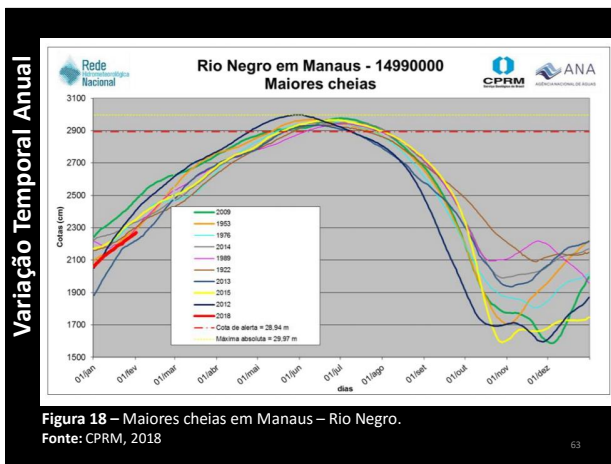


Nº de ordem	Ano	Cota máxima (cm)	Mês
1	2012	2997	Maio
2	2009	2977	Julho
3	1953	2969	Junho
4	2015	2966	Junho
5	1976	2961	Junho

Tabela III: Maiores Cheias no Porto de Manaus

Cheia máxima: 29 de maio de 2012  
 Cota: 29,97 m

Fonte: CPRM, 2018.



## Revisão de Literatura


**Dore (2005)**

Embora o tema das mudanças climáticas seja vasto, há pelo menos um tópico que merece atenção urgente.

Mudança no padrão da precipitação em todo o mundo.

## Objetivo

Sintetizar a abrangente literatura que reporta as mudanças nos padrões de precipitação para observar o quadro global.



Este foi o primeiro artigo a tentar isso.

## Variabilidade Climática...

Houve aumento na frequência e intensidade dos *El Niños*.



Aumento de eventos de precipitação intensa foram documentados quando em média a precipitação total diminuiu.

67

## Variabilidade Climática...

Diminuição na cobertura de gelo está diretamente relacionada ao aumento da temperatura da superfície da Terra.

1960



10%



68

## Conclusões

Quais foram os padrões observados na precipitação em todo o globo?

Áreas úmidas ficaram mais úmidas e as secas mais secas.



69

## Conclusões

Quais foram os padrões observados na precipitação em todo o globo?

A precipitação nos continentes aumentou 2% desde o início do século 20.

Estatisticamente significativo

70

## A Conclusão

Não há dúvida de que as mudanças no padrão dos dados de precipitação observados são a assinatura das mudanças climáticas globais.

71

## Curiosidades

*Brasil: o país dos 100 milhões de raios*

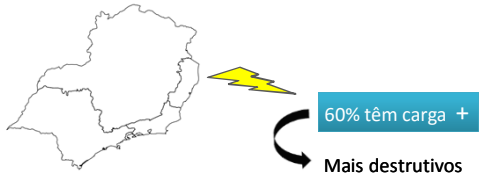


Fonte: Super Interessante (2016).

72

### Curiosidades

**Brasil: o país dos 100 milhões de raios**



De acordo com o INPE 90% dos raios do mundo têm carga negativa.

Fonte: Super Interessante (2016). 73

### Curiosidades

**Brasil: o país dos 100 milhões de raios**

**Mortes e prejuízos**

Calcula-se que mais de 100 brasileiros morram todos os anos vítimas de raios (positivos e negativos)

Fonte: Super Interessante (2016). 74

### Curiosidades

**Brasil: o país dos 100 milhões de raios**

**Mortes e prejuízos**

Eletropaulo relatou 974 casos de falhas ou interrupções da rede elétrica causadas pelos raios em 2015.

Um grande *blackout* em toda a região da Grande São Paulo por uma hora

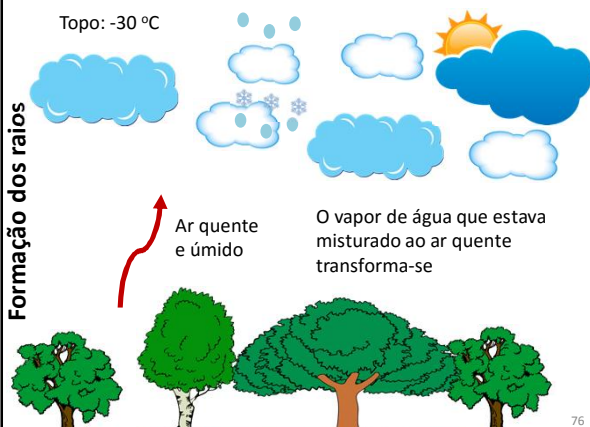
➔

Perda de 30 milhões de dólares

Fonte: Super Interessante (2016). 75


### Formação dos raios

Topo: -30 °C



76

### Formação dos raios



O processo de formação gera cargas positivas e negativas que se atraem e a tensão elétrica é muito alta.

77

### Raios



78

## Referências

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Monitoramento Hidrológico**. Boletim n. 06 de 09.02.2018. Disponível em: <[https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20180209\\_14-20180209%20-%20145833.pdf](https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20180209_14-20180209%20-%20145833.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2018.

79

## Referências

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL – DEA/UNIR. **Norma Interna para Apresentação de Trabalhos Acadêmicos**: Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação, Pós-graduação e Projeto de Pesquisa do Departamento de Engenharia Ambiental. Ji-Paraná, 2011. 55 p.

DORE, M. H. I. Climate change and changes in global precipitations patterns: what do we know? **Environment International**, v. 31, p. 1167-1181, 2005.

FISCHER, G. R. **Notas de Aula de Climatologia**, 2011.

80

## Referências

FON, A. C.; ZANCHETTA, M. I. Brasil: o país dos 100 milhões de raios. **Super Interessante**, São Paulo, 31 out. 2016.

GOMES, J. B. **Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia**: quais são as implicações no microclima da região? 2011. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia - *Campus* de Ji-Paraná, Ji-Paraná, 2011.

81

## Referências

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Clima monitoramento Brasil**. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

MARENCO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seu Efeito sobre a Biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

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

82

## Referências

OLIVEIRA, M. A. **Caracterização da Precipitação em Área de Floresta e Pastagem no Sudoeste da Amazônia**. 2014. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Estatística) – Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Rondônia - *Campus* de Ji-Paraná, Ji-Paraná, 2014.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2002.

83

## Referências

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2, Recife, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

84