

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA
MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



Clima e Ambiente

Introdução à Climatologia para Ciências Ambientais

Fábio Ricardo Marin
Eduardo Delgado Assad
Felipe Gustavo Pilau

Embrapa

Campinas - SP
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informática Agropecuária
Av. André Tosello, 209, Caixa Postal 6041,
Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP
Telefone (19) 3211-5700 Fax (19) 3211-9594
www.cnptia.embrapa.br
sac@cnptia.embrapa.br

Coordenação Editorial
Suzilei Almeida Carneiro

Revisão de Texto
Patrícia Soares de Oliveira

Normalização Bibliográfica
Marcia Izabel Fugisawa Souza

Projeto Gráfico
COMHUM Comunicação Humana

Capa e Editoração Eletrônica
Osmar T. Neves

1ª Edição

1ª Impressão (2008): 400 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo
ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei N° 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP
Embrapa Informática Agropecuária**

Marin, Fábio Ricardo.

Clima e ambiente: introdução à climatologia para ciências ambientais / Fábio Ricardo
Marin, Eduardo Delgado Assad, Felipe Gustavo Pilau. – Campinas, SP : Embrapa Informática
Agropecuária, 2008.

127 p. : il.

ISBN: 978-85-86168-01-7

1. Clima. 2. Climatologia. 3. Atmosfera. 4. Radiação solar. 5. Temperatura. 6. Umidade do ar.
7. Vento. 8. Chuva. 9. Balanço hídrico. 10. Mudança climática. I. Assad, Eduardo Delgado.
II. Pilau, Felipe Gustavo. III. Título.

CDD – 21. ed.
551.69

© EMBRAPA 2008

Sumário

Apresentação	07
1. A Atmosfera Terrestre	09
1.1 Estrutura da Atmosfera	09
1.2 Composição da Atmosfera	10
2. A Radiação Solar	17
2.1 Leis da Radiação	19
2.1.1 Lei de Stefan-Boltzmann	19
2.1.2 Lei de Wien	20
2.1.3 Lei do Cosseno de Lambert	21
2.2 Movimentos Terra-Sol	22
2.3 Estações do Ano	25
2.4 Quantificando a Irradiância Solar	28
3. Balanço de Radiação e Energia	35
3.1 Balanço de Radiação	37
3.1.1 Balanço de Radiação de Ondas Curtas	37
3.1.2 Balanço de Radiação de Ondas Longas.....	38
3.1.3 Saldo de Energia Radiante	40
3.2 Balanço de Energia	42
4. Temperatura do Ar e do Solo	47
4.1 Temperatura do Ar	48
4.1.1 Variação Espaço-temporal da Temperatura do Ar	51
4.1.2 Inversão Térmica	55
4.2 Temperatura do Solo	56
4.2.1 Variação Diária da Temperatura do Solo	56
4.3 Medida da Temperatura do Ar e do Solo	57
4.4 Estimativa da Temperatura do Ar	60

5. Umidade do Ar	65
5.1 Quantificação da Umidade do Ar	66
5.2 Medida Direta da Umidade do Ar	71
5.3 Importância da Umidade do Ar	73
6. Chuva	77
6.1 Processo de Formação e Tipos de Chuva	78
6.2 Medida da Chuva	80
6.3 Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña	82
7. Vento	85
7.1 Dinâmica da Atmosfera	85
7.2 Formação dos Ventos	87
7.3 Medida da Velocidade e Direção do Vento	90
7.4 Potencial Eólico	92
8. Balanço Hídrico Climatológico	97
8.1 Evapotranspiração	97
8.2 Balanço Hídrico Climatológico	100
9. Mudanças Climáticas Globais	105
9.1 Causas das Mudanças Climáticas	108
9.2 Mecanismos de Controle das Mudanças Climáticas ...	113
9.3 Impactos das Mudanças Climáticas	115

Apresentação

O clima é fator essencial para a caracterização do ambiente, sendo alvo de estudo em diversas áreas do conhecimento. São de longa data os primeiros registros relatando o interesse do homem em relação ao clima e sua influência nas atividades cotidianas da humanidade. Com os gregos, por volta de 400 a.C., o estudo do clima começou a ganhar traços de atividade científica, notadamente com os textos escritos por Hipócrates e Aristóteles. Há também relatos de que por volta do ano 1000 os chineses já teorizavam sobre a variabilidade temporal do clima. No século 14, Galileu inventou o termômetro e, cerca de 50 anos depois, Torricelli concebeu o termômetro de mercúrio.

Há mais de 100 anos a meteorologia é aceita como ciência formal e, atualmente, seu desenvolvimento é muito rápido se comparado ao ritmo observado até o século 15. Isso ocorre porque, hoje, sua importância para a sociedade é inquestionável e sua aplicação é imprescindível em muitos ramos da atividade econômica. Foram desenvolvidas diversas áreas do conhecimento dela derivadas ou a ela associadas, buscando estabelecer a relação do clima com a agricultura, os animais, as florestas e a saúde humana, por exemplo.

No início do século 21, o estudo do clima recebeu um impulso adicional com os relatórios divulgados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU. Estes relatórios tratavam de forma científica as causas do aquecimento global e seus efeitos sobre a humanidade, para demonstrar a confiabilidade dos modelos utilizados nas projeções climáticas e apontando formas de solucionar ou minimizar o problema.

Desde então, o clima passou a despertar o interesse nos mais diversos ramos da atividade acadêmica, científica e, até mesmo,

econômica. Em 2007, com a divulgação de uma série de novos relatórios pelo IPCC, o assunto ganhou destaque e mobilizou a sociedade sobre as questões ambientais e, especialmente, sobre as mudanças climáticas globais.

É neste contexto que este livro foi concebido, ao considerar a crescente demanda por material didático sobre o tema e buscando atender especialmente aos alunos de graduação das áreas relacionadas às ciências ambientais. Além destes, este trabalho também se dirige àqueles que tenham interesse em compreender o clima, mesmo que não possuam uma formação específica em áreas relacionadas.

O livro está estruturado em duas partes principais. Uma trata dos principais elementos climáticos e seu modo de interação com os demais elementos e com os seres vivos, e está dividido nos seguintes tópicos: atmosfera, radiação solar, temperatura e umidade do ar, vento, chuva e balanço hídrico.

Na segunda parte, a idéia foi estabelecer uma relação entre esses elementos básicos e o contexto das mudanças climáticas globais, resgatando o histórico dos estudos que estabeleceram relações entre o clima e a questão ambiental nos últimos 30 anos. Nesta parte, buscou-se também abordar, ainda que sucintamente, aspectos relacionados aos esforços para minimizar os impactos e reverter o processo de aquecimento global, notadamente o mecanismo de desenvolvimento limpo.

Sendo foco especial de pesquisa dos autores, apresenta-se no livro uma breve revisão enfocando os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura e as florestas no Brasil e no mundo.

1

A Atmosfera Terrestre

1.1 Estrutura da Atmosfera

A atmosfera é uma camada gasosa que envolve o planeta Terra, com espessura máxima de cerca de 100 km de altitude, não representando mais que 0,6% de seu diâmetro ou 0,2%, se considerado que, sob o ponto de vista meteorológico, a camada mais importante da atmosfera está restrita a 20 km de altitude.

Cerca de 50% da massa da atmosfera está concentrada nos primeiros 5 km de altitude, sendo que até os 20 km, estão 95% da sua massa total. Essa variação na concentração de gases ao longo da atmosfera confere propriedades distintas à medida que se afasta da superfície terrestre. Por isso, uma opção interessante é dividir a atmosfera em camadas, com o objetivo de facilitar seu estudo e compreensão. Um critério normalmente utilizado para divisão da atmosfera em camadas é a observação da variação da temperatura do ar com a altitude, podendo-se estratificá-la em quatro grandes camadas (troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera), separadas por três zonas de transição (tropopausa, estratopausa e mesopausa) (Fig. 1). Vale frisar, contudo, que essa divisão é meramente didática, e que tais camadas e suas respectivas altitudes não são fixas, mas referenciais aproximados.