

CLIMA URBANO

AUT0225 – Conforto Ambiental em Espaços Urbanos Abertos

Prof. Dra. Denise Duarte

Antecedentes históricos

- final do séc. XIX: início com L. Howard com trabalho experimental sobre o clima de Londres, usando já medidas em transectos
- 1ª metade do séc. XX: desenvolvimento de técnicas observacionais e instrumentação adequada; abordagem predominantemente descritiva, desenvolvimento de relações empíricas entre variáveis do clima e do tecido urbano. Surgem trabalhos nas principais cidades europeias, principalmente Alemanha, nos EUA e no Japão
- 2ª metade do séc. XX: predomina a abordagem de modelagem meteorológica do clima urbano, com ênfase no balanço energético e na análise da turbulência em modelos urbanos simplificados, usando tanto modelos físicos quanto fenomenológicos simplificados. Cooperação internacional e grandes experimentos observacionais usando instrumentação sofisticada.
- séc. XXI: idem, com aprofundamento dos modelos fenomenológicos e aproximação das visões entre geógrafos, meteorologistas e arquitetos. Identificação mais objetiva das necessidades para o planejamento e desenho urbanos; busca de integração até a escala do edifício – climatologia da edificação.

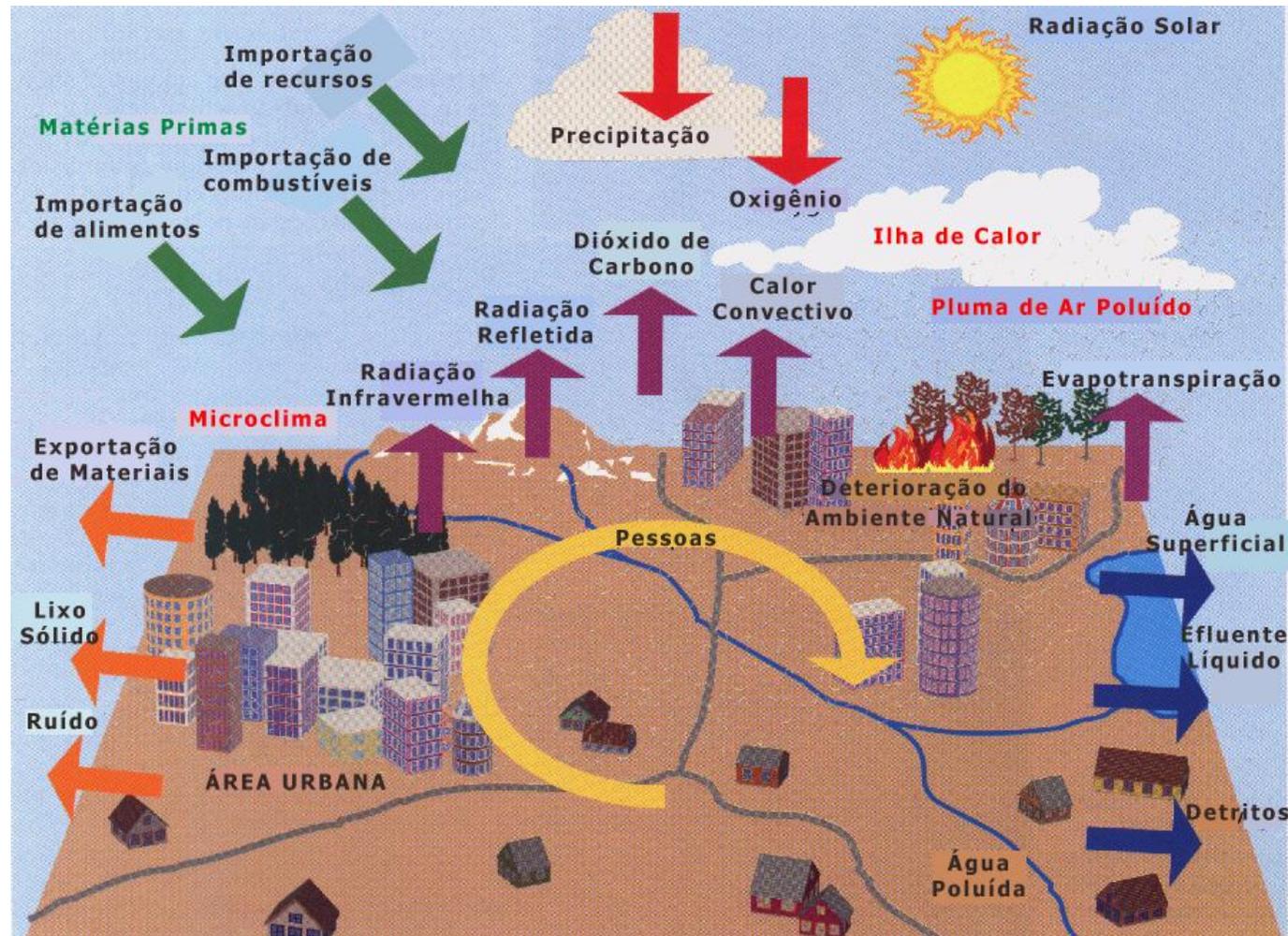
Antecedentes históricos no Brasil

- anos 1970: início com C. A. F. Monteiro organizando disciplina na USP e visão sistêmica teórica do clima, aplicado à cidade de São Paulo (impacto meteórico)
- anos 1980: maior parte dos estudos são feitos por geógrafos sob orientação de Monteiro; trabalhos experimentais descritivos em cidades médias – exceção para o estudo de M. Lombardo para São Paulo
- anos 1990: arquitetos e engenheiros iniciam estudos urbanos usando tanto o modelo de Monteiro quanto o sintetizado por Oke, porém os trabalhos continuam descritivos – tentativa de integrar variáveis do clima e das legislações urbanas para aplicação em planejamento
- séc. XXI: maior participação de meteorologistas em trabalhos de análise e modelagem em mesoescala; arquitetos e engenheiros começam a usar modelos fluidodinâmicos e termodinâmicos para abordar áreas de cidades grandes e médias; trabalhos empíricos continuam, com menor participação da geografia.

Contexto e relevância

a questão ambiental urbana surge da visão de que a área urbanizada apresenta:

- um metabolismo muito mais intenso por unidade de área, exigindo um fluxo maior de energia concentrada;
- uma grande necessidade de entrada de materiais e outros insumos;
- uma saída maior e mais poluente de resíduos



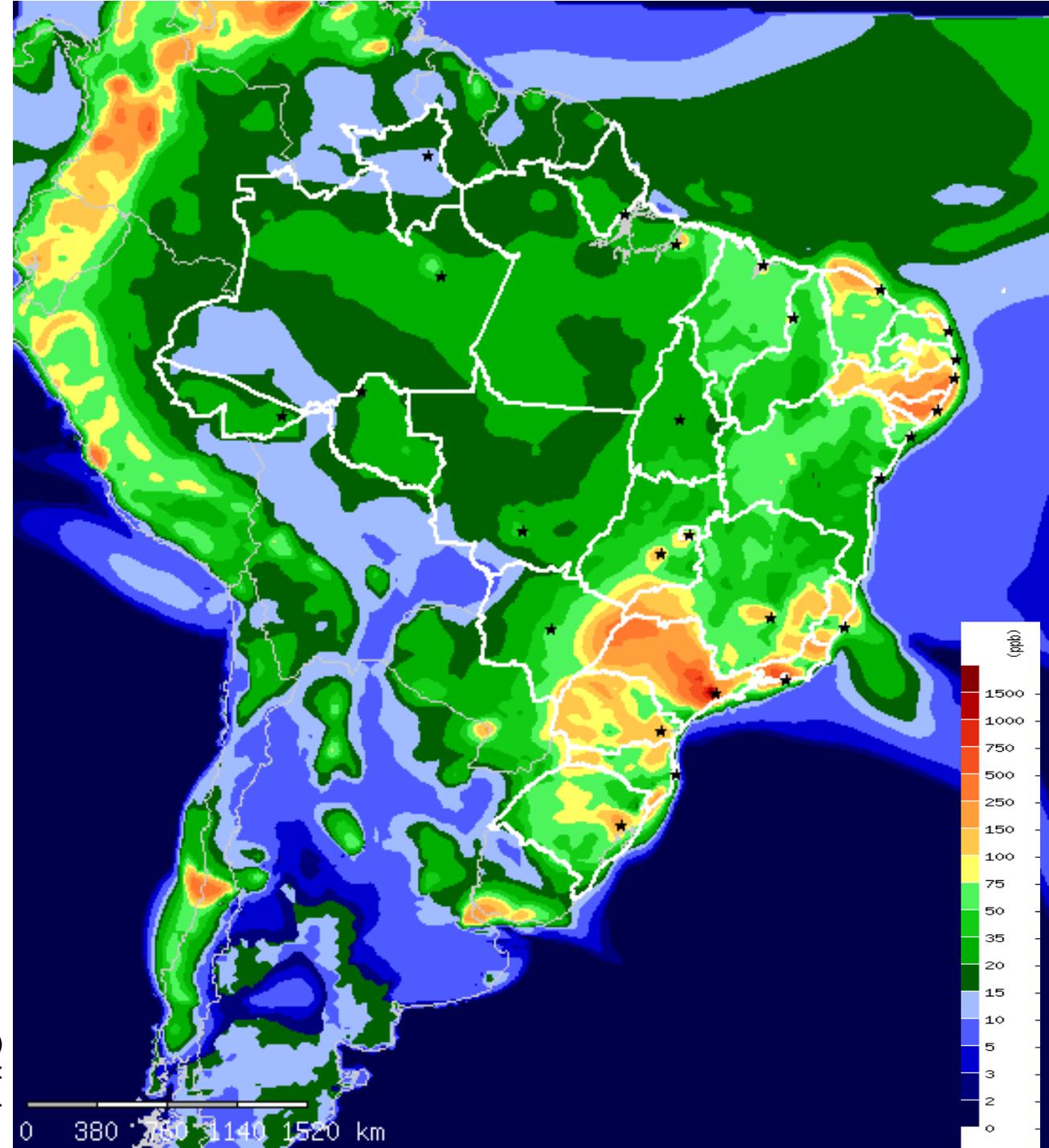
Processos do ecossistema urbano e impactos ambientais.
Fonte: Adaptado de WMO, 1996.

Contexto e relevância

na escala mesoclimática é possível observar os efeitos regionais do clima urbano, em sua distribuição espacial e temporal:

- poluição do ar (gases do efeito estufa, tais como CO, CO₂, CH₄), formação de ozônio próximo à superfície, concentração de particulados (PM_{2,5}; PM₁₀)
- circulação convectiva

Concentração e distribuição espacial de Monóxido de Carbono (CO) total a 74 m de altura durante no dia 17/03/2009 às 12h. Fonte: CPTEC/INPE, Qualidade do Ar – Emissões Urbano-Industriais. Modelo CATT-BRAMS



Contexto e relevância

efeitos da mudança climática global sobre as áreas urbanas:

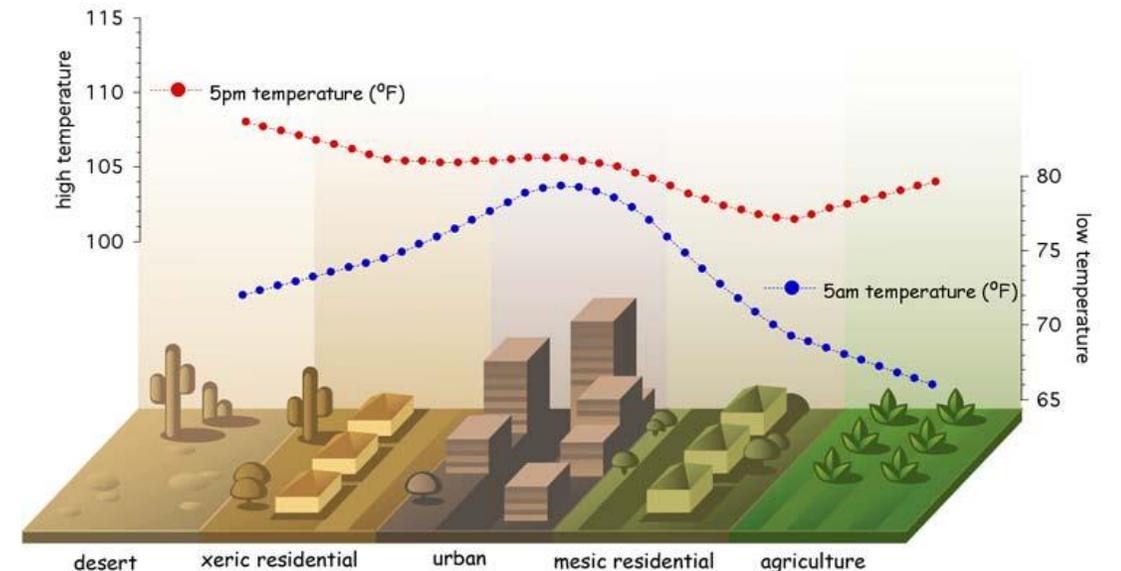
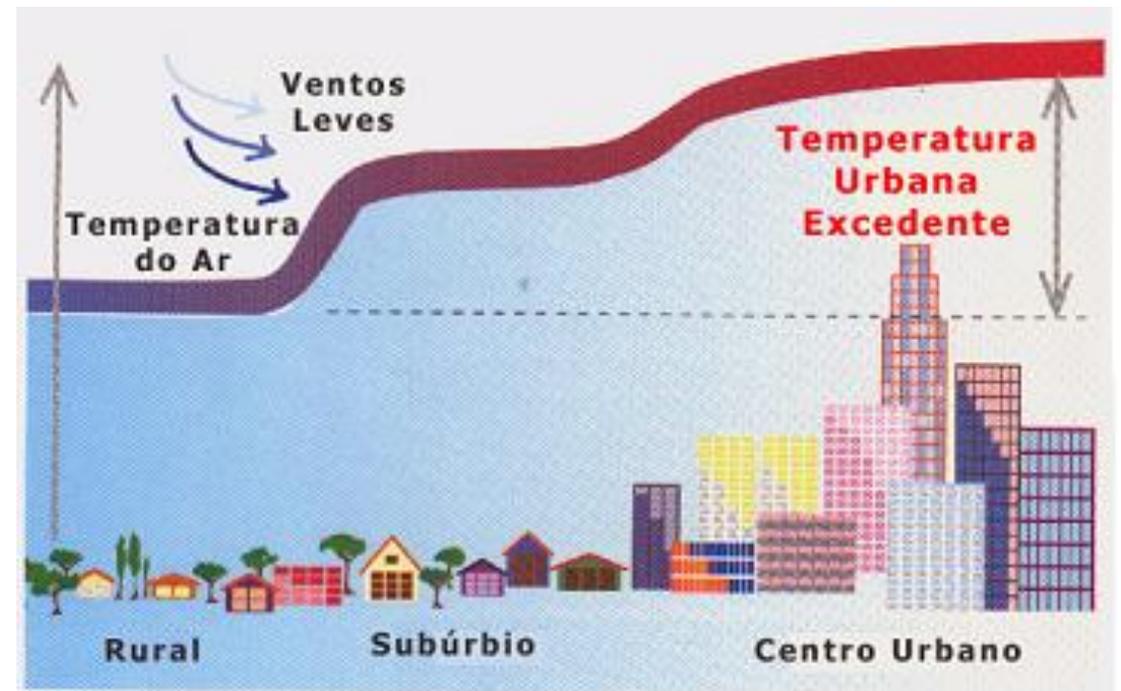
- aumento do risco de inundações
- inversões térmicas e concentração da poluição do ar
- ondas de calor
- disseminação de vetores de doenças tropicais



Contexto e relevância

na escala microclimática é possível observar os efeitos locais do clima urbano, em sua distribuição espacial e temporal:

- ilha de calor urbana
- modificações no balanço de energia em comparação com os sítios naturais do entorno
- interação com as mudanças globais aumentando os riscos sociais e ambientais em eventos extremos



Abordagem meteorológica do clima urbano

- perspectiva física, fenomenológica e estatística do comportamento das variáveis do clima
- tem como base os fluxos de energia e massa, e seus balanços na interação da atmosfera com a superfície
- a abordagem é quadridimensional (espaço e tempo) e integra as escalas de cima para baixo (*downscaling*)
- a preocupação é preditiva com relação ao comportamento do clima, mas não necessariamente gera subsídios ao planejamento e desenho urbanos.

Abordagem geográfica do clima urbano

Geográfica (com base em Monteiro, 1976)

- tem perspectiva humanista e está baseada nos canais de percepção humana do clima
 - Subsistema termodinâmico: canal do conforto térmico
 - Subsistema físico-químico: canal da qualidade do ar
 - Subsistema hidrometeorológico: canal de impacto meteorológico
- ênfase na dimensão espacial horizontal, as escalas vertical e temporal dos fenômenos não estão bem definidas
- análise com base na identificação da dinâmica do clima local, desde a escala sinótica, aplicando técnicas da análise rítmica (sucessão de estados atmosféricos

abordagens do clima urbano

Geográfica (com base em Monteiro, 1976)

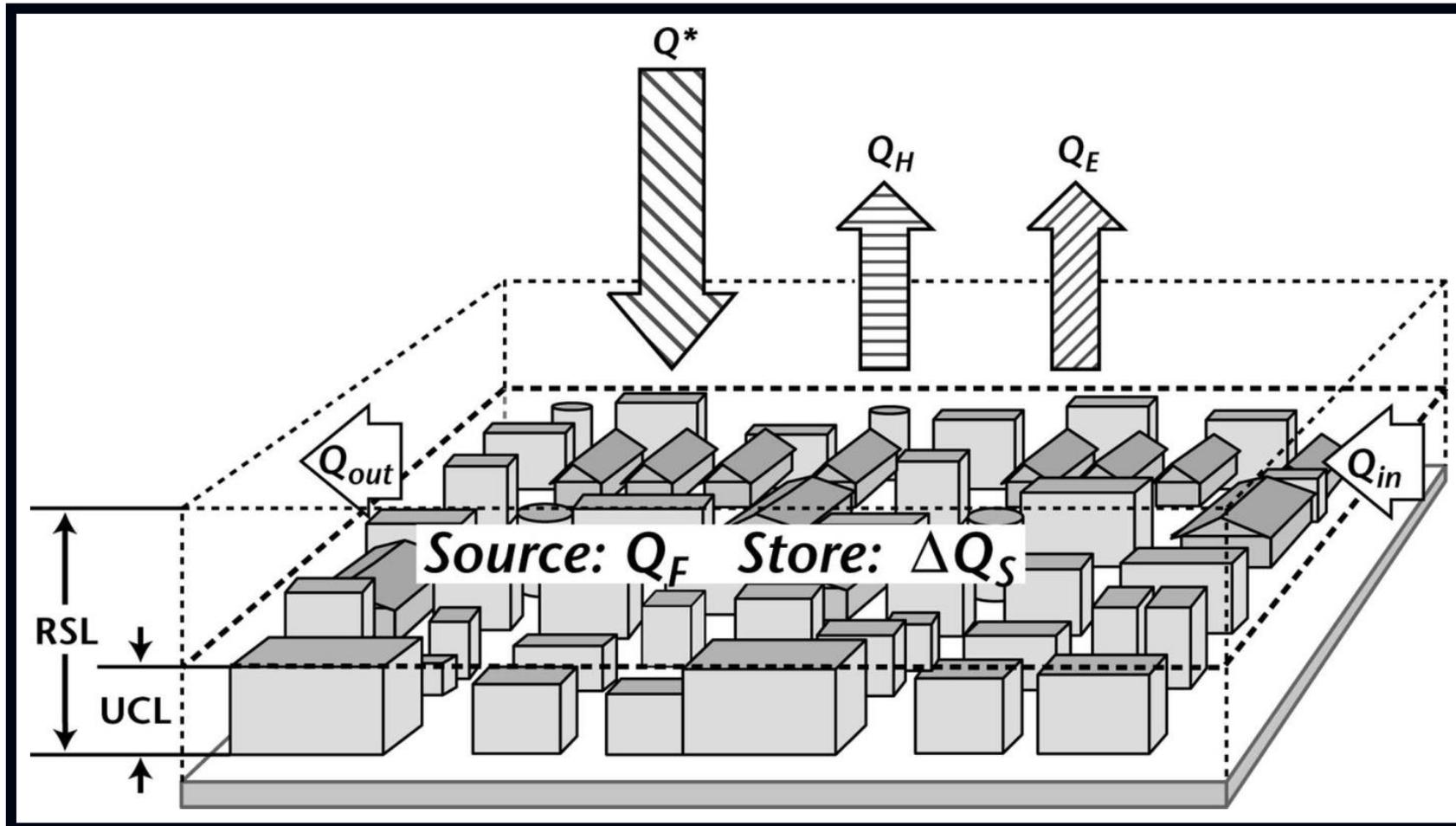
Sub-sistemas	I Termodinâmico	II Físico-químico	III Hidrometeorico
Caracterização	Canais <i>Conforto Térmico</i>	<i>Qualidade do Ar</i>	<i>Impacto Meteorico</i>
Fonte	atmosfera radiação circulação horizontal	atividade urbana veículos automotores indústrias obras- limpeza	atmosfera estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	intercâmbio de operador e operando	de operando ao operador	de operador ao operando
Mecanismo de ação	transformação no sistema	difusão através do sistema	concentração no sistema
Projeção	interação núcleo-ambiente	do núcleo ao ambiente	do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	contínuo (permanente)	cumulativo (renovável)	episódico (eventual)
Observação	meteorológica especial (trabalho de campo)	sanitária e meteorológica especial	meteorológica hidrológica (trabalho de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	bioclimatologia arquitetura urbanismo	engenharia sanitária	engenharia sanitária e infra-estrutura urbana
Produtos	"ilha de calor" ventilação aumento de precipitação	poluição do ar	ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	desconforto e redução do desempenho humano	problemas sanitários, doenças respiratórias, etc.	problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	controle do uso do solo; tecnologia de conforto habitacional	vigilância e controle dos agentes de poluição	aperfeiçoamento da infra-estrutura urbana; uso do solo
Responsabilidade	natureza e homem	homem	natureza

abordagens do clima urbano

Geográfica (com base em Monteiro, 1976)

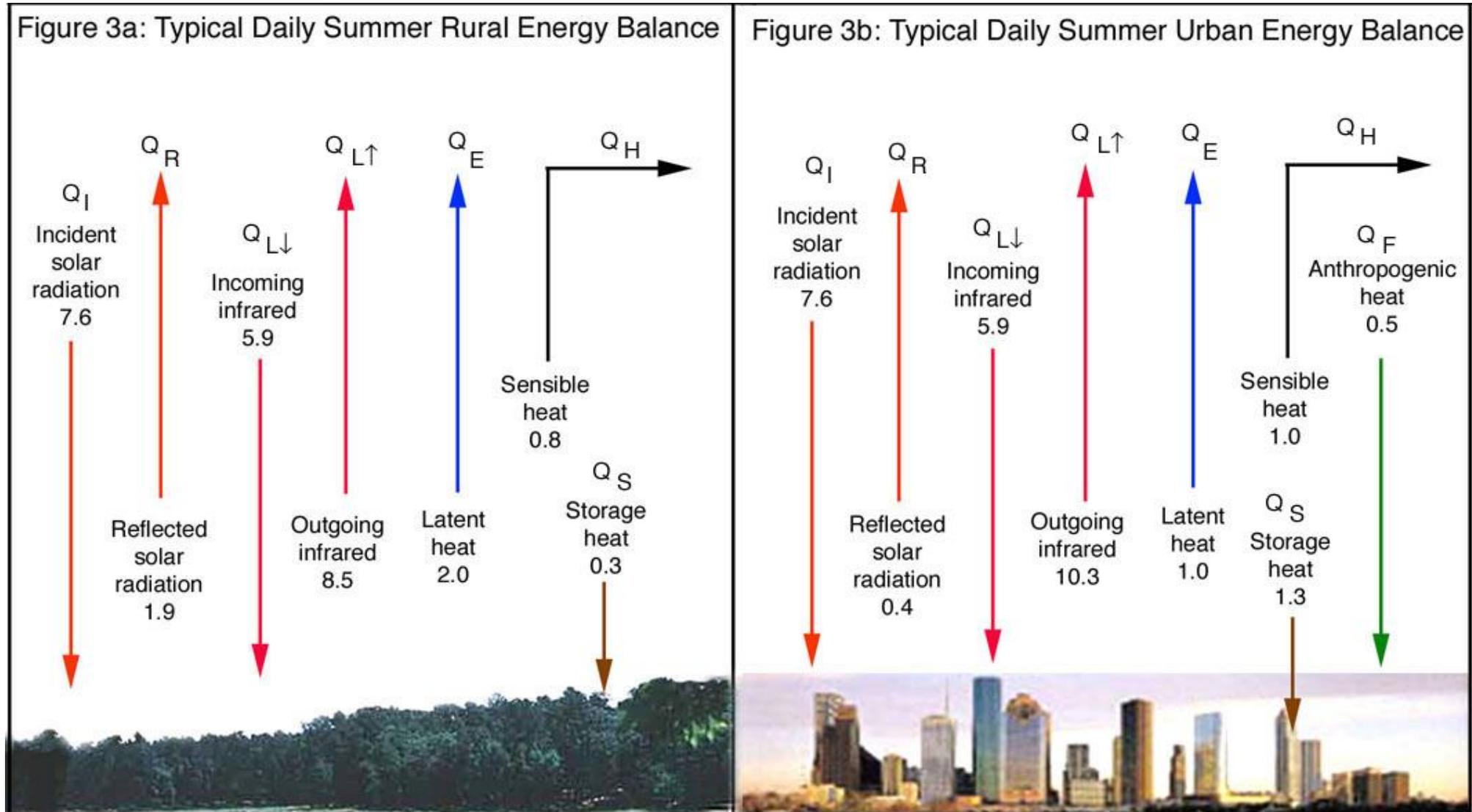
Ordens de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					meios de observação	fatores de organização	técnicas de análise
II	10 ⁷ (milhões km)	1:45.000.000 1:10.000.000	ZONAL	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros ação atm.	Caract. geral comparativ
III	10 ⁶ (milhões km)	1:5.000.000 1:2.000.000	REGIONAL	-	Cartas sinópticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteoroló- gicos (circ. secund.)	Redes Transectos
IV	10 ⁵ (centenas de km)	1:1.000.000 1:500.000	SUB-REGIONAL (FÁCIAS)	Megalópole Grande Área Metropolit.	Rede Meteoroló- gica sup.	Fatores Geog. Regionais	Mapea- mento sistemáti- co
V	10 ⁴ (dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	LOCAL	Área Metropolita- na/Metrópole	Posto Meteorol. Rede complem.	Integração geoecol. Ação antrópica	Análise espacial
VI	10 ² (centenas de m)	1:50.000 1:25.000	MESOCLIMA	Cid. grande ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (episódicos)	Urbanismo	Especiais
-	10 ¹ (dezenas de m)	1:10.000 1:5.000	TOPOCLIMA	Pequena cid. Fácies de bairro/subúr.	(Detalhe)	Arquitetura	
-	10 ⁰ (metros)	1:2.000	MICROCLIMA	Grande edifi- cação/ Habi- tação/ Setor	Baterias de instrum. especiais	Habitação	

Balanço de energia no meio urbano



Fonte: Oke, 1987

Balanço de energia no meio urbano

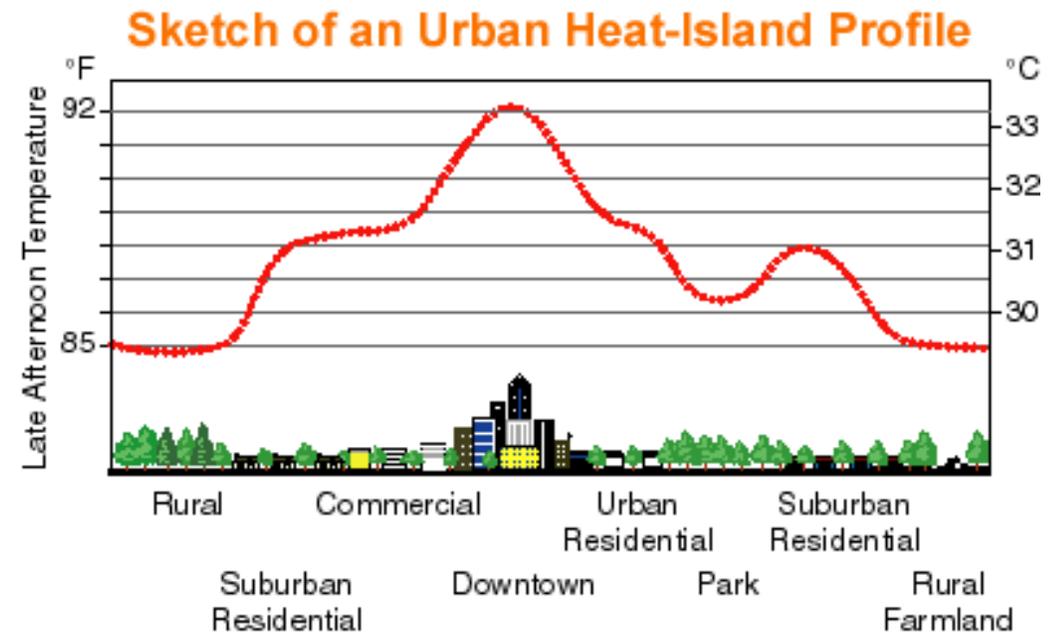


Ilha de calor urbana

Intensidade da ilha de calor urbana

$$T_{u-r} = T_u - T_r$$

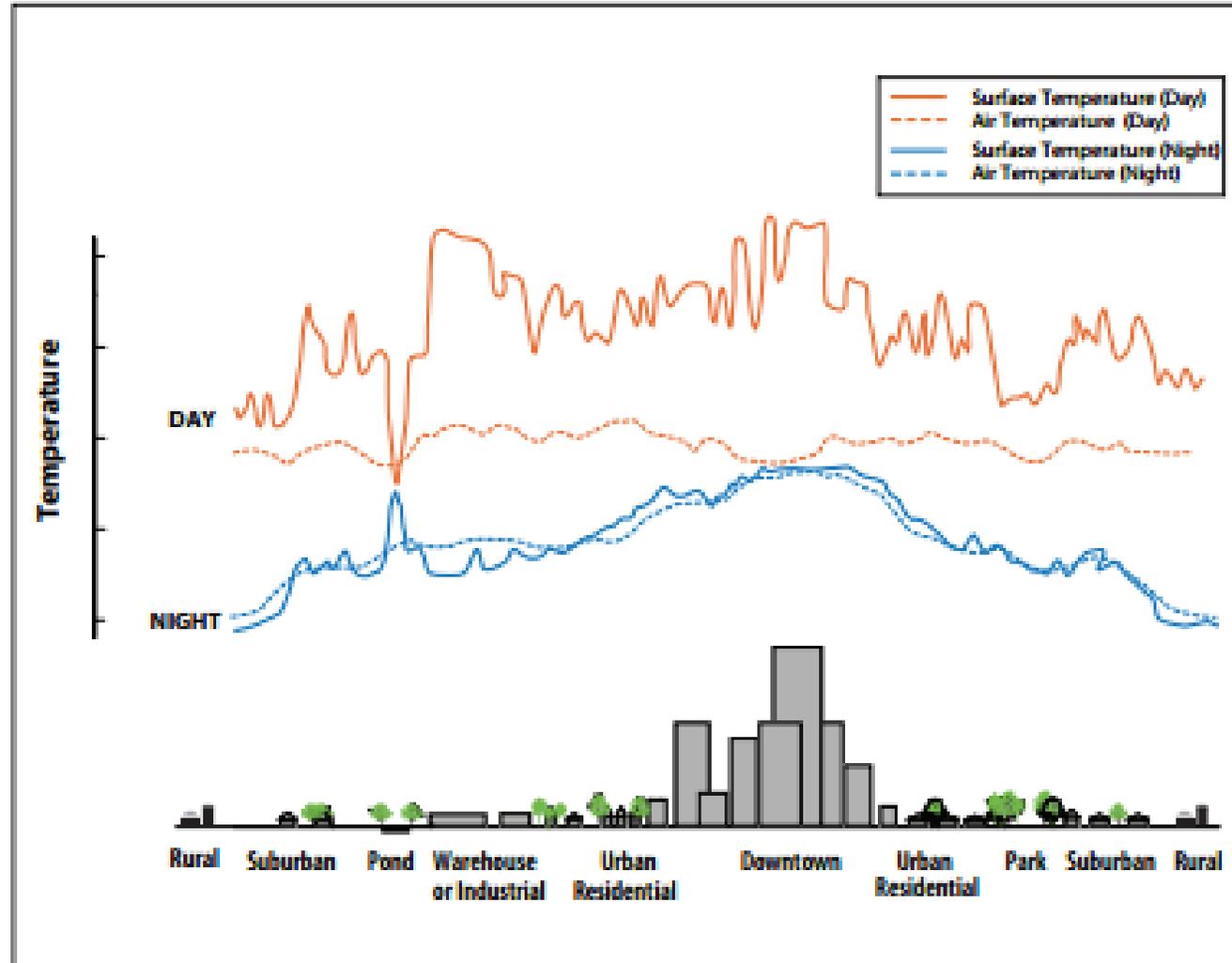
Dependência da velocidade do vento, da cobertura de nuvens, dos materiais urbanos e sua admitância térmica, da razão de aspecto do canyon ou svf (*sky view fator*)



Ilha de calor urbana

Surface and Air Temperatures: How Are They Related

Figure 2: Variations of Surface and Atmospheric Temperatures



Modified from Voogt, 2000

Ilha de calor urbana

Intensidade da ilha de calor urbana

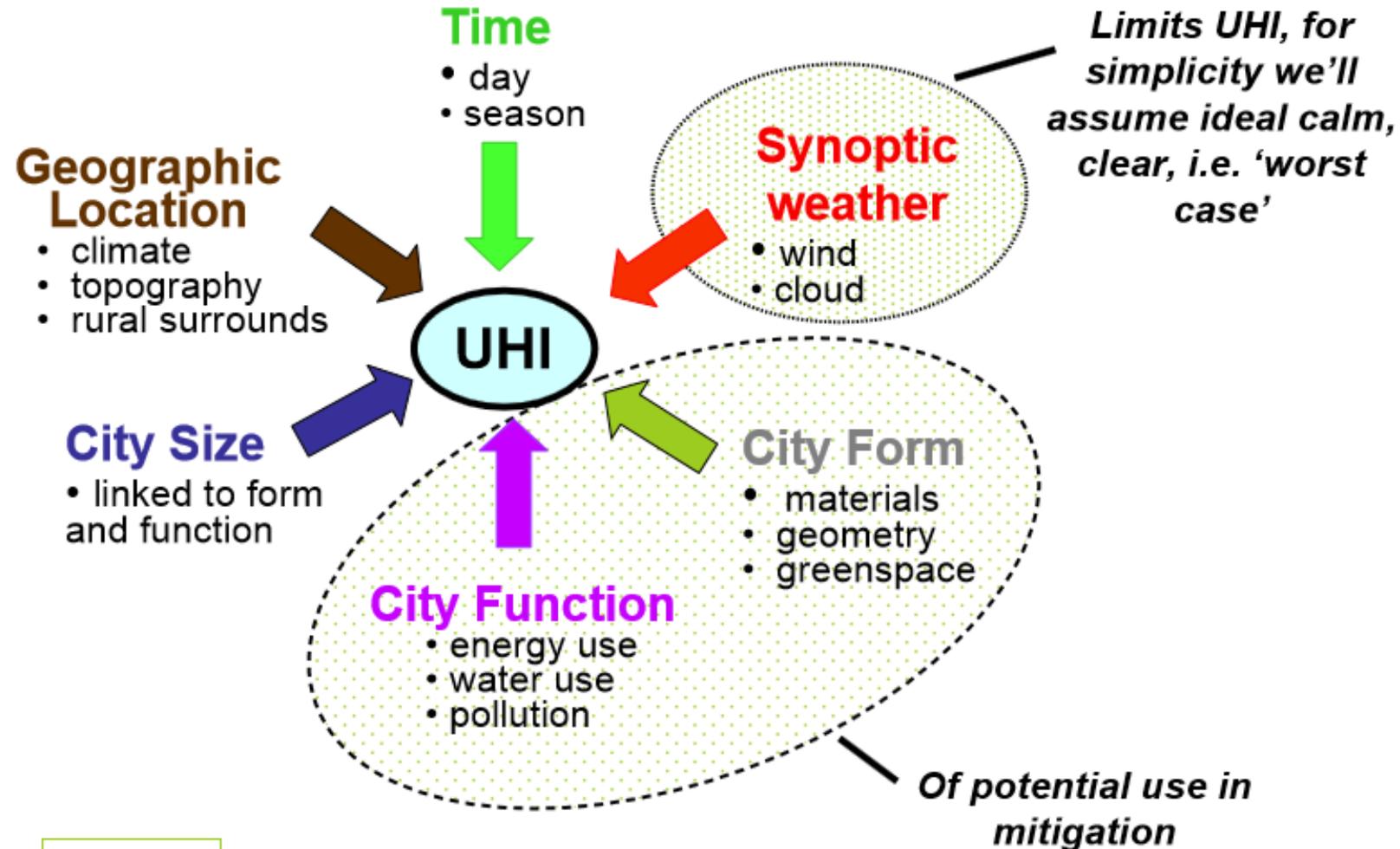
$$T_{u-r} = T_u - T_r$$

Reduzir a entrada de calor no ambiente urbano (sombreamento, menos combustão), aumentar a saída do calor (reflexão, emissão e convecção) ou ainda reter/armazenar o calor de outra forma (evaporação ou armazenamento)

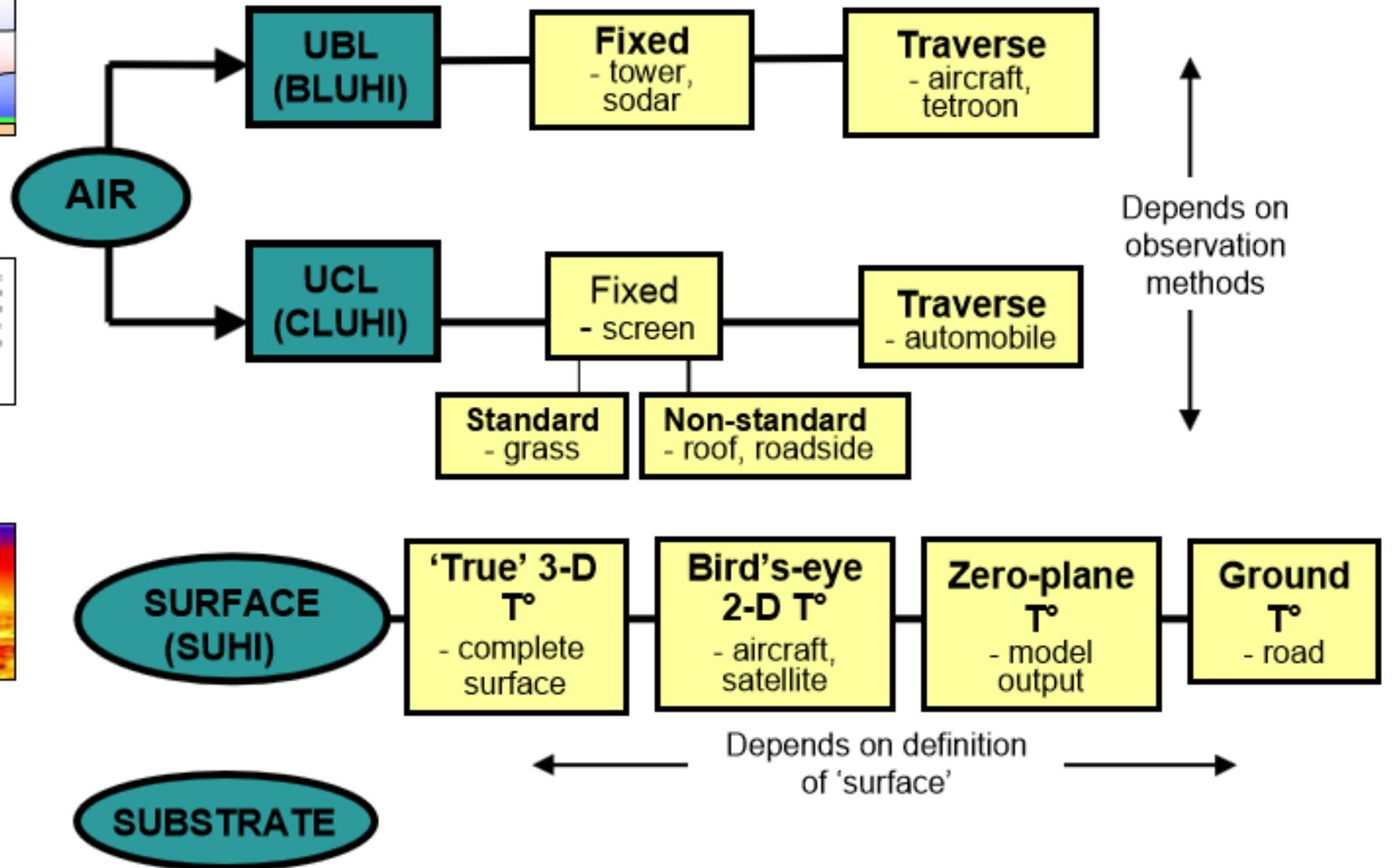
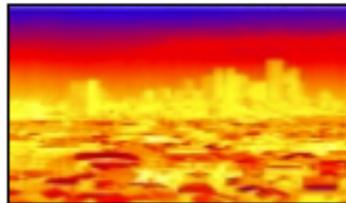
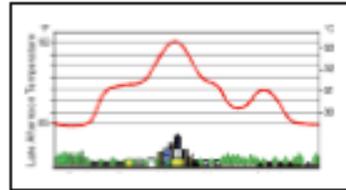
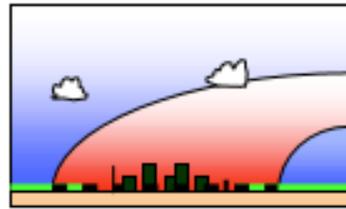
Na prática, a UHI é mais complexa:

- Diferentes manifestações da UHI, cada uma com seus processos, natureza especial e temporal, e seus impactos
- Grande variedade de escalas e interações envolvidas
- Para estratégias de mitigação, não basta conhecer as variações de temperatura, mas também as causas do fenômeno e a capacidade preditiva

Controls on the UHI

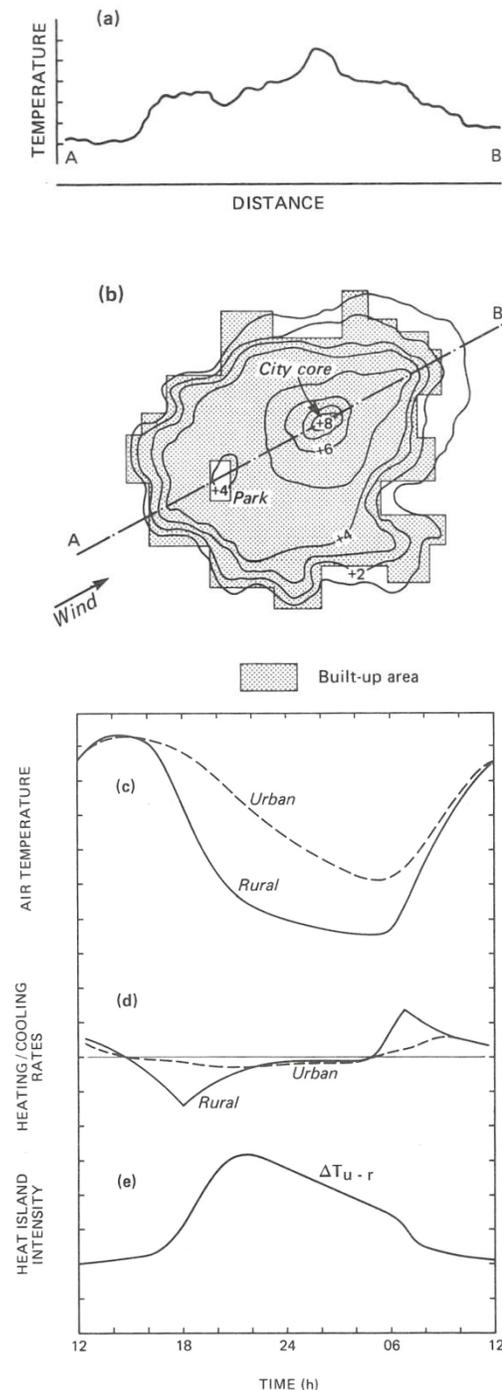


Ilha de calor urbana



Ilha de calor urbana

- Distinção entre diferentes tipos de UHIs
- Estrutura espacial e dinâmica da UHI / UCL
- Causas da UHI / UCL (Oke, 1982)
 - Aumento na absorção de radiação solar (canyon geometry)
 - Aumento na emissão de ondas longas (increased long-wave counter-radiation)
 - Diminuição da perda de radiação de onda longa (canyon geometry)
 - Fontes antropogênicas de calor (releases into canyon air)
 - Acúmulo de calor sensível no tecido urbano (materials – thermal admittance)
 - Diminuição da evapotranspiração (materials - vegetated area reduction and impervious surfaces)
 - Diminuição da mistura vertical (canyon geometry – shelter)

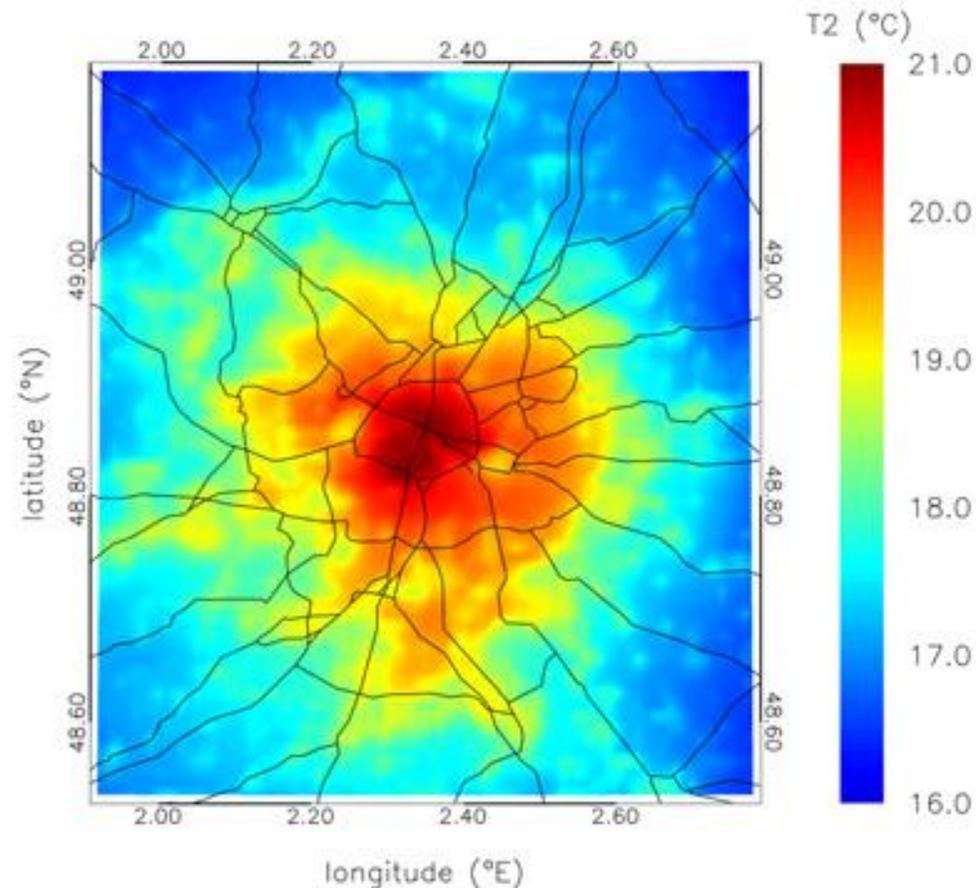


Ilha de calor urbana - UHI / UCL em cidades tropicais

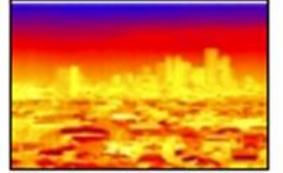
- Além das diferenças do meio onde são estudadas (ar, superfície e subsuperfície) e do sistema de monitoramento empregado (ARNFIELD, 2003), crescem as evidências da defasagem de fase e de amplitudes da ilha de calor urbana em cidades tropicais, quando comparadas às latitudes médias e altas (CHOW; ROTH, 2006; MARQUES FILHO et al., 2009).
- Diferenças em relação ao padrão clássico podem ser devidas à:
 - topografia (litoral, vale, etc.)
 - solo rural mais seco ou mais úmido
 - vegetação urbana
- Ilhas de calor em cidades tropicais é menos intensa do que em altas latitudes e muito determinada pelo conteúdo de umidade da atmosfera e do solo em áreas rurais adjacentes (ROTH, 2007).
 - Rio de Janeiro: influência da temperatura do oceano e da vegetação no período da manhã (Marques Filho *et al.*, 2009);
 - São Paulo: a entrada da brisa marinha à tarde ameniza o efeito noturno (Ferreira *et al.*, 2012)
 - Cingapura: Roth (2007)

Ilha de calor urbana de superfície – UHI/SUHI

- Estrutura espacial e dinâmica da *Surface Urban Heat Island - SUHI*
- Características das UHIs de superfície observadas por satélite
- Sensoriamento remoto de valores absolutos de temperatura para SUHI precisam de calibração – cuidados com erros de modelagem, fluxos e interpretações climáticas



Mean air temperature in Paris, France at 22:00, summer 2003. credits: vito, planetek.



Implications of UHI research for field

Weakness

Several UHI with differences in magnitude, daily timing, measurement needs, environment affected and implications for impacts. Glossing over these differences leads to misunderstanding, slows progress, is a waste of time and funds, and hampers mitigation efforts.

Proposals

- adopt precise UHI-type names and use them
- establish measurement protocols for each UHI
- correct remotely-sensed imagery (research algorithms, emissivity of areas, surface structure and materials not land-use)
- insist models be validated
- validate using UHI data matched to model output
- validate using heat fluxes as well as temperatures
- users must ensure measured data or model output is valid for purpose (errors, sites, UHI-type)

As escalas e o clima urbano

tanto na abordagem geográfica quanto na meteorológica, a definição das escalas do fenômeno em estudo é fundamental para:

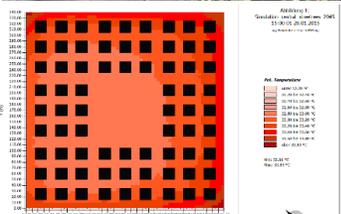
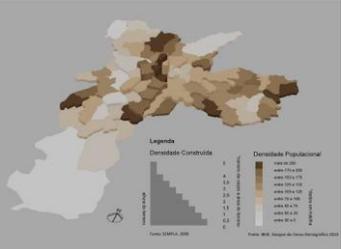
- identificar as bases de dados necessárias;
- identificar o tamanho da área de estudo;
- identificar os meios, métodos e técnicas observacionais mais adequados.

Áreas tecnológicas (engenharias e arquitetura)

- a visão teórica é parcial, inconsistências são geradas pela tentativa de integrar os modelos geográficos e meteorológicos
- falta fundamentação, tanto teórica quanto observacional para gerar resultados sólidos e comparáveis entre áreas urbanas distintas
- a abordagem é geralmente descritiva em escala horizontal, usando séries de pequeno alcance temporal e pouca representatividade estatística
- aplicações limitadas

Lacunas

- descrição adequada da cidade em modelos numéricos;
- resultados referenciados em indicadores de qualidade (p. ex. índice de conforto e limites de poluição do ar) para auxílio à tomada de decisão em planejamento;
- análise da influência de parâmetros passíveis de controle pelas legislações urbanas (geometria, revestimentos urbanos, desempenho de materiais, desempenho da vegetação);
- integração de resultados sobre demanda de energia nas edificações associada à mudança climática
- integração interdisciplinar e cooperação interinstitucional;
- formação de pessoal;
- recursos para pesquisa.



urbanização e emergência da mudança climática

Urbanização

Em 2016, 54.5% da população mundial vive em áreas urbanas (UN/DESA, 2016)

Most megacities are located in the global South

Of the world's 31 megacities (that is, cities with 10 million inhabitants or more) in 2016, 24 are located in the less developed regions or the "global South". China alone was home to six megacities in 2016, while India had five.

The 10 cities that are projected to become megacities between 2016 and 2030 are all located in developing countries. They include:

Lahore, Pakistan
 Hyderabad, India
 Bogotá, Colombia
 Johannesburg, South Africa
 Bangkok, Thailand
 Dar es Salaam, Tanzania
 Ahmanabad, India
 Luanda, Angola
 Ho Chi Minh City, Viet Nam
 and Chungdu, China.

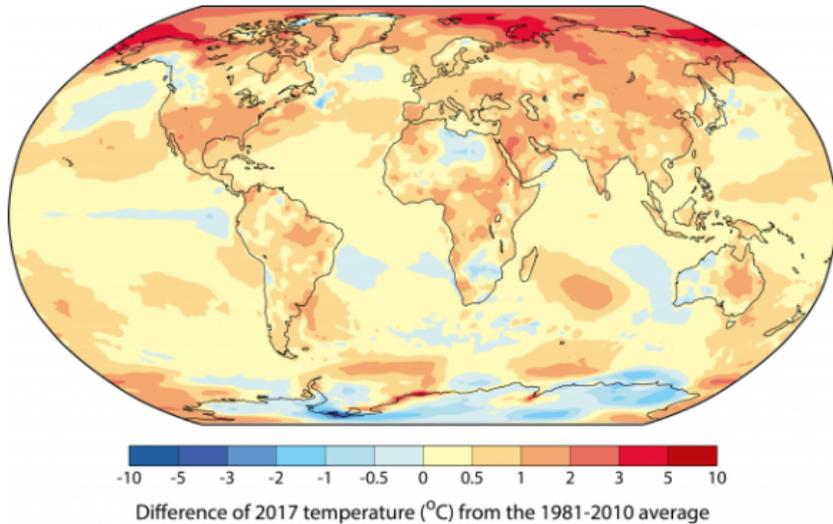
Despite a projected decline of nearly 1 million inhabitants, Tokyo is expected to remain the world's largest city in 2030, followed by Delhi, which is projected to add nearly 10 million people between 2016 and 2030.

Rank	City, Country	Population in 2016 (thousands)	City, Country	Population in 2030 (thousands)
1	Tokyo, Japan	38 140	Tokyo, Japan	37 190
2	Delhi, India	26 454	Delhi, India	36 060
3	Shanghai, China	24 484	Shanghai, China	30 751
4	Mumbai (Bombay), India	21 357	Mumbai (Bombay), India	27 797
5	São Paulo, Brazil	21 297	Beijing, China	27 706
6	Beijing, China	21 240	Dhaka, Bangladesh	27 374
7	Ciudad de México (Mexico City), Mexico	21 157	Karachi, Pakistan	24 838
8	Kinki M.M.A. (Osaka), Japan	20 337	Al-Qahirah (Cairo), Egypt	24 502
9	Al-Qahirah (Cairo), Egypt	19 128	Lagos, Nigeria	24 239
10	New York-Newark, USA	18 604	Ciudad de México (Mexico City), Mexico	23 865
11	Dhaka, Bangladesh	18 237	São Paulo, Brazil	23 444
12	Karachi, Pakistan	17 121	Kinshasa, Democratic Republic of the Congo	19 996
13	Buenos Aires, Argentina	15 334	Kinki M.M.A. (Osaka), Japan	19 976
14	Kolkata (Calcutta), India	14 980	New York-Newark, USA	19 885
15	Istanbul, Turkey	14 365	Kolkata (Calcutta), India	19 092
16	Chongqing, China	13 744	Guangzhou, Guangdong, China	17 574
17	Lagos, Nigeria	13 661	Chongqing, China	17 380
18	Manila, Philippines	13 131	Buenos Aires, Argentina	16 956
19	Guangzhou, Guangdong, China	13 070	Manila, Philippines	16 756
20	Rio de Janeiro, Brazil	12 981	Istanbul, Turkey	16 694
21	Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, USA	12 317	Bangalore, India	14 762
22	Moskva (Moscow), Russian Federation	12 260	Tianjin, China	14 655
23	Kinshasa, Democratic Republic of the Congo	12 071	Rio de Janeiro, Brazil	14 174
24	Tianjin, China	11 558	Chennai (Madras), India	13 921
25	Paris, France	10 925	Jakarta, Indonesia	13 812
26	Shenzhen, China	10 828	Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, USA	13 257
27	Jakarta, Indonesia	10 483	Lahore, Pakistan	13 033
28	Bangalore, India	10 456	Hyderabad, India	12 774
29	London, United Kingdom	10 434	Shenzhen, China	12 673
30	Chennai (Madras), India	10 163	Lima, Peru	12 221
31	Lima, Peru	10 072	Moskva (Moscow), Russian Federation	12 200
32			Bogotá, Colombia	11 966
33			Paris, France	11 803
34			Johannesburg, South Africa	11 573
35			Krung Thep (Bangkok), Thailand	11 528
36			London, United Kingdom	11 467
37			Dar es Salaam, United Republic of Tanzania	10 760
38			Ahmadabad, India	10 527
39			Luanda, Angola	10 429
40			Thành Phố Ho Chi Minh (Ho Chi Minh City), Viet Nam	10 200
41			Chengdu, China	10 104

Mudança climática



Mudança climática



WMO confirms 2017 among the three warmest years on record

Tags: [Climate change](#) [Greenhouse gases](#) [Climate](#)

18 Published 18 January 2018

Press Release Number: 18-01-2018

18 January 2018 (WMO) - In a clear sign of continuing long-term climate change caused by increasing atmospheric concentrations of greenhouse gases, 2015, 2016 and 2017 have been confirmed as the three warmest years on record. 2016 still holds the global record, whilst 2017 was the warmest year without an El Niño, which can boost global annual temperatures.

A consolidated analysis by the World Meteorological Organization of five leading international datasets showed that the global average surface temperature in 2017 was approximately 1.1° Celsius above the pre-industrial era.

The year 2016 remains the warmest year on record (1.2°C above preindustrial era). Global average temperatures in 2017 and 2015 were both 1.1°C above pre-industrial levels. The two years are virtually indistinguishable because the difference is less than one hundredth of a degree, which is less than the statistical margin of error.

"The long-term temperature trend is far more important than the ranking of individual years, and that trend is an upward one," said WMO Secretary-General Petteri Taalas. "Seventeen of the 18 warmest years on record have all been during this century, and the degree of warming during the past three years has been exceptional. Arctic warmth has been especially pronounced and this will have profound and long-lasting repercussions on sea levels, and on weather patterns in other parts of the world."

The globally averaged temperature in 2017 was about 0.46°C above the 1981-2010 long-term average (14.3°C). This 30-year baseline is used by national meteorological and hydrological services to assess the averages and variability of key climate parameters, such as temperature, precipitation and wind, which are important for climate sensitive sectors such as water management, energy, agriculture and health.

Latest WMO News

— **Commission for Climatology gains new direction**

13 April 2018

— **UN Oceans boosts coordination**

12 April 2018

— **WMO Hurricane Committee reviews devastating 2017 season, retires names**

12 April 2018

— **Towards a Global Hydromet Compact**

11 April 2018

Year of Polar Prediction Arctic Winter

IPCC e o papel das cidades

Cidades não foram consideradas nos primeiros relatórios do IPCC e no Protocolo de Kyoto.

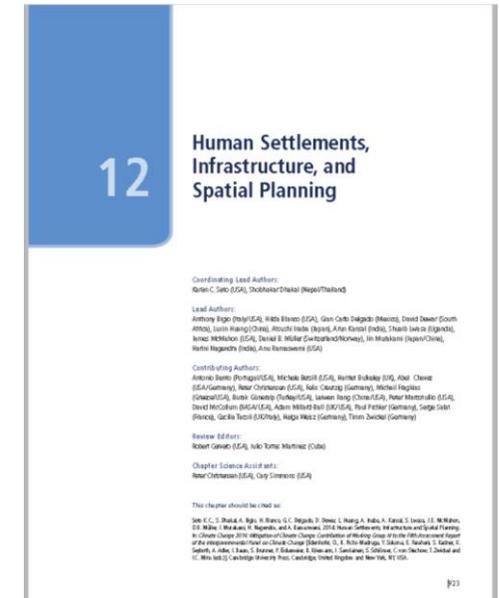
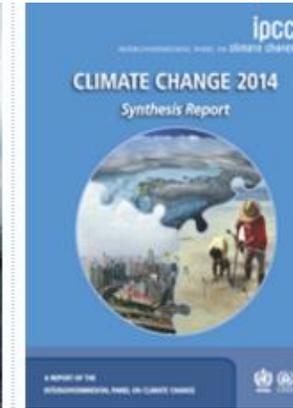
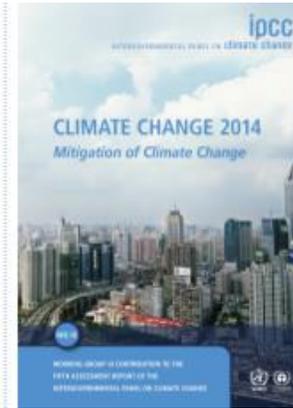
O fenômeno urbano era visto como uma anomalia, com eventuais estações meteorológicas urbanas como fontes distorcidas de medições climáticas.

A urbanização entrou pela primeira vez como uma consideração nas mudanças climáticas no AR4 (2007).

O AR5 (2014), tem um capítulo especialmente dedicado às cidades que traz uma avaliação do seu papel nas mudanças climáticas, na poluição e discute o seu potencial de adaptação aos riscos climáticos, e outro capítulo sobre assentamentos humanos, infraestrutura e planejamento espacial.

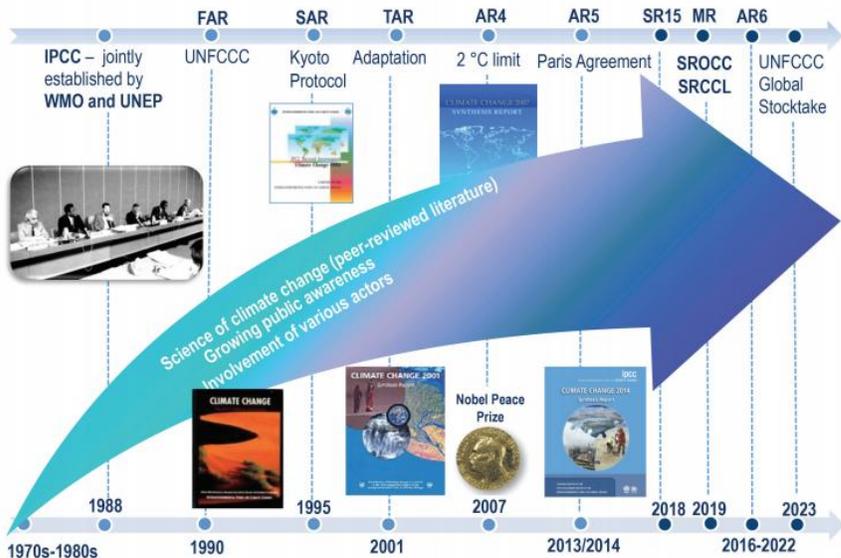
Cidades em países emergentes têm a oportunidade de implantar o que o IPCC chama de *climate smart infrastructure planning*, considerando as necessidades de desenvolvimento já com estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, o que seria até mais difícil em cidades com infraestruturas antigas e mais consolidadas.

Foco inicial de muitas cidades na mitigação, ao invés da adaptação, com compromissos de redução de GEE.



IPCC e o papel das cidades

IPCC contribution to climate science and policymaking



The Sixth Assessment cycle*

Special Reports	October 2018	Global warming of 1.5° C An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty
	August 2019	Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems
	September 2019	Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate
Methodology Report	May 2019	2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
	April 2021	Working Group I contribution The physical science basis
Sixth Assessment Report	July 2021	Working Group III contribution Mitigation of climate change
	October 2021	Working Group II contribution Impacts, adaptation and vulnerability
	April 2022	Synthesis Report
	Cities	A conference on cities and special attention to cities in the Sixth Assessment Report with the intention of a Special Report on climate change and cities in the Seventh Assessment Cycle
Others	Expert Meetings	Several Expert Meetings and workshops are held to support the preparation of the Sixth Assessment Report. Reports of these meetings are published as supporting materials
	Outreach	Communication and outreach of the IPCC process and its findings

* Dates are subject to a change.

CITIES & CLIMATE CHANGE
 SCIENCE CONFERENCE
 MARCH 5-7, 2018
 EDMONTON, ALBERTA, CANADA

Navigation: About, Conference Programme, Host City Edmonton, Beyond the Conference, Media, EN, FR

Brasil

O clima já está mais variável, e vai ficar cada vez mais.

Após COP 15, Brasil adotou compromisso nacional voluntário para mitigação das emissões de gases de efeito estufa e apresentou INDC em outubro de 2015.

A adaptação ficou desassistida; a estratégia não é só mitigar, mas é preciso também se adaptar às mudanças climáticas.

PBMC - a intensificação do calor é evidente; os dados indicam um Brasil mais quente em quase todas as latitudes, com uma variação gradual no aumento das temperaturas médias de até 6°C até 2100, comparadas aos registros do final do século XX.

PMBC prevê impactos na infraestrutura, principalmente transportes, com um alerta especial às megacidades, como São Paulo e Rio de Janeiro.

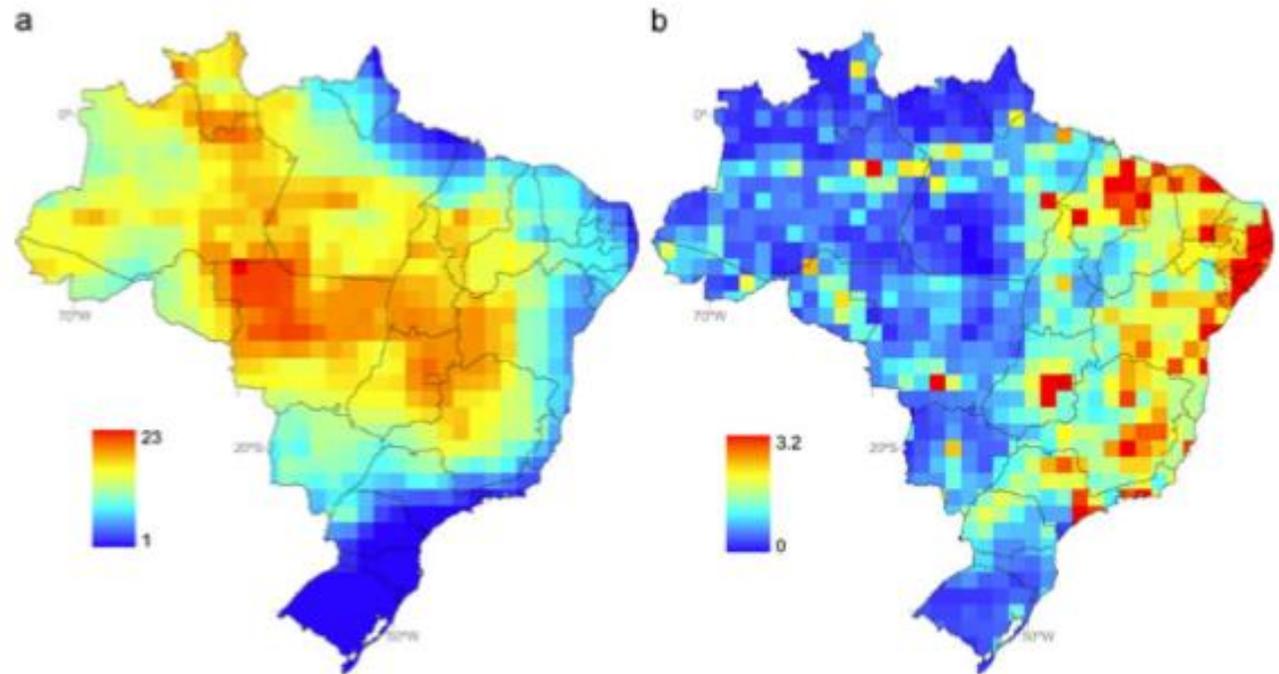
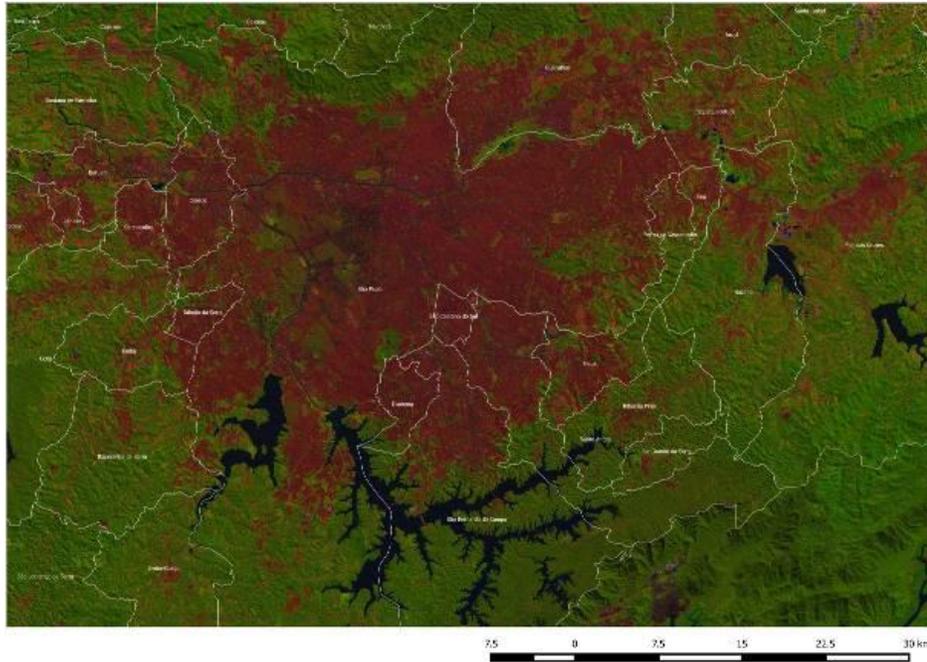


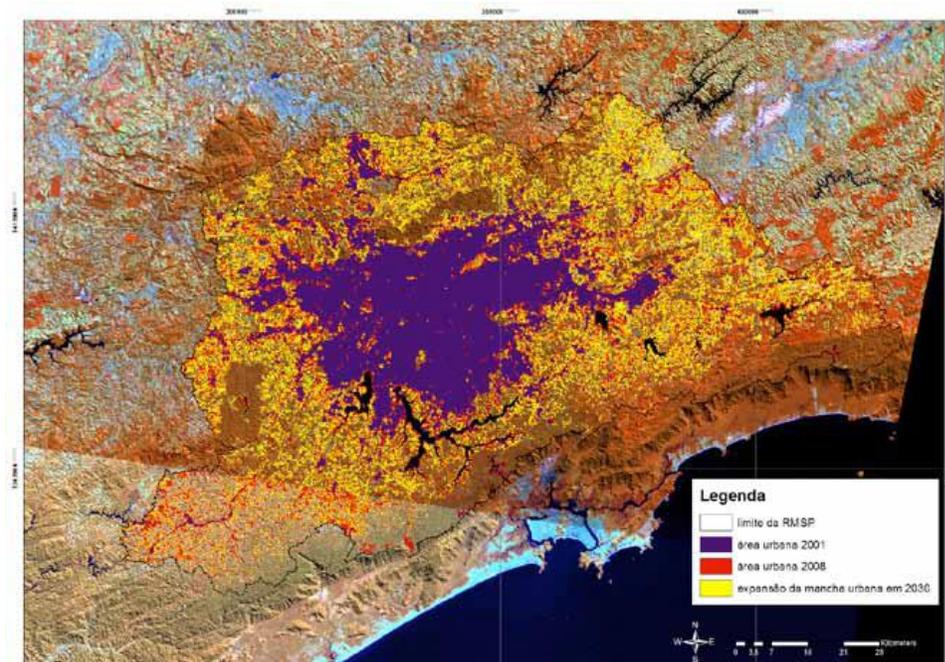
Fig. 2 (a) Regional Climate Change Index (RCCI) and (b) Socio-Climatic Vulnerability Index (SCVI) for Brazil (both dimensionless)

Índice de Vulnerabilidade Sócioclimática – SCVI, que combina o *Regional Climate Change Index - RCCI* com densidade populacional e IDH; ambos mapeados pelo IBGE. Destaque no SCVI para a vulnerabilidade das áreas mais urbanizadas, incluindo São Paulo (Torres *et al.*, 2012)

São Paulo: mancha urbana atual e previsão de expansão



Parte da RMSP, mostrando a área urbanizada com a vegetação mais preservada nos arredores e reservatórios ao sul. Fonte: composição colorida das bandas espectrais 5, 4 e 3 do Landsat-5, em 23 de maio de 2011 (CESAD-FAU/USP).



Expansão da mancha urbana da RMSP em 2030. Imagem de satélite Landsat 7 ETM+ (órbita 219-076, resolução 30x30m. Projeções indicam que, caso o padrão de expansão da RMSP seja mantido conforme registros históricos, em 2030 a mancha urbana será aproximadamente 38% maior do que a atual (NOBRE, YOUNG, 2011).

São Paulo

registros climáticos 2014 e 2015

Todos os meses de 2014 apresentaram temperaturas médias mensais maiores que a Normal 1933-1960, 1961-1990 e a Média Histórica (1933-2014).

Ao longo do ano de 2014, foram registrados recordes de temperatura. Em 3/1 e em 1/2, foram registrados $36,1^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{máx}}$, maior valor já observado nos meses de JF até aquele momento e havia sido o maior valor já registrado desde 1933.

Em 17/10/2014, foi observado $37,2^{\circ}\text{C}$, que passou a ser a maior temperatura já registrada desde 1933.

A temperatura média mínima tem ficado cada vez mais alta.

(IAG/USP Boletim 2014)

Em 2015 foram observados três recordes absolutos mensais: 19 de Janeiro de 2015: $36,2^{\circ}\text{C}$, 31 de Agosto de 2015: $33,2^{\circ}\text{C}$ e 24 de Setembro de 2015: $36,1^{\circ}\text{C}$

Todos os meses de 2015 apresentaram temperaturas médias mensais maiores que a Normal (1933-1960), a Normal (1961-1990) e a Média histórica (1933-2015).

A temperatura média anual e a temperatura média mínima anual foram as maiores já registradas desde 1933 ($20,4^{\circ}\text{C}$, valor que se iguala ao registrado em 2002 e $16,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente).

A temperatura média máxima anual foi a 2° maior desde 1933 ($26,8^{\circ}\text{C}$), valor que se iguala ao de 2002 e sendo superado apenas pela temperatura média máxima de 2014 ($26,9^{\circ}\text{C}$).

(IAG/USP Boletim 2015)

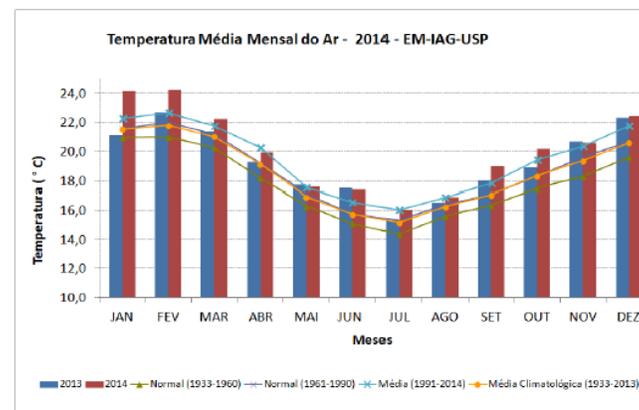
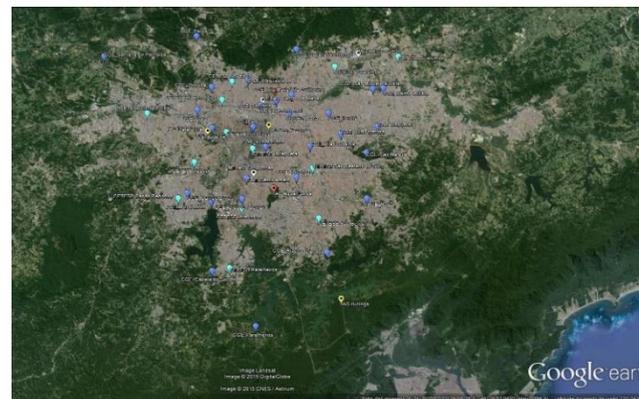


Figura 5 – Temperatura média mensal do ar para os anos de 2013 e 2014, normais, média 1991-2014 e média climatológica.

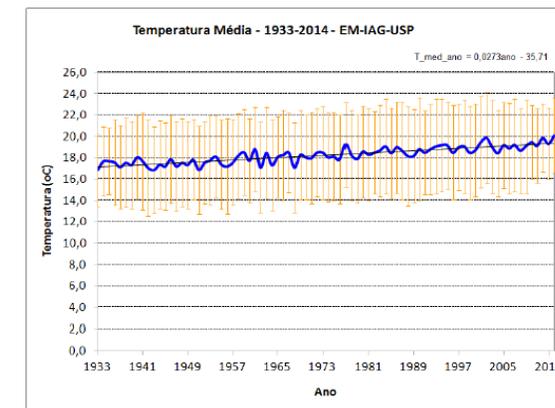
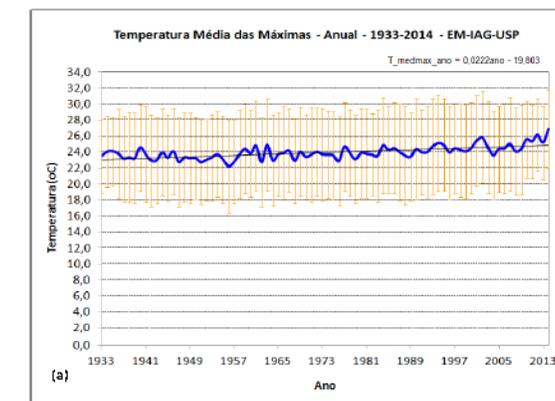
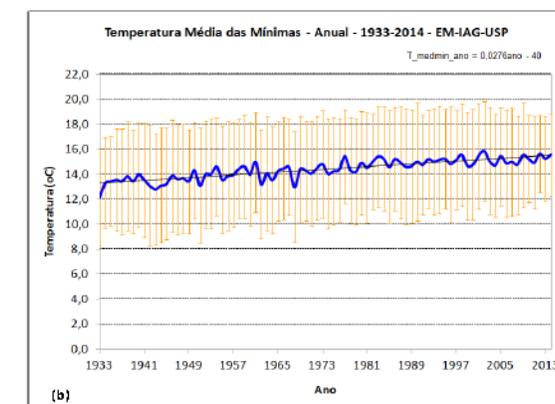


Figura 8 – Temperaturas médias mensais para o período 1933-2014. As barras verticais indicam o desvio padrão de cada média.



(a)

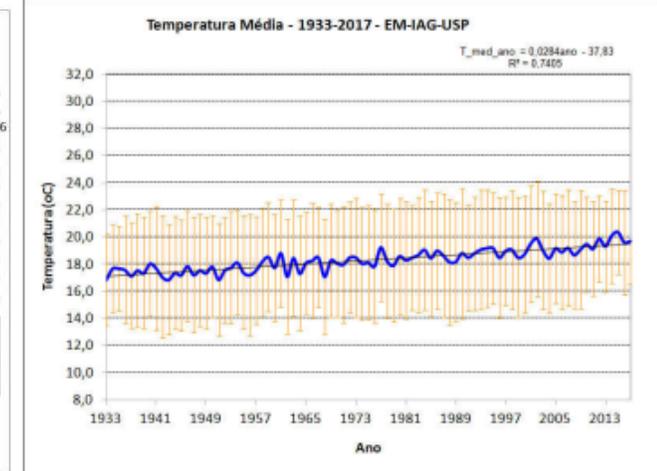
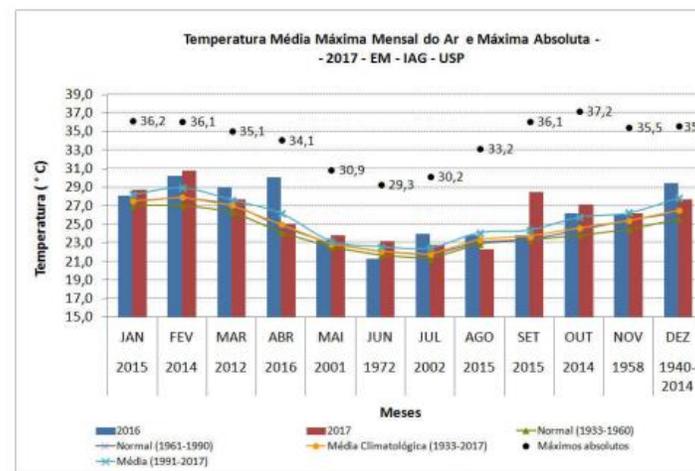


(b)

Figura 9 – Temperaturas médias máximas (a) e médias mínimas (b) para o período 1933-2014. As barras verticais indicam o desvio padrão de cada média.

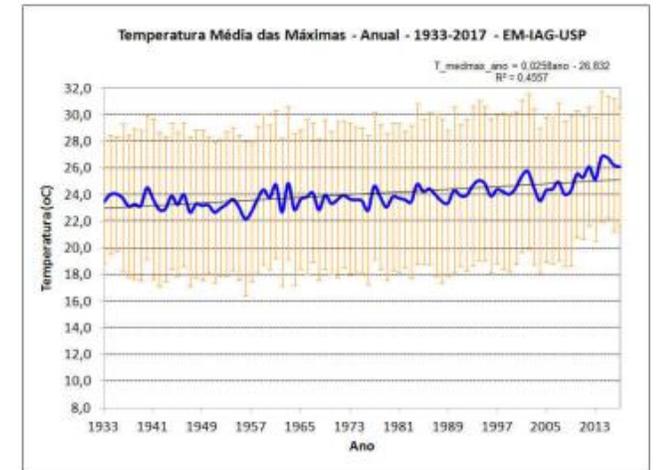
São Paulo

registros climáticos 2017



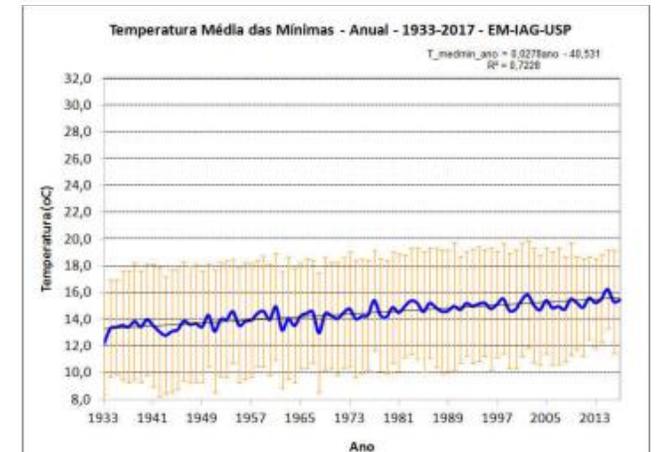
Os meses de maior destaque, com maior temperatura média com relação às suas respectivas médias, foram setembro (15,2% acima da média) e outubro (10,4% acima da média). Ressalta-se que a temperatura média de setembro/2017 (19,8°C) foi a segunda temperatura média mensal para um mês de setembro, superada apenas por setembro/2004 (19,9°C).

A maior temperatura registrada em 2017 foi 36,1°C, em 13 de outubro. Com relação à temperatura mínima, os valores médios para todos os meses de 2017 ficaram acima da média climatológica, com destaque para os meses de maio (15,4% acima da média climatológica) e outubro (12,2% acima da média climatológica)



Considerando a umidade relativa média anual, o ano de 2017 ficou abaixo da média climatológica (a média de 2017 é 79,5% e a média climatológica é 81,2%).

Em 2017, foram 83 dias com temperatura acima de 30,0°C (a média é de 49 dias). Como comparação, em 2016 foram 100 dias com essa característica (o segundo ano com mais dias quentes desde 1933; o ano com mais dias com essa característica foi 2014, com 109 dias).



(IAG/USP Boletim 2017)

São Paulo: 1933-2017

Para a temperatura média máxima, aumento de cerca de 2,1°C entre 1933-2017, desde que os registros se iniciaram; para a temperatura média mínima, aumento de aproximadamente 2,4°C entre 1933-2017 (IAG/USP, 2017).

	Temperaturas (°C): médias mensais												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1933	19.9	21.1	19.0	17.0	15.6	13.3	13.3	15.1	16.2	16.9	16.8	18.4	16.9
1934	20.6	21.1	20.3	18.7	16.5	15.6	13.7	15.2	16.2	16.3	18.8	19.5	17.7
1935	20.2	20.7	20.6	17.3	14.4	15.9	15.7	14.9	16.2	17.2	18.4	20.8	17.7
1936	21.4	19.7	19.5	18.5	18.8	17.0	14.9	14.0	15.4	17.6	18.0	19.9	17.9
1937	19.0	21.1	20.4	17.9	15.0	14.9	15.3	16.3	15.8	16.7	17.6	18.3	17.4
1938	22.5	20.7	21.2	18.4	15.8	14.7	14.2	14.9	16.4	17.3	18.5	19.6	17.9
1939	20.8	21.4	21.3	18.5	17.5	15.4	12.9	16.2	15.6	17.6	19.1	19.8	18.0
1940	21.4	19.8	20.9	20.1	17.8	15.9	16.4	16.4	16.2	17.3	18.3	22.6	18.6
1941	21.8	22.0	19.9	20.8	17.4	14.5	14.0	17.0	13.8	16.7	18.6	19.7	18.0
1942	20.7	21.5	20.7	18.3	15.9	14.5	11.6	14.8	15.3	17.1	18.4	18.3	17.3
1943	19.8	20.3	20.3	16.3	16.5	15.6	14.0	13.4	15.0	17.1	18.3	18.4	17.1
1944	21.2	20.2	20.7	17.0	15.3	15.0	12.9	15.9	17.1	19.7	17.6	19.2	17.6
1945	20.2	21.5	19.8	18.0	14.5	13.4	14.4	17.1	15.7	17.7	18.3	18.6	17.4
1946	20.8	22.6	19.9	17.3	17.8	14.8	13.8	16.6	17.8	18.4	18.9	19.8	18.2
1947	21.2	22.0	19.2	18.0	17.8	16.2	13.4	14.8	16.1	15.2	16.9	18.6	17.5
1948	22.0	21.4	19.0	18.4	16.3	15.2	16.2	14.1	16.7	16.7	18.7	19.4	17.8
1949	20.6	19.9	22.0	17.7	15.7	16.0	14.5	15.6	16.1	16.6	17.6	19.7	17.7
1950	20.5	20.8	20.6	18.8	17.5	16.1	14.8	17.0	17.1	16.9	17.8	20.0	18.2
1951	20.3	20.8	19.8	15.9	15.7	14.4	13.1	13.9	16.3	17.5	19.0	18.5	17.1
1952	20.7	20.0	20.5	17.1	16.7	15.2	14.9	16.7	16.0	18.0	19.0	19.8	17.9
1953	21.8	20.6	20.8	18.1	16.9	15.5	13.3	15.7	17.7	18.3	18.6	19.4	18.0
1954	22.1	21.6	20.8	18.2	16.6	16.3	15.6	16.4	17.7	17.8	18.6	19.6	18.4
1955	20.9	21.9	20.7	18.5	15.8	15.0	14.8	15.3	16.6	16.4	16.9	20.2	17.7
1956	23.4	21.2	20.2	18.2	15.0	13.4	13.9	13.7	17.7	17.1	16.8	19.1	17.5
1957	21.1	20.3	20.3	18.1	16.0	15.0	14.4	15.8	15.8	19.1	18.7	20.7	18.0
1958	21.5	22.1	20.0	17.8	16.1	15.4	16.0	17.9	16.8	18.3	20.5	21.5	18.7
1959	21.7	22.0	20.0	21.4	17.7	15.0	16.5	16.1	18.3	18.8	19.1	20.2	18.9
1960	20.1	20.3	20.1	18.4	14.8	15.0	15.1	17.0	17.2	19.7	19.2	20.5	18.1
1961	21.4	21.8	20.5	19.8	16.9	16.4	15.7	17.3	19.7	20.1	20.4	20.2	19.2
1962	20.2	20.5	20.7	18.2	15.4	13.6	13.2	15.2	17.1	16.7	18.6	19.4	17.4
1963	22.2	21.1	21.9	18.6	16.1	14.3	15.4	16.7	19.7	18.9	20.6	20.2	18.8
1964	20.3	20.8	20.4	19.4	15.9	14.2	12.7	16.3	17.3	17.0	17.6	19.2	17.6
1965	19.6	21.0	19.3	19.2	16.5	16.8	15.3	16.9	18.8	18.3	19.6	21.6	18.6
1966	22.0	23.0	20.9	19.0	17.0	16.6	16.5	15.6	16.0	18.1	18.8	20.8	18.7
1967	20.7	21.6	20.6	18.9	18.0	16.1	15.6	17.9	17.7	20.2	18.8	18.8	18.7
1968	20.8	19.9	20.4	16.8	14.2	14.5	14.2	14.5	16.2	17.7	19.9	21.4	17.5
1969	22.4	22.2	21.4	18.3	17.1	16.2	15.3	16.6	17.9	16.4	19.7	18.9	18.5
1970	20.8	21.4	21.5	19.2	18.7	17.3	15.1	15.5	16.3	17.4	17.7	22.0	18.6
1971	22.9	22.3	21.8	18.5	16.3	14.9	15.0	16.4	16.9	17.1	17.8	20.3	18.4
1972	21.7	21.1	21.7	17.6	17.7	17.7	15.4	17.0	17.5	18.7	19.8	21.2	18.9
1973	22.9	23.2	20.6	21.8	17.1	17.4	16.4	15.2	16.3	17.5	17.9	20.9	18.9
1974	21.5	22.3	21.0	18.1	17.2	14.8	15.8	16.6	16.8	17.2	19.4	19.7	18.4
1975	21.0	22.1	21.6	18.1	16.2	15.5	13.7	18.4	17.6	18.0	19.5	21.2	18.6
1976	22.3	20.7	20.8	18.9	16.5	15.3	14.8	15.8	16.1	17.4	19.5	21.1	18.3
1977	21.9	23.6	22.1	18.8	17.3	16.8	16.3	18.0	18.2	19.8	20.2	19.7	19.6
1978	22.2	21.9	21.7	18.1	15.8	15.2	16.5	15.5	17.1	19.2	19.8	20.7	18.6
1979	19.2	21.6	19.9	18.5	17.3	14.9	14.8	17.3	16.7	19.8	19.2	21.3	18.4
1980	20.7	21.7	22.9	19.9	18.7	15.4	16.3	16.9	15.7	19.3	19.5	22.5	19.1
1981	21.8	23.0	21.3	18.8	18.1	15.2	13.7	16.2	18.3	17.1	20.4	20.7	18.7
1982	19.8	22.5	20.4	17.9	16.3	17.7	16.5	17.4	17.4	18.9	21.3	20.2	19.9
1983	22.2	22.5	20.9	19.7	18.7	16.2	17.1	16.4	15.4	18.2	20.9	21.3	19.1
1984	23.5	24.0	21.1	19.1	19.5	17.3	16.8	15.3	16.4	19.6	20.3	20.3	19.4
1985	20.2	22.5	22.1	20.7	17.0	14.7	14.7	17.4	17.0	19.0	20.3	21.0	18.9
1986	23.0	22.4	21.6	20.6	19.1	16.2	15.1	17.3	16.9	18.6	21.2	21.3	19.4
1987	22.9	22.2	21.0	20.8	17.0	15.0	17.8	15.7	16.4	18.9	20.2	21.6	19.1
1988	23.4	20.9	21.7	19.6	17.1	14.6	12.9	16.5	18.6	17.8	18.9	21.0	18.6
1989	21.9	22.5	21.6	20.6	16.8	15.8	14.2	16.1	17.0	16.8	19.2	20.4	18.6
1990	23.0	22.4	22.6	21.9	16.8	15.6	14.1	15.2	16.2	20.0	21.9	21.0	19.2
1991	21.2	21.3	20.7	19.5	17.9	16.9	15.7	16.7	16.4	19.2	20.6	22.3	19.0
1992	21.8	22.5	21.9	20.2	19.0	18.0	15.4	15.3	16.8	19.1	19.7	20.6	19.2
1993	22.9	21.7	22.1	20.9	17.9	16.0	16.8	15.4	16.9	20.2	22.3	21.8	19.6
1994	21.6	24.0	21.2	20.0	19.0	15.9	16.5	16.2	18.8	20.3	20.9	22.7	19.8
1995	23.5	22.4	21.6	19.8	17.7	16.5	17.8	18.7	17.6	18.1	20.5	21.2	19.6
1996	23.2	22.6	21.7	20.3	16.8	16.0	13.9	15.5	16.8	19.2	19.7	22.1	19.0
1997	22.1	22.6	20.8	19.4	17.2	15.9	17.1	17.1	18.4	19.6	21.5	23.1	19.6
1998	23.9	23.6	22.5	20.6	17.1	15.6	16.0	18.4	18.1	18.2	19.2	22.0	19.6
1999	23.1	22.9	22.4	19.3	16.5	15.7	16.3	16.4	17.7	17.2	18.4	21.7	19.0
2000	22.0	21.6	20.9	19.8	17.3	17.3	14.6	16.2	17.4	20.9	20.5	21.9	19.2
2001	23.4	23.6	22.7	21.8	17.5	16.9	16.5	17.8	17.7	19.3	20.8	21.3	19.9
2002	22.3	21.4	23.6	22.2	18.9	18.6	15.7	19.2	17.1	22.0	21.4	22.6	20.4
2003	22.2	24.2	21.8	20.3	17.3	18.1	16.7	15.1	17.4	19.1	20.3	21.9	19.5
2004	20.7	20.8	20.3	20.6	16.7	16.0	15.3	16.3	19.9	18.6	20.2	20.6	18.5
2005	22.0	21.4	21.7	21.4	18.7	18.0	16.0	18.2	17.1	20.0	19.6	20.4	19.8
2006	22.6	22.8	22.4	19.7	16.1	16.2	16.9	17.4	17.4	19.1	20.1	22.0	19.4
2007	22.2	22.8	23.0	21.2	16.9	17.5	15.3	17.0	19.1	20.1	19.8	21.7	19.7
2008	21.1	22.1	21.5	20.2	16.8	16.4	16.1	17.6	17.0	19.8	19.6	20.3	19.0
2009	21.6	22.9	22.4	19.5	18.4	14.8	15.8	17.3	18.9	19.0	23.3	21.8	19.6
2010	22.9	23.8	22.2	19.7	17.8	15.6	17.4	16.4	17.8	18.9	21.1	22.0	19.5
2011	23.2	23.3	21.0	20.7	16.7	14.8	16.4	17.2	17.1	19.3	18.9	21.0	19.1
2012	20.7	23.4	21.6	20.5	17.4	17.0	16.4	17.8	18.9	21.1	20.0	23.7	19.9
2013	21.2	22.7	21.4	19.3	17.8	17.5	15.4	16.5	18.0	18.9	20.7	22.3	19.3
2014	24.2	24.3	22.3	20.0	17.6	17.4	16.1	16.9	19.0	20.2	20.6	22.5	20.1
2015	24.2	22.7	21.4	20.1	17.9	17.1	17.1	18.5	19.8	20.9	21.6	23.0	20.4
2016	22.3	23.7	22.5	22.6	17.5	14.5	16.3	16.7	17.5	19.5	19.9	22.3	19.8

	Umidade relativa (%): médias mensais												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1933													
1934													
1935													
1936	82.0	86.4	88.7	85.9	85.2	83.1	80.0	83.7	85.0	84.3	87.0	87.3	84.9
1937	80.0	87.5	85.6	80.8	88.5	86.3	81.8	79.8	82.7	88.1	88.1	88.3	86.4
1938	83.1	88.1	86.7	88.8	88.2	86.8	84.2	84.4	86.2	88.7	87.2	87.0	86.8
1939	87.1	84.3	85.9	87.8	87.4	83.8	85.3	75.8	85.4	80.3	85.2	87.0	84.6
1940	83.9	88.0	86.1	85.1	84.3	83.2	77.2	77.8	80.1	85.2	87.1	81.9	

Contexto climático, atual e futuro

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		MÉDIA
Presente	21,2	20,9	19,9	18,1	16,3	14,8	13,7	14,3	16,1	17,8	18,6	19,8		17,6
Futuro Próximo	21,8	21,9	20,8	19,0	17,3	15,5	14,8	15,4	17,5	19,0	19,4	20,5		18,6
Futuro Médio	22,8	22,7	21,9	20,2	18,4	16,8	15,9	16,8	19,4	20,3	21,2	21,9		19,9
Futuro Distante	24,4	23,6	22,8	21,1	19,7	18,0	16,6	18,3	20,5	22,4	22,3	23,1		21,1

Variação das temperaturas médias mensais nos cenários simulados pelo IAG-USP (ALVES, 2015; ALVES, DUARTE, GONÇALVES, 2015a; 2015b).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		MÉDIA
Presente	81,7	82,2	83,4	82,5	80,8	79,3	78,6	77,2	77,3	78,8	79,5	81,3		80,2
Futuro Próximo	81,9	83,1	83,5	82,2	80,5	79,7	78,6	77,6	77,2	78,2	80,6	81,5		80,4
Futuro Médio	82,2	83,6	83,4	82,9	80,6	79,9	78,9	77,4	74,4	78,4	80,2	82,1		80,3
Futuro Distante	81,7	82,1	83,0	81,8	80,4	79,1	79,3	75,9	71,3	72,4	79,0	80,9		78,9

Variação da umidade relativa mensal nos cenários simulados pelo IAG-USP (ALVES, 2015; ALVES, DUARTE, GONÇALVES, 2015a, 2015b).

Cidades como parte do problema e da solução

Amplificação do aquecimento global em curso nas cidades.

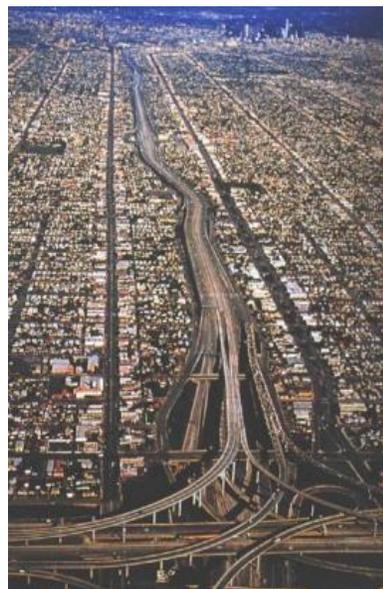
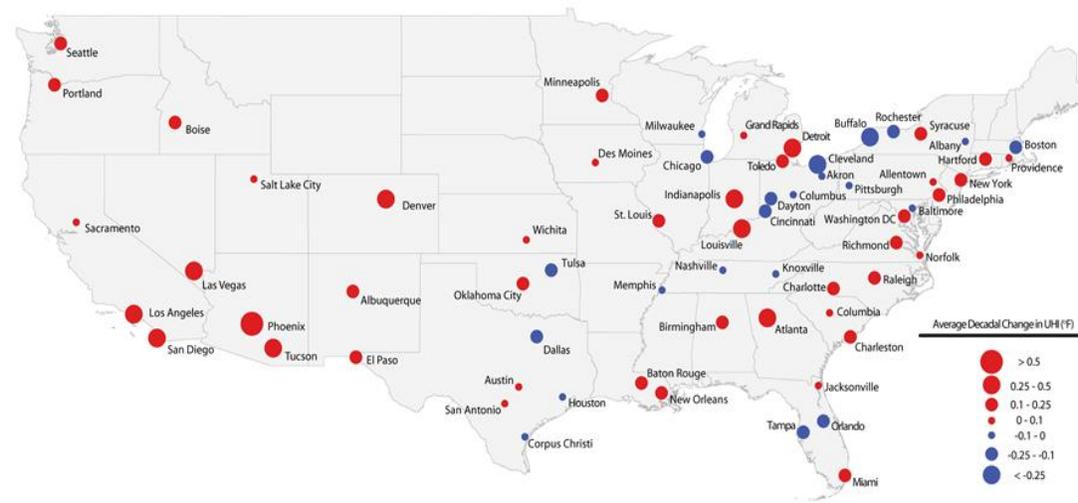
O aquecimento urbano também é função dos padrões de urbanização, e não somente do aquecimento global provocado pelas emissões. Os gases de efeito estufa não são o único agente do aquecimento e as ações de mitigação não podem ser somente nesta fronteira

Na RMSP, o aquecimento global gerado pelo aumento na concentração de gases de efeito estufa parece ser secundário, se comparado com o efeito da ilha de calor (NOBRE, YOUNG, 2011).

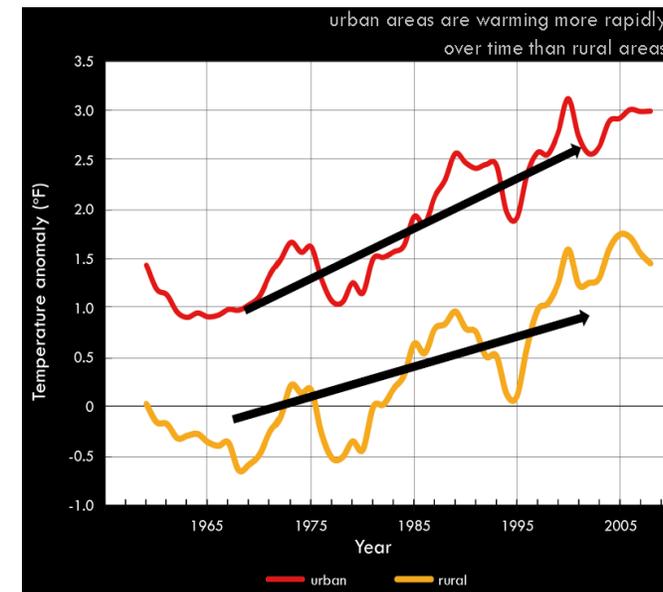
Cidades americanas vivenciando o aquecimento urbano com taxas maiores do que o aquecimento global. Forma de ocupação dos subúrbios, com baixa densidade de ocupação, mas com grandes áreas pavimentadas e supressão da vegetação

O fator mais determinante não é o tamanho da cidade, mas a ocupação do solo, mesmo com baixa densidade.

Para diferentes autores, a reintrodução de cobertura vegetal densa é a principal estratégia de adaptação para áreas urbanas.



Los Angeles, California



Five decades of meteorological observations recorded by weather stations located within and in proximity to 50 of the most populous U.S. cities

Cidades como parte do problema e da solução

Falta maior protagonismo das questões urbanas.

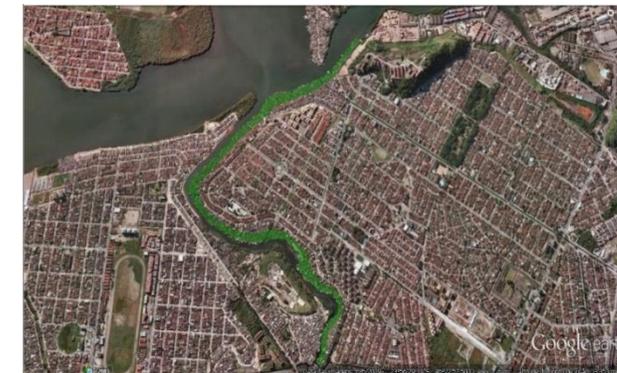
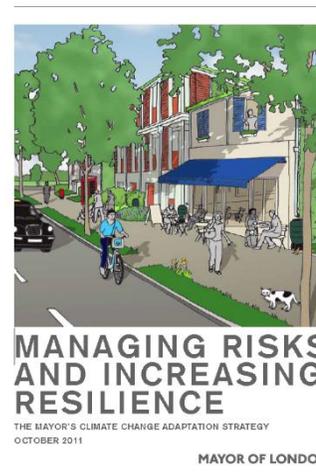
Ênfase na vulnerabilidade e nas ações de adaptação, que envolve o conjunto de ações que as cidades e as instituições terão que enfrentar em busca de soluções para os riscos que sofrerão.

Conhecer os riscos e seus impactos, portanto, é fundamental para propor medidas de adaptação que tornem as cidades mais resilientes.

Nova Iorque, Boston, Londres e Melbourne estão revisando seus planos diretores, códigos de edificações e demais legislações pertinentes.

Colapso de redes de infraestrutura urbana.

Aumento da dependência dos sistemas de condicionamento artificial.



Projeto de recuperação de manguezal está entre as medidas sugeridas por pesquisadores brasileiros e estrangeiros para enfrentar as consequências da elevação do nível do mar em Santos (*Projeto Metropole*)

