

Efeitos da vegetação nos microclimas urbanos

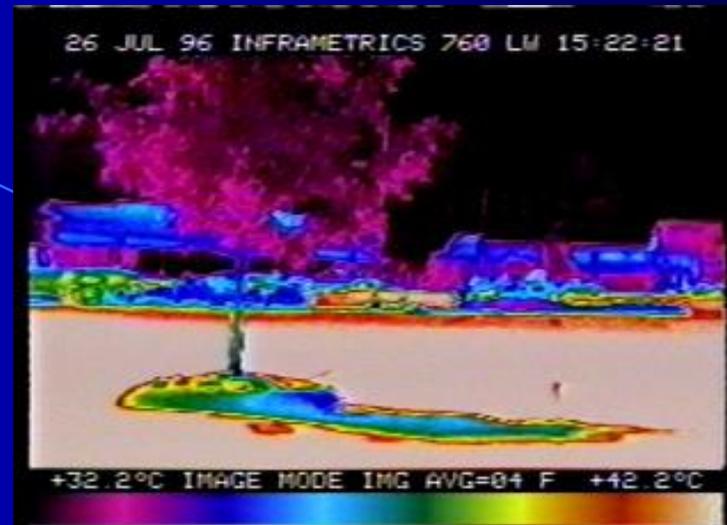
AUT0225 – Conforto Ambiental em Espaços Urbanos Abertos

Prof. Dra. Denise Duarte

Vegetação

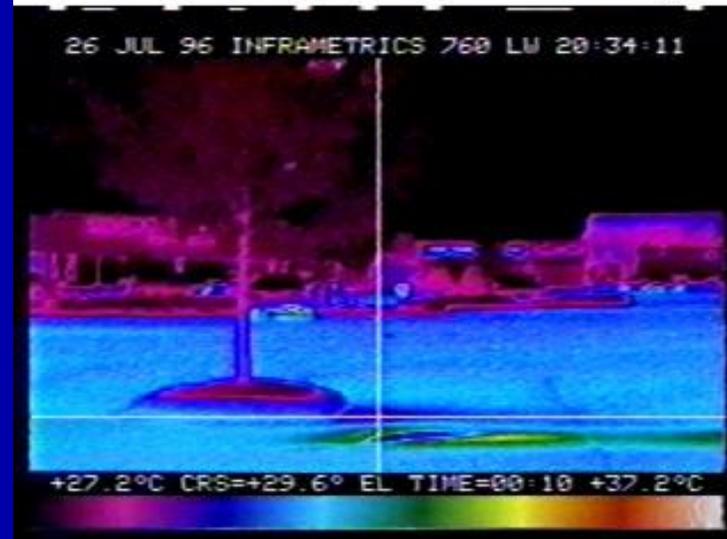
O acúmulo de energia na vegetação, diferente dos materiais inertes, acontece por dois mecanismos:

- físico
- bioquímico (resultante da fotossíntese e da troca de CO_2)



Day

Night

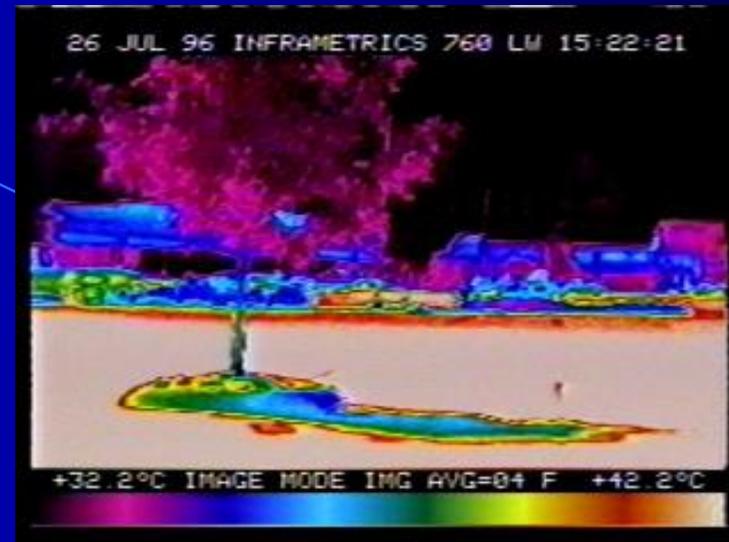


Vegetação

- a presença da vegetação influencia em dois mecanismos fundamentais para um menor aquecimento nas cidades:
 - o sombreamento
 - o processo de evapotranspiração das folhas

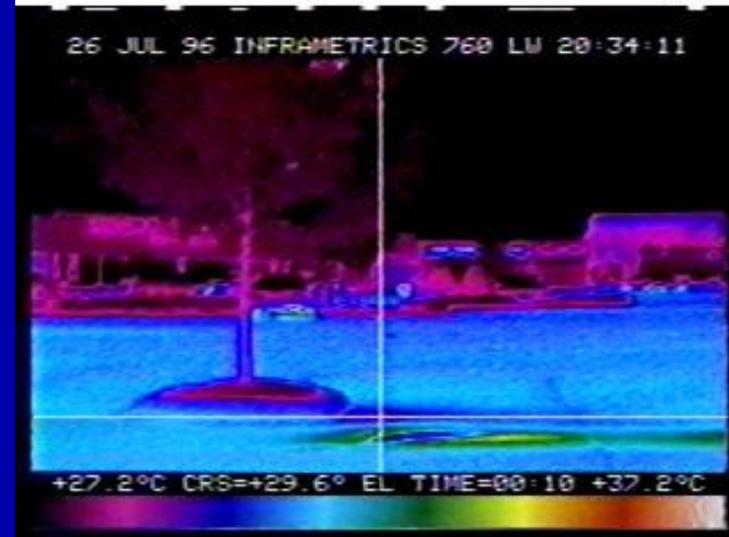
além de outros efeitos como:

- a retenção do material particulado (poluição)
 - o armazenamento do carbono atmosférico
- a vegetação não reduz as temperaturas diretamente, mas as folhas aquecem menos o ar, quando comparadas aos materiais inertes
- a vegetação é mais eficiente do que a substituição das superfícies por materiais de cor clara ou de alto coeficiente de reflexão, pois os materiais têm a capacidade de absorver e armazenar calor, e mesmo uma superfície de cor branca pode atingir 10°C acima da temperatura do ar ambiente.



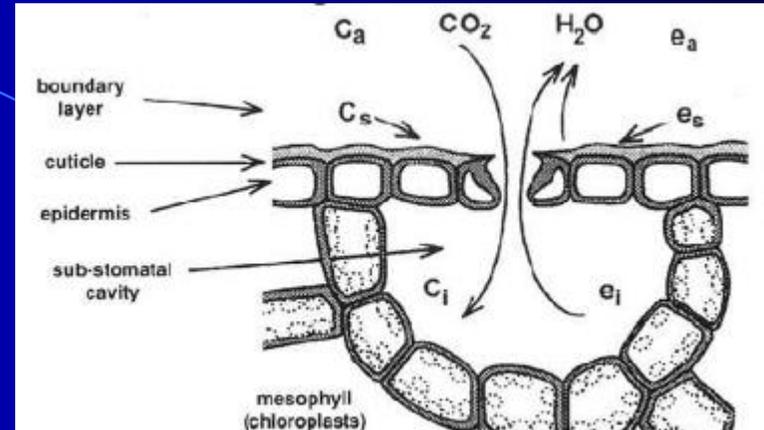
Day

Night

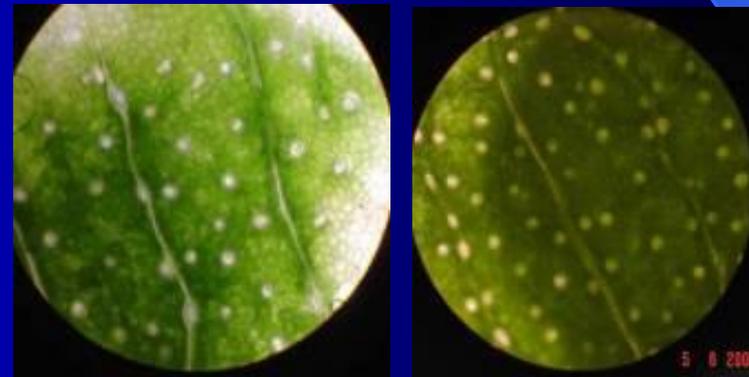


Evapotranspiração

- compreende as perdas associadas de água, que ocorrem pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração dos estômatos das plantas, que são poros localizados na superfície das folhas que fazem a ligação entre a atmosfera e o interior das plantas.
- essa transpiração é uma consequência da fotossíntese, uma vez que, durante o dia, os estômatos ficam abertos para receber e eliminar CO_2 , expondo, assim, a umidade do seu interior.
- nos dias quentes, a árvore funciona como um sistema de resfriamento evaporativo natural.
- maior quantidade de radiação absorvida é dissipada sob a forma de calor latente e não de calor sensível.



Trocas gasosas pela abertura dos estômatos na superfície da folha. Fonte: Oke (1978)



Presença de estômatos nas folhas (fotos: P. Shinzato)

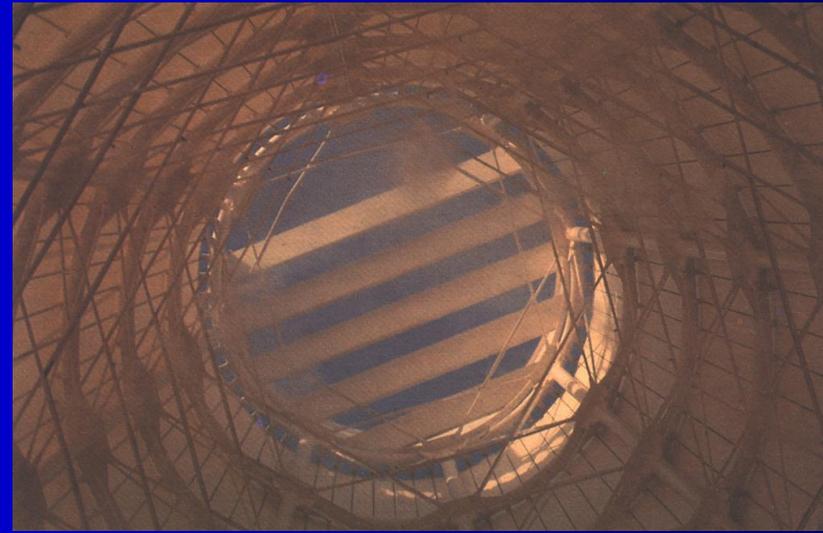
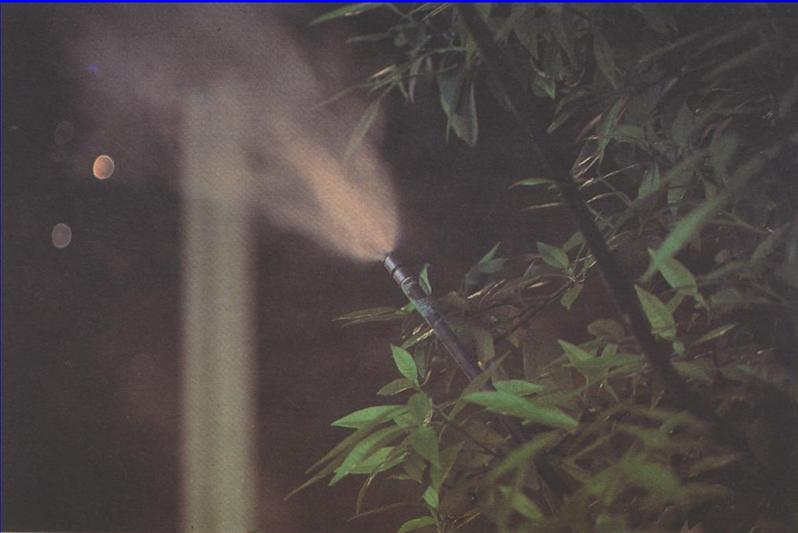
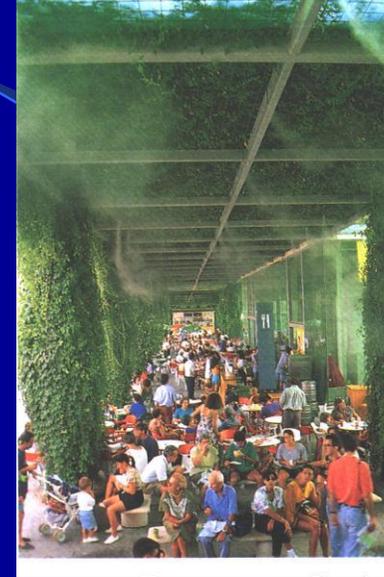
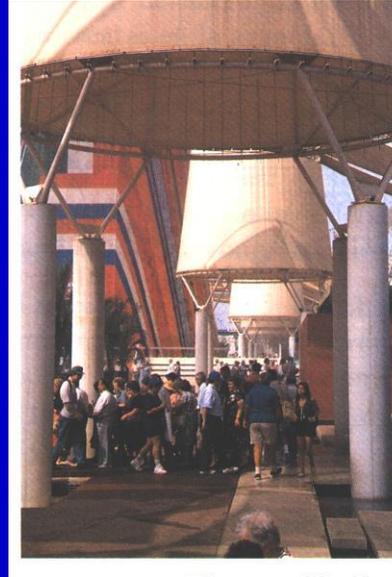
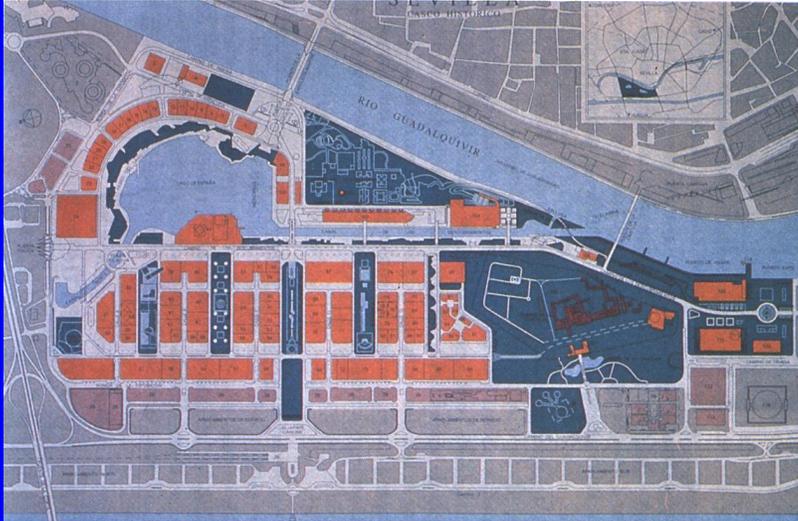
Evapotranspiração

- A capacidade das árvores de modificar as condições microclimáticas no seu entorno é função das estações do ano, do clima da região, do tamanho da área verde, do tipo de cobertura sobre a qual as árvores estão plantadas e da quantidade de cobertura das folhas.
- A disponibilidade de água é crucial para aumentar a transferência de calor latente pela vegetação.
- A superfície coberta com vegetação é a mais eficiente em transformar a energia. Assim quando maior a área de exposição das folhas, maior o efeito. Neste sentido o índice de área foliar (LAI – Leaf Area Index) tem uma relação direta com a quantidade de luz e energia e consumo de CO_2 .



Evapotranspiração

Expo Sevilha'92



Evapotranspiração

Canberra



Albedo da folha

- Altos valores de albedo reduzem a quantidade de radiação solar absorvida pelo material, mantendo a temperatura das superfícies mais baixas. A redução da temperatura das superfícies diminui a emissão de radiação de onda longa para a atmosfera.
- Um asfalto novo tem albedo entre 0.05-0,10; o albedo do cimento cinza fica entre 0.35-0.40, enquanto o albedo do cimento branco é de 0.70-0.80
- Os valores de albedo para as folhas variam entre 0.25 e 0.30



Emissividade da folha

No.	Folha	Valor de emitância	Características
1		0,722 2 folhas sobrepostas e dobradas ao meio = 4 camadas	Folhas grandes com aspectos próximos a folha no. 8, porém, mais espessa.
2		0,720 Sobreposição de várias folhas	Folhas finas, rugosas e 'aveludadas'.
3		0,844 2 folhas sobrepostas e dobradas ao meio = 4 camadas	Aspecto liso (como a folha 5), porém, não muito resistente e nem tão espesso.
4		0,761 2 folhas sobrepostas e dobradas ao meio = 4 camadas	Folhas de tamanho médio, leve rugosidade e lisa (como a folha 3).
5		0,813 2 folhas sobrepostas e dobradas ao meio = 4 camadas	A folha no. 4 é a mais espessa e firme dentre todas as analisadas. Além disso, é lisa e com aspecto 'encerado'.
6		0,757 As folhas foram destacadas e sobrepostas até cobrirem a área do cabeçote	Folhas pequenas, com características parecidas a da folha 5 (no entanto, menos espessas e firmes).
7		0,783 As folhas foram destacadas e sobrepostas até cobrirem a área do cabeçote	Aspectos semelhantes a da folha no. 4, contudo, suas folhas são menores.
8		0,777 As folhas foram destacadas e sobrepostas	Folhas pequenas (com aspectos parecidos a folha 3), no entanto, são mais finas.



Balanço de energia da vegetação

A equação que define o balanço de energia da vegetação é (Oke, 1978):

$$Q^* = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_P$$

Q^* = densidade de fluxo de radiação líquida em todos os comprimentos de onda

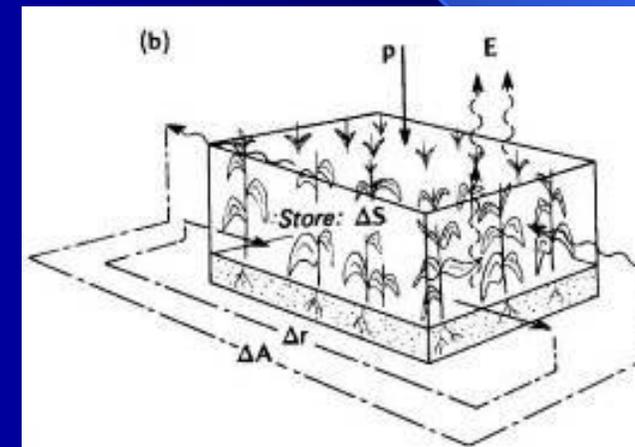
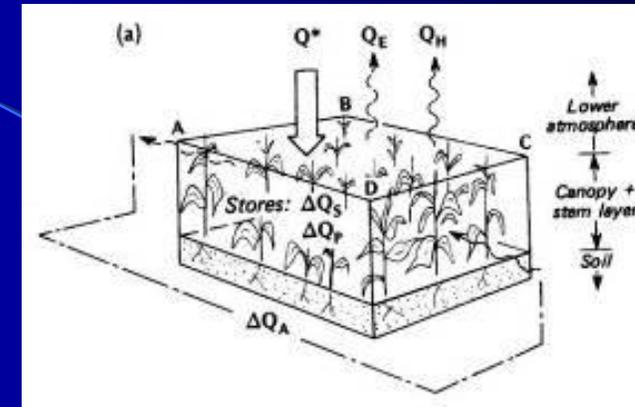
Q_H = densidade de fluxo de calor sensível turbulento

Q_E = densidade de fluxo de calor latente turbulento

ΔQ_S = taxa líquida do calor físico armazenado pelas substâncias do sistema

ΔQ_P = taxa líquida da energia bioquímica armazenada devido à fotossíntese

Além do balanço de energia é importante considerar o balanço hídrico que contabiliza toda a água envolvida entre os sistemas solo, planta e atmosfera



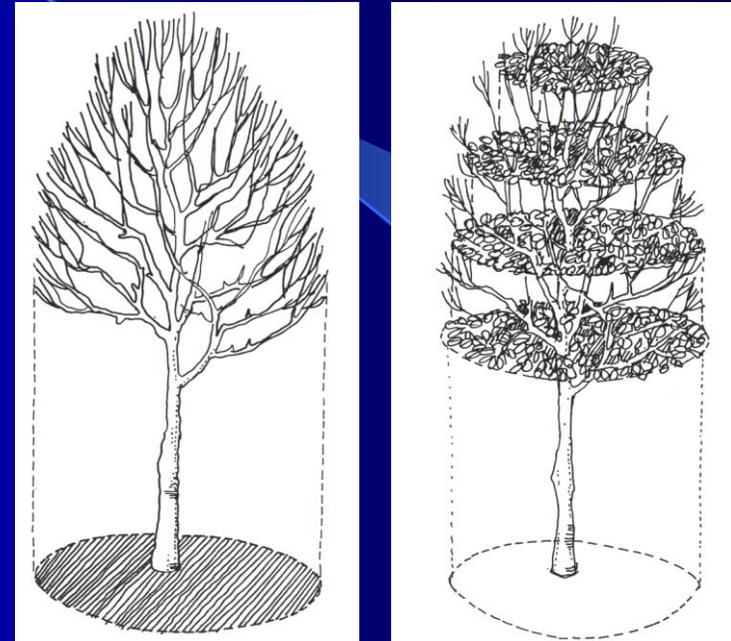
Fluxo esquemático envolvendo o balanço de energia da vegetação (a) e o balanço hídrico para o volume ar-planta-solo (b).
Fonte: Oke (1978)

Extinção da radiação solar em meio vegetal

- as trocas de energia e de massa entre coberturas vegetais e a atmosfera têm reguladores próprios na vegetação associados aos aspectos estruturais e fisiológicos que a caracterizam.
- as relações energéticas que originam e sustentam essas trocas são dirigidas por uma fonte primária de radiação solar, complementada pela radiação de onda longa dos elementos vegetais e do solo subjacente à cobertura.
- a atenuação da radiação solar em meio vegetal é um fenômeno físico de dupla utilidade:
 - por um lado, o conhecimento do perfil vertical no interior de uma cobertura vegetal permite a definição da distribuição de energia disponível nos diferentes estratos da vegetação e, por consequência, dos perfis verticais das fontes de calor e de vapor d'água na cobertura;
 - por outro lado, a estreita dependência existente entre essa atenuação e a distribuição espacial dos elementos vegetais constitui a base de apoio para uma grande parte dos métodos indiretos de caracterização de uma cobertura vegetal, especialmente pela determinação do *gap fraction* e do uso de sensoriamento remoto.

Índice de área foliar - IAF (Leaf Area Index - LAI)

- IAF : “half the total intercepting (nonprojected) area per unit ground surface area” (Chen e Black, 1992) ; dessa forma é calculado considerando-se metade do total da área fotossinteticamente ativa e sua área de projeção no solo
- é um número adimensional e um parâmetro-chave para se determinar uma série de processos ecológicos e fisiológicos como fotossíntese e evapotranspiração
- A definição completa da estrutura da copa também requer:
 - densidade de área foliar (LAD)
 - aglomeração (clumping index)
 - altura da copa
 - formato da copa (macrostructure shape)



Projeção do diâmetro da copa e exemplo de LAI -
Distribuição da quantidade de folhas em relação ao
diâmetro da copa.

Fonte: Townbridge e Bassuk (2004)

Métodos para determinação da estrutura da copa

Estimativa do LAI

- métodos destrutivos diretos: que se baseiam no cálculo da área média de folhas individuais coletadas e, a partir destes dados, estima-se o LAI para toda a copa da árvore;
- métodos não-destrutivos indiretos: envolvem cálculos a partir da atenuação da radiação pelo dossel da copa, a partir da análise da distribuição geométrica das aberturas entre as folhas (*Gap Fraction Distribution*).

Métodos indiretos para determinação da estrutura da copa

Estimativa do LAI

Gap fraction

1) fotos hemisféricas a partir do solo, sob céu encoberto, para estimar a fração do céu visível em diferentes ângulos

2) Uso do analisador de dossel, por ex: LAI2200 Plant Canopy Analyser

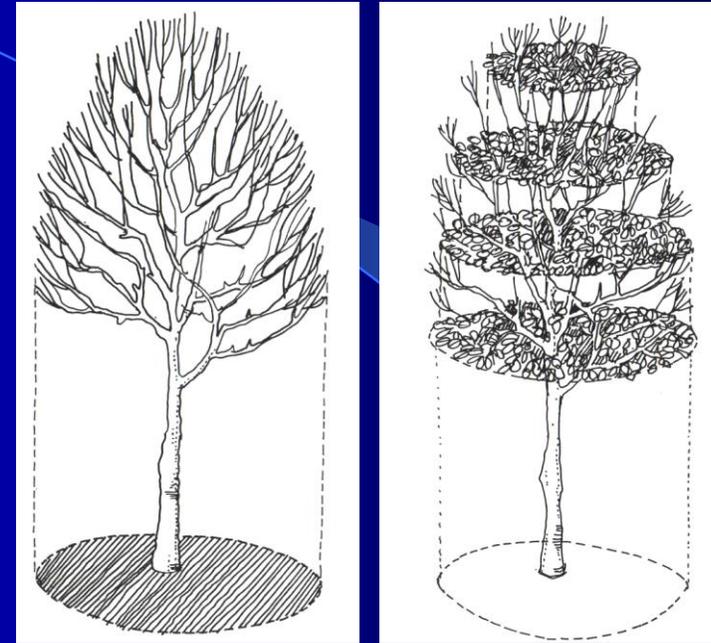
3) *Sunfleck area* estimada por ceptímetro (ceptometer). *“Sunflecks are the bright areas under the canopy where direct beam solar radiation penetrates without attenuation by the canopy. The fraction of the ground covered by sunflecks is a useful measurement for determining canopy cover.”*

Sensoriamento remoto

instrumentos manuais, acoplados em aviões ou satélites, que registram diferenças espectrais entre vegetação e solo, expressas por exemplo pelo NDVI = *normalized difference vegetation index* (razão entre refletâncias espectrais das superfícies para vermelho e infravermelho próximo), que podem ser usadas como uma medida da cobertura vegetal ou para se estimar o índice de área foliar

Índice de área foliar (LAI – Leaf Area Index)

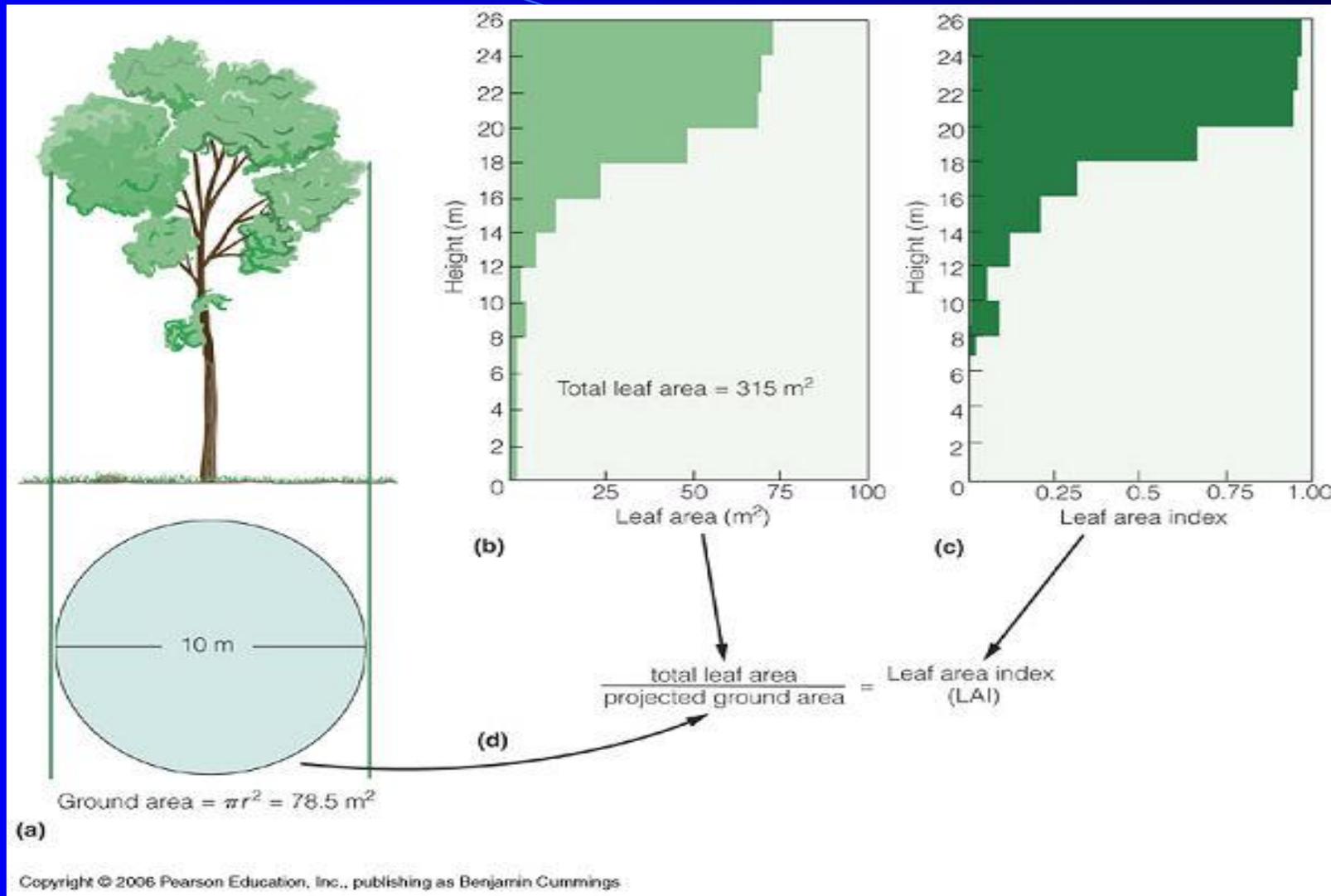
- o LAI é um número adimensional e ajuda a medir a taxa de crescimento da planta, influenciando diretamente na interceptação e absorção da luz na copa, assim como no balanço das trocas de calor e taxas de evaporação com a atmosfera;
- à medida que a planta vai crescendo aumenta o número de folhas para a fotossíntese, cresce a absorção de CO_2 , estimulando cada vez mais a evapotranspiração;
- esse índice possibilita a previsão das taxas de trocas de energia entre a vegetação e a atmosfera, a curva de crescimento futuro e as diferenças na estrutura da copa devido à poluição do ar e mudança climática;



Projeção do diâmetro da copa e exemplo de LAI - Distribuição da quantidade de folhas em relação ao diâmetro da copa.

Fonte: Townbridge e Bassuk (2004)

Índice de área foliar (LAI – Leaf Area Index)

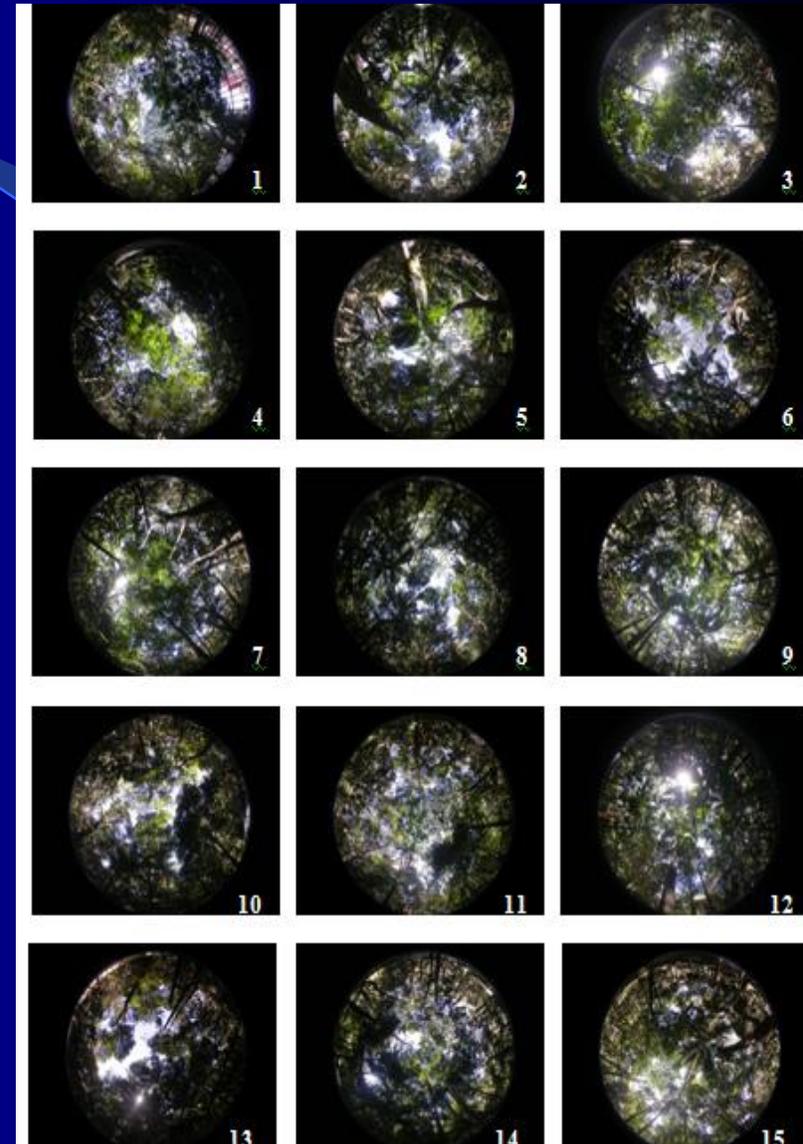
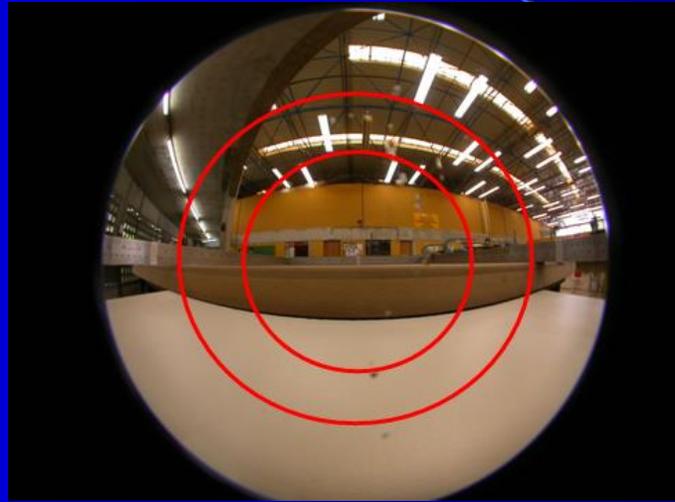


Fonte: Pearson Education, Inc. Disponível em: <

http://morriscourse.com/elements_of_ecology/chapter_4.htm >. Acesso em junho de 2012

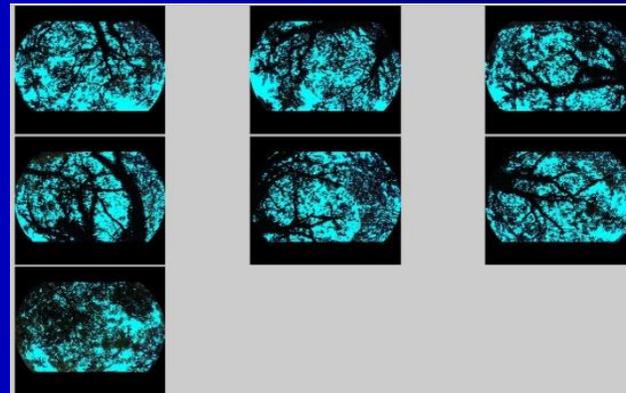
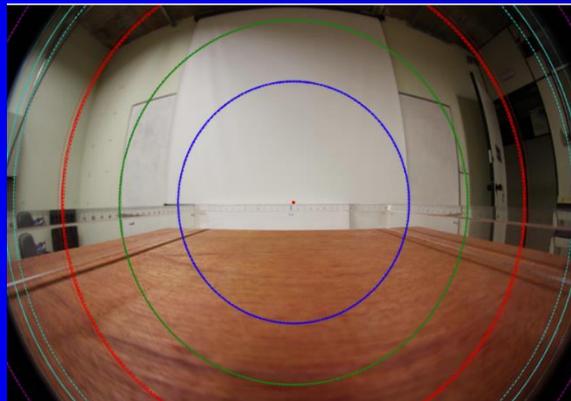
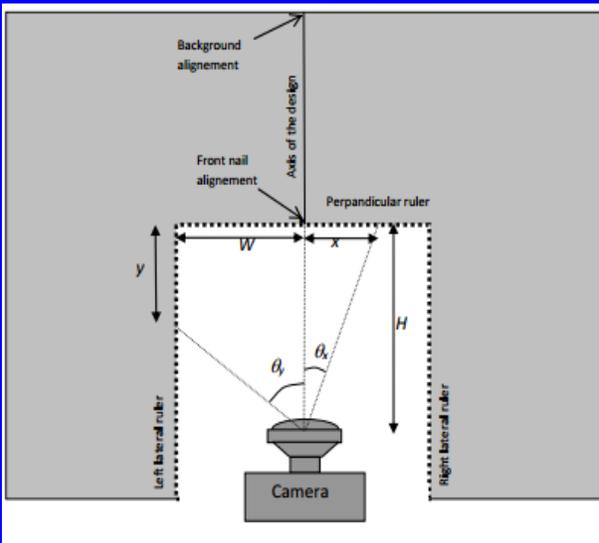
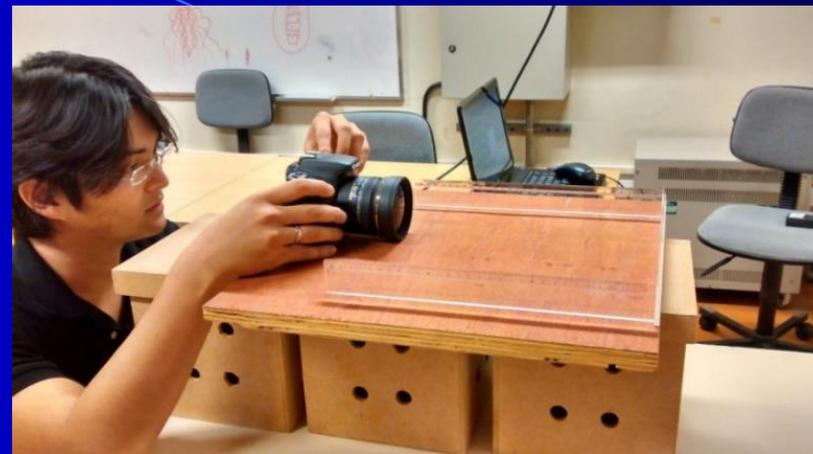
Estimativa do LAI

método de fotos hemisféricas / calibração Can-Eye



Estimativa do LAI

método de fotos hemisféricas / calibração Can-Eye

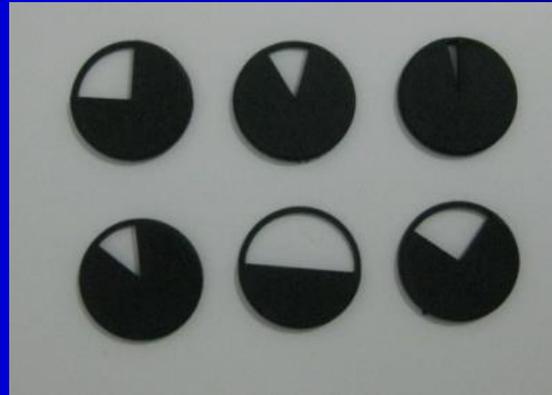


Distinção entre céu e vegetação pelo software CAN-EYE

Estimativa do LAI e do LAD

LAI 2000/2200 Plant Canopy Analyser

pode-se deduzir os valores de LAD baseados nas medidas de LAI ao longo da copa. o LAD é calculado segundo a diferença entre o LAI medido a uma altura (H) e o valor do LAI a uma altura (H-1m)



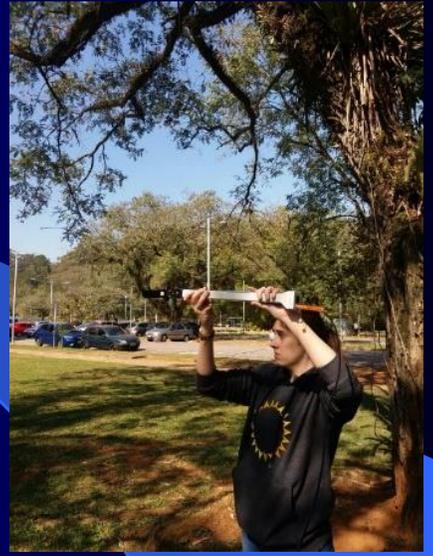
equipamento que calcula o LAI pelas medidas de radiação feitas com um sensor ótico acoplado a uma lente grande angular

considera a distribuição das folhas de forma aleatória, o que gera uma baixa estimativa quando as folhas estiverem mais agrupadas ou sobrepostas.

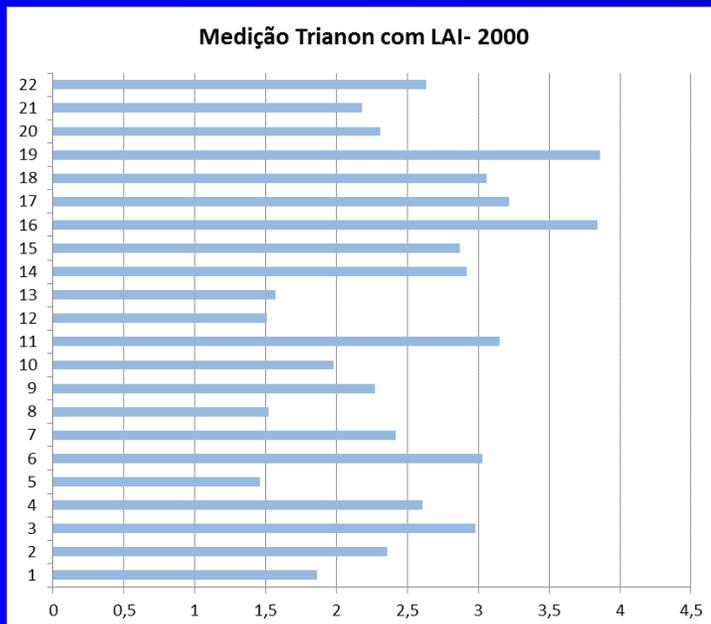
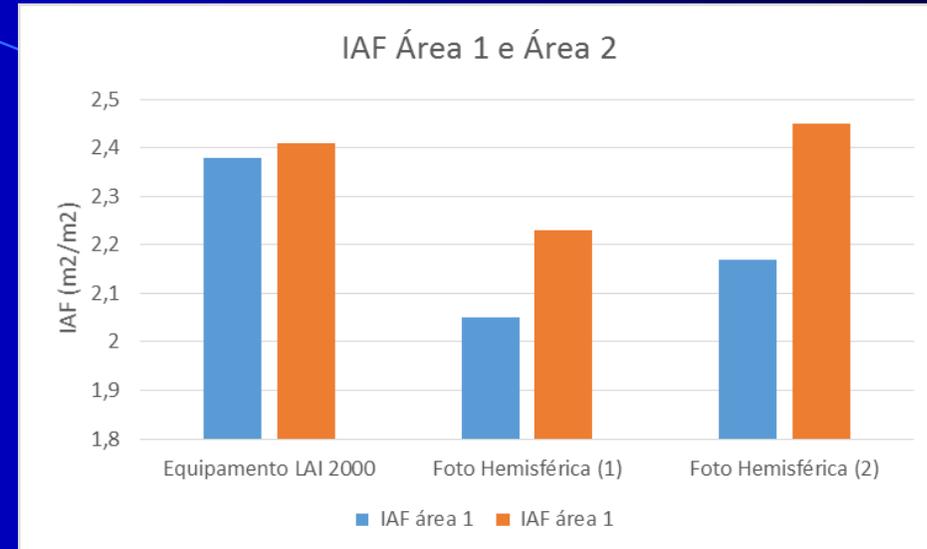
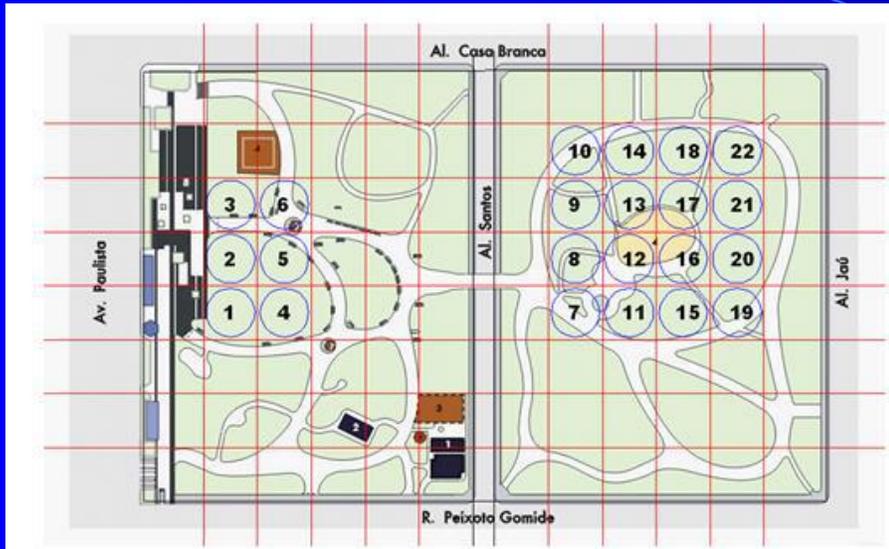
os cálculos são precisos apenas para a luz indireta que atravessa a copa, sendo que a luz direta induz a erros nessas estimativas

Estimativa do LAI e do LAD

LAI 2200 Plant Canopy Analyser



Medições de LAI – Parque Trianon



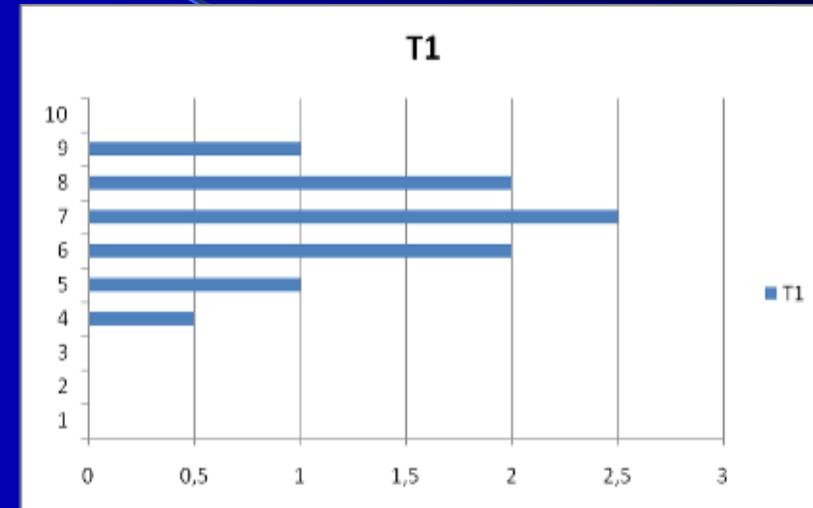
Valores de IAF para áreas 1 e 2 do Pq. Trianon, com os 2 métodos de medição.

o IAF medido pelo LAI- 2000 costuma ser superior em relação aos cálculos feitos pelo Can-Eye, uma vez que o equipamento acaba considerando não só as folhas, mas outros elementos da vegetação como tronco, galhos, flores. Nesse caso, o modelo computacional permite o ajuste da imagem e o mascaramento de áreas indesejadas.

Os valores de IAF variaram de 1,46 a 3,86.

Densidade de área foliar (LAD - Leaf Area Density)

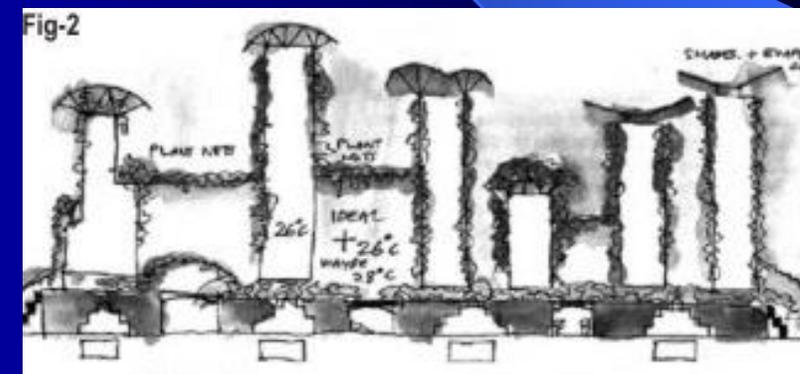
- é determinada pela distribuição vertical das folhas em camadas horizontais;
- é definida pela relação entre a área de folha pela quantidade total de folhas em 1m^3 de copa;
- para um determinado tamanho de copa, a área total das folhas depende da média do LAD e de sua distribuição, sendo uma importante influência no regime de transmissão e absorção de radiação solar;
- a distribuição espacial do LAD é o parâmetro-chave para se descrever as características das copas de árvores e mostrar o impacto no seu balanço de radiação e trocas de energia com a atmosfera;
- os valores de LAD, além de indicarem processos fisiológicos da planta, também informam sobre a atenuação da radiação solar.



Perfil do LAD para uma árvore com LAI = 10. No eixo x os valores de LAD e no eixo y a altura da cada camada, em metros.

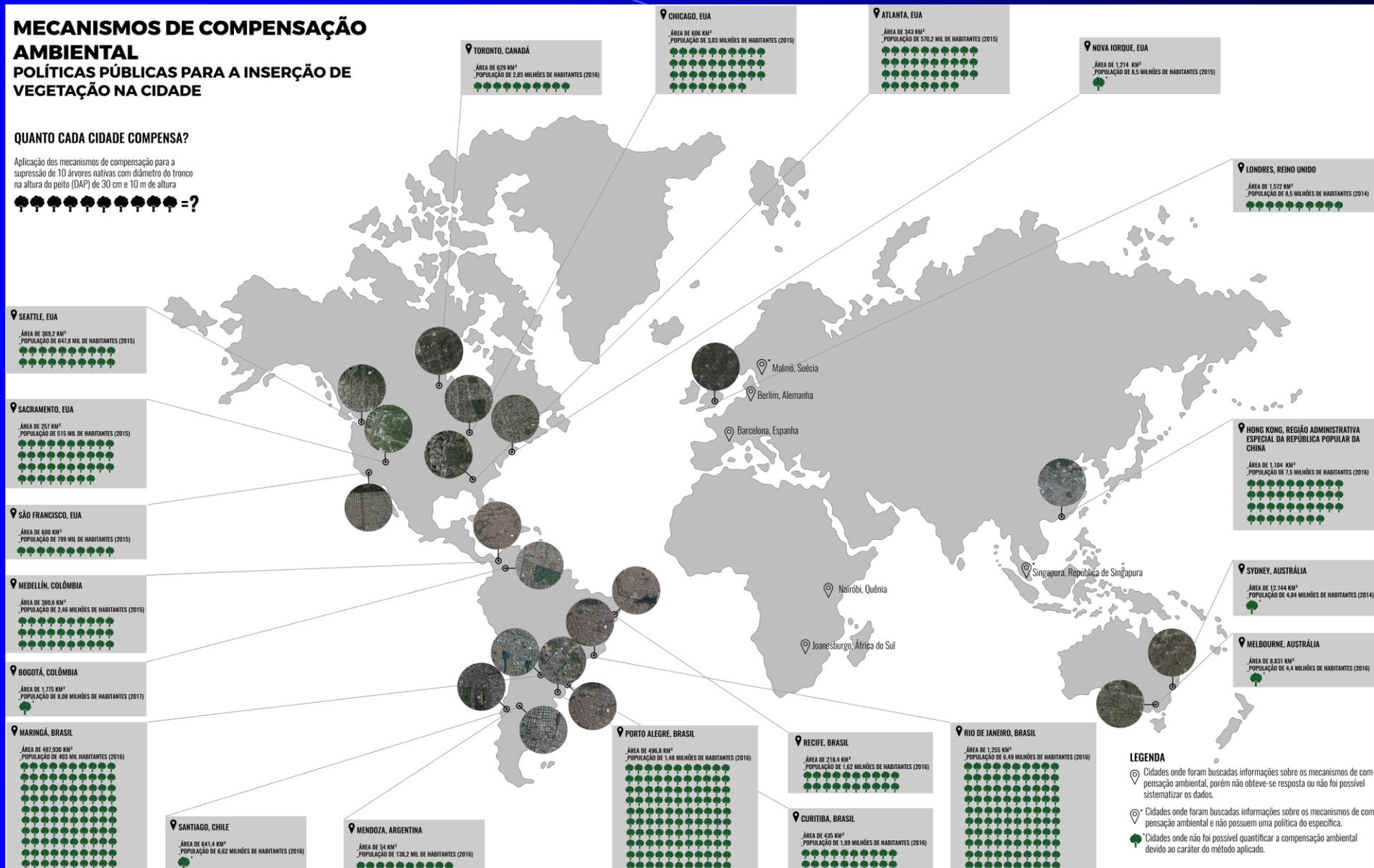
LAI – Leaf Area Index e GPR – Green Plot Ratio

- O LAI tem aplicações práticas no planejamento como no conceito do *Green Plot Ratio* – GPR (média do LAI em uma determinada área arborizada);
- O conceito de Green Plot Ratio é a combinação do LAI com o coeficiente de aproveitamento (Building plot ratio - BPR);
- Para um gramado, por exemplo, o green plot ratio é 1:1. O LAI, neste caso é 1 e o GPR correspondente é 1:1;
- GPR equivale à relação da área total de folhas existentes pela área total no solo.
- O GPR é um indicador do efeito da vegetação mais efetivo do que o cálculo da cobertura vegetal, pois está diretamente relacionado com as folhas que realizam fotossíntese (Ong, 2002).

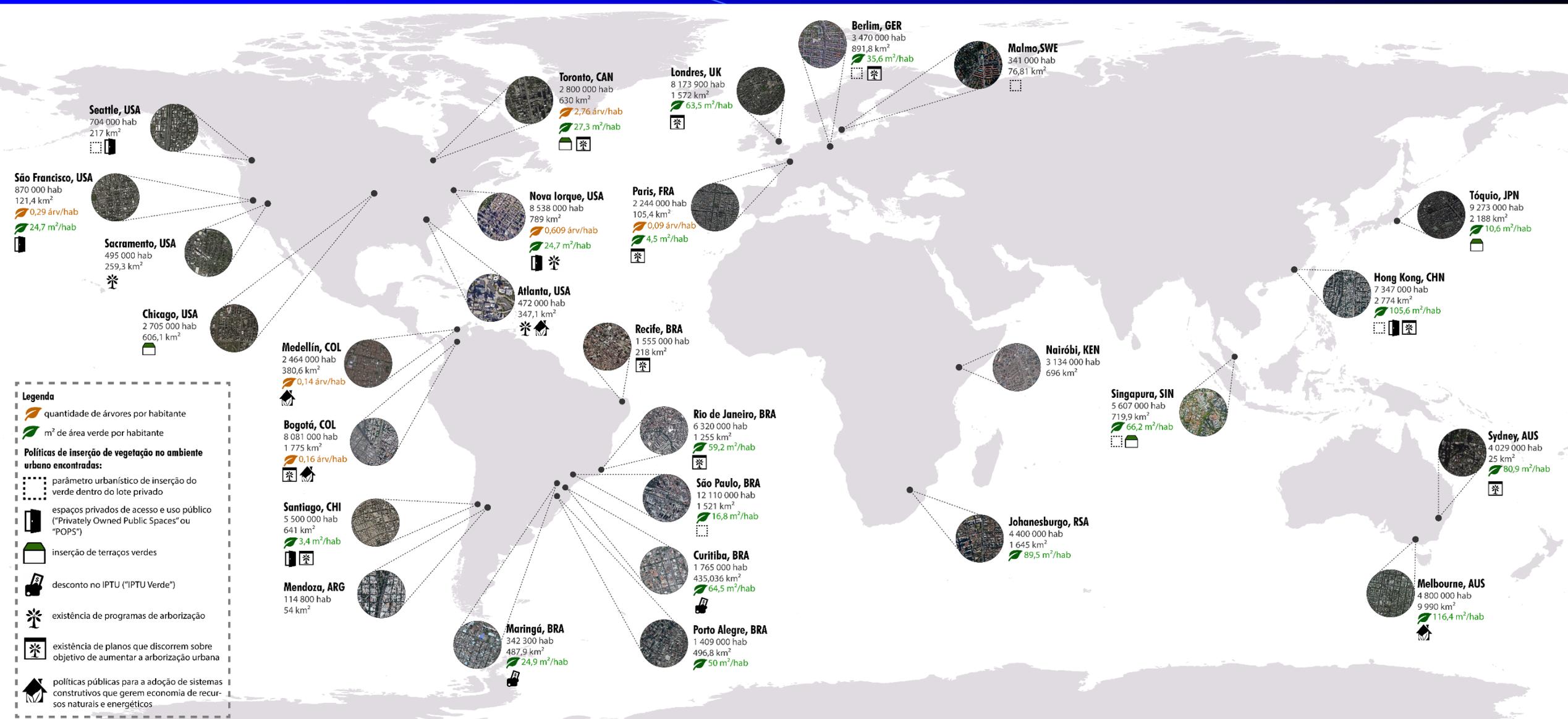


Distribuição da vegetação mantendo-se a mesma densidade foliar
Fonte: ONG (2002).

Políticas públicas para a inserção de vegetação nas cidades: o mecanismo de compensação ambiental para o espaço público e privado



Políticas públicas para a inserção de vegetação nas cidades: os indicadores de vegetação para o espaço público e privado e a quota ambiental em São Paulo



Políticas públicas

GPR – Green Plot Ratio



Newton Suites como GPR = 1.3

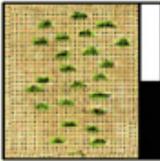
Fonte: WOHA. Disponível em: < www.woha-architects.com/ >. Acesso em junho de 2012

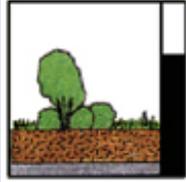
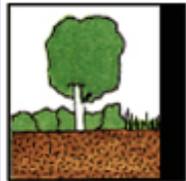
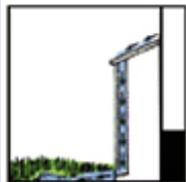
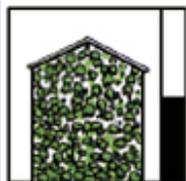
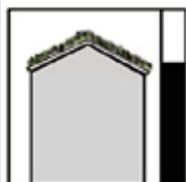


Hotel ParkRoyal | Fonte: Blogs Design You Trust e Wall Street Jornal

Políticas públicas

Biotope Area Factor - Berlim

Weighting factor / per m ² of surface type	Description of surface types
 <p>Sealed surfaces 0.0</p>	Surface is impermeable to air and water and has no plant growth (e.g., concrete, asphalt, slabs with a solid subbase)
 <p>Partially sealed surfaces 0.3</p>	Surface is permeable to water and air; as a rule, no plant growth (e.g., clinker brick, mosaic paving, slabs with a sand or gravel subbase)
 <p>Semi-open surfaces 0.5</p>	Surface is permeable to water and air; infiltration; plant growth (e.g., gravel with grass coverage, wood-block paving, honeycomb brick with grass)
 <p>Surfaces with vegetation, unconnected to soil below 0.5</p>	Surfaces with vegetation on cellar covers or underground garages with less than 80 cm of soil covering

 <p>Surfaces with vegetation, unconnected to soil below 0.7</p>	Surfaces with vegetation that have no connection to soil below but with more than 80 cm of soil covering
 <p>Surfaces with vegetation, connected to soil below 1.0</p>	Vegetation connected to soil below, available for development of flora and fauna
 <p>Rainwater infiltration per m² of roof area 0.2</p>	Rainwater infiltration for replenishment of groundwater; infiltration over surfaces with existing vegetation
 <p>Vertical greenery up to a maximum of 10 m in height 0.5</p>	Greenery covering walls and outer walls with no windows; the actual height, up to 10 m, is taken into account
 <p>Greenery on rooftop 0.7</p>	Extensive and intensive coverage of rooftop with greenery

$$BAF = \frac{\text{ecologically-effective surface areas}}{\text{total land area}}$$

AEE



AEE = Área x Fator de ponderação

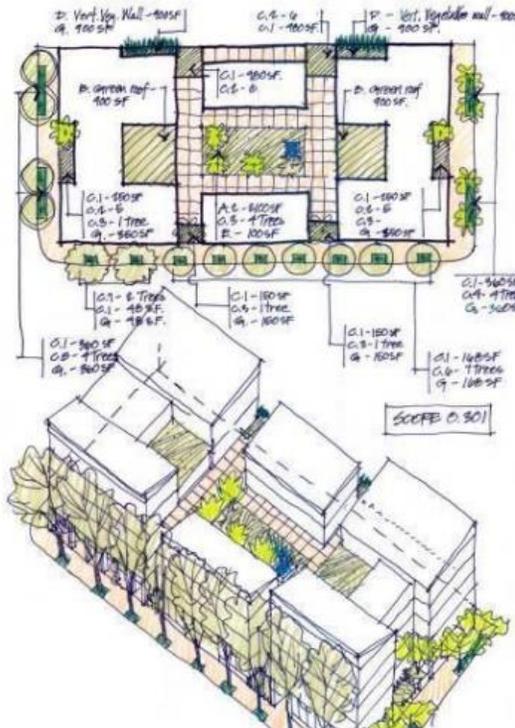
Políticas públicas

Seattle Green Factor (SGF)

sistema de pontuação relacionado ao paisagismo de lotes, que é exigido desde 2006 para todos os tipos de uso, exceto residências unifamiliares, com objetivo de melhorar a quantidade ambiental da cidade.

Da mesma forma que o Biotope Area Factor (BAF), o Seattle Green Factor (SGF) atribui fatores de ponderação diferenciados de acordo com a característica do substrato da vegetação, a existência de coberturas verdes e a permeabilidade dos pavimentos externos. Entretanto, ele vai além do BAF ao introduzir no seu cálculo outros aspectos relacionados ao porte da vegetação proposta (Canopy Spread¹) e à existência no projeto de sistemas de biorretenção ou de estruturação do solo, que aumentam a capacidade de infiltração da água pluvial.

What is Seattle Green Factor?



Zoning Code with Branding

- **Code Requirement in updated Zones**
- **Requires minimum 'Score' by Zone type:**

▪ C / NC:	0.30
▪ MR / HR:	0.50
▪ LR:	0.60
▪ South DT Area:	0.30
▪ IC in Urban Centers:	0.30
- **'Score' correlates to % of site that should be 'Green', i.e.:**
C/NC → 0.30 → 30% 'green'



Políticas públicas

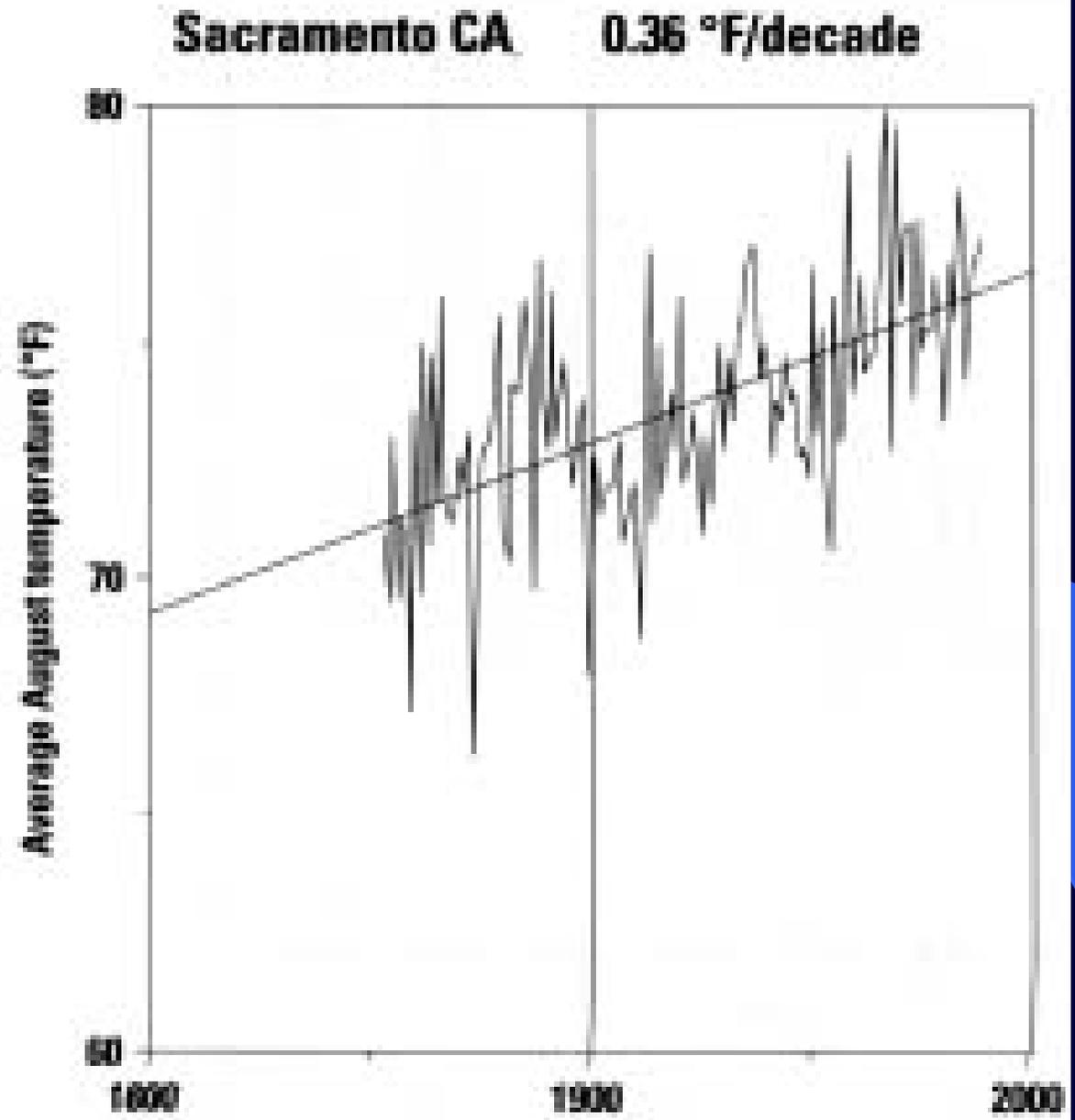
Sacramento Shade

- Parceria entre SMUD – Sacramento Municipal Utility District e STF - Sacramento Tree Foundation
- Maior programa de arborização urbana nos EUA - início em 1990. Programa de longo prazo para plantação, gestão, educação e participação comunitária.
- Investimento de US\$2 milhões/ano
- Meta: reduzir a carga de refrigeração nas cidades (energy and peak capacity) + benefícios por sombreamento direto dos edifícios



Políticas públicas

Sacramento Shade



Based on data from Goodridge, 1989

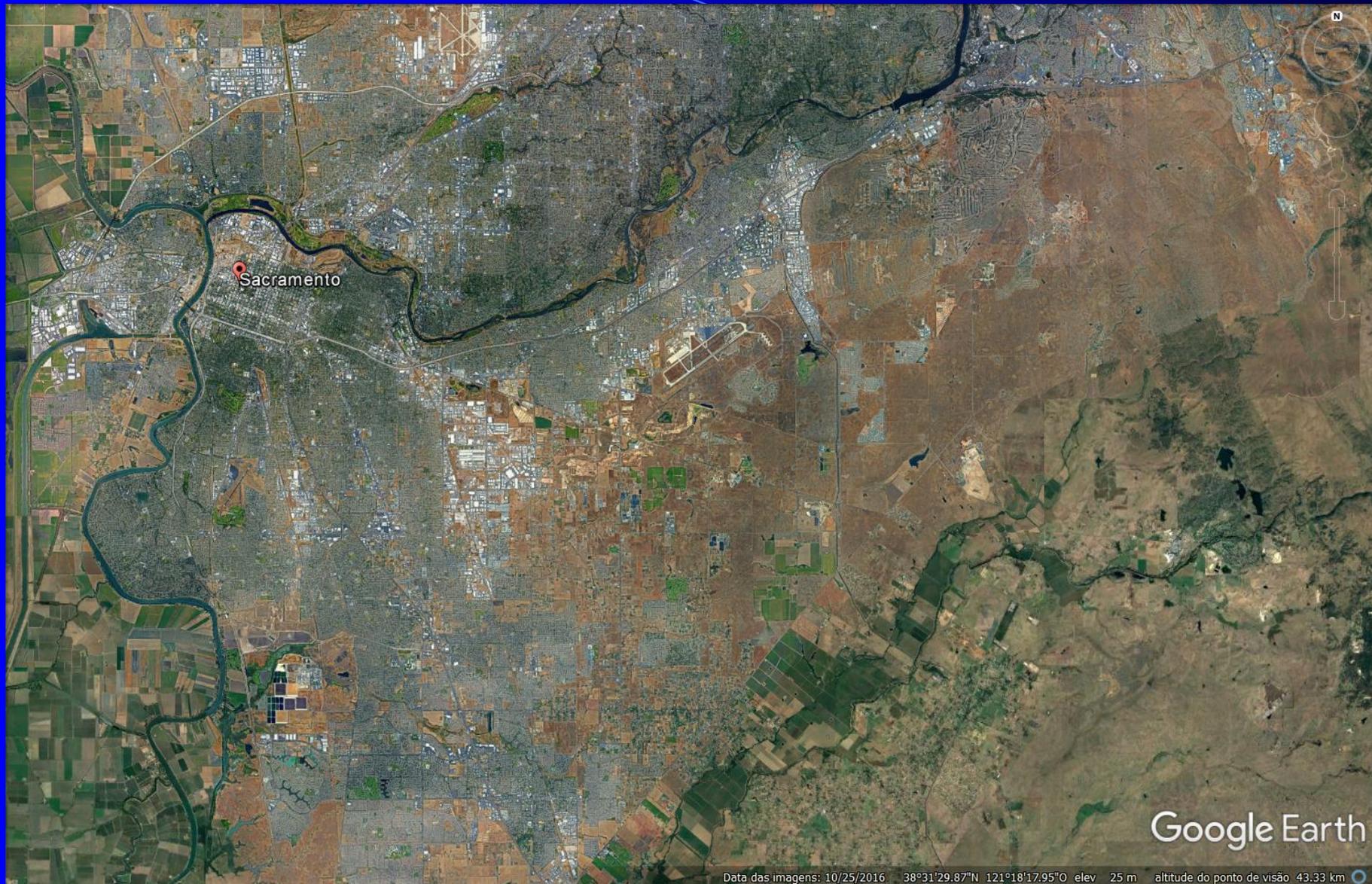
Políticas públicas

Sacramento Shade



Políticas públicas

Sacramento Shade



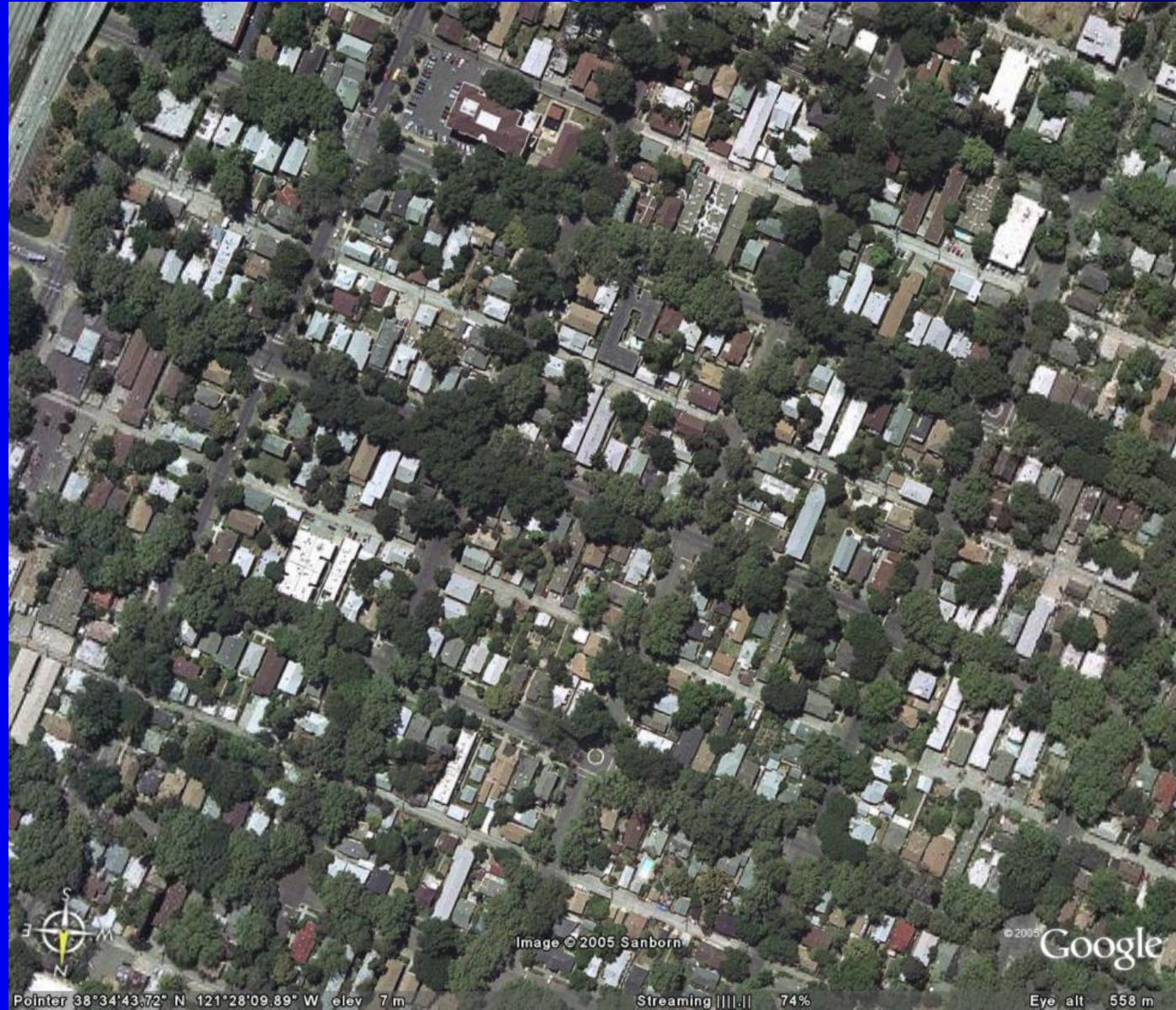
Políticas públicas

Sacramento Shade



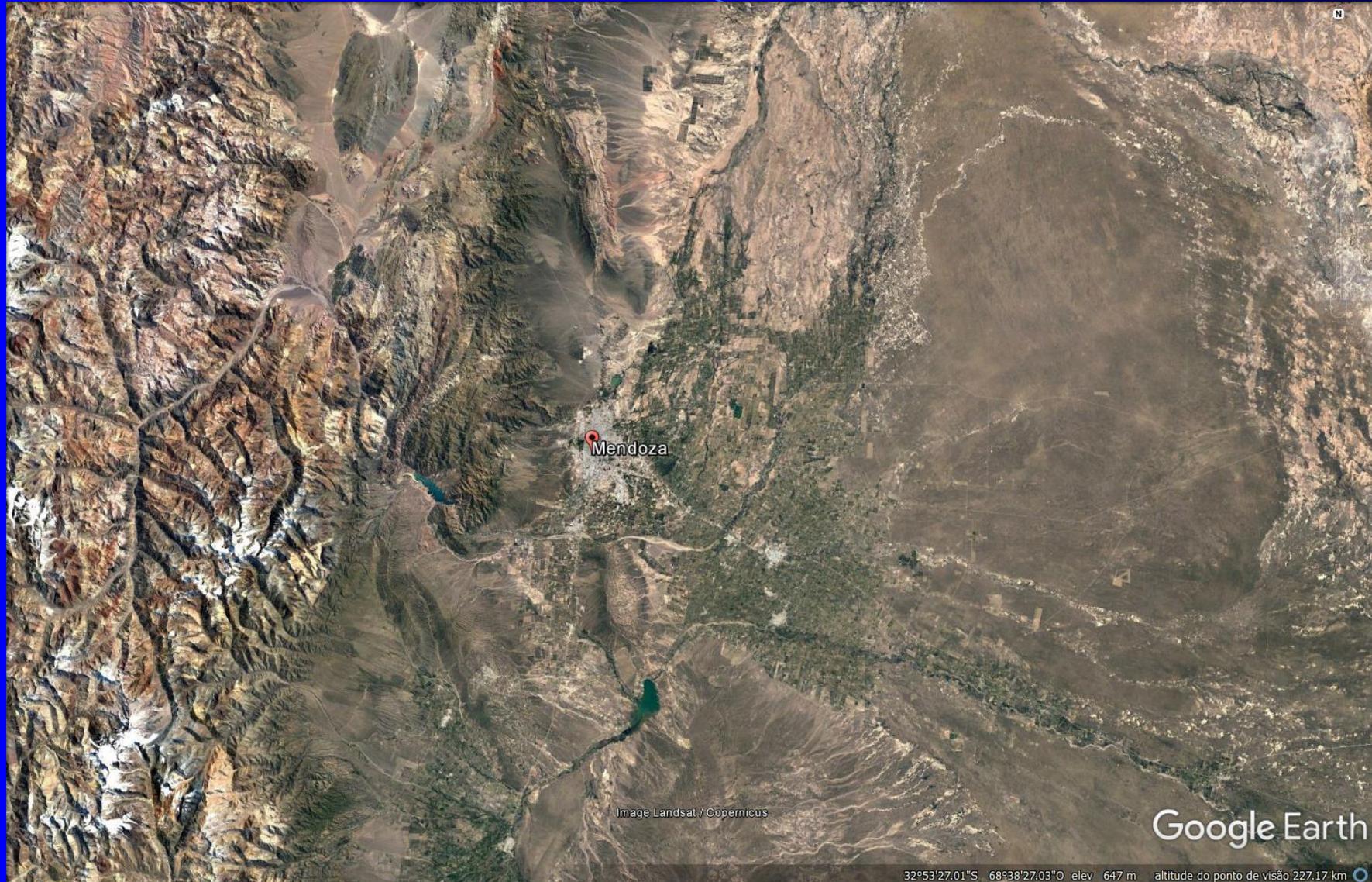
Políticas públicas

Sacramento Shade



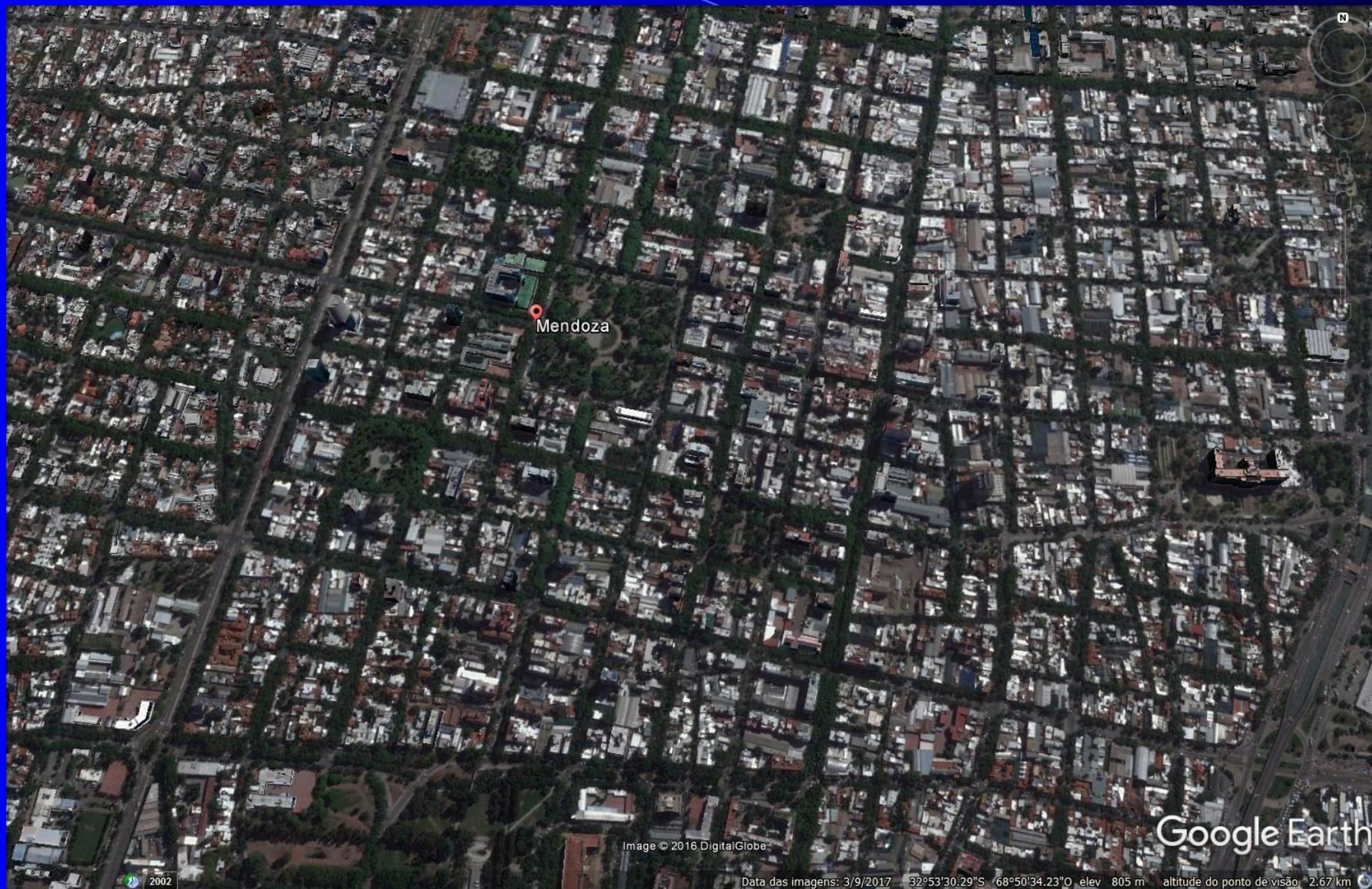
Políticas públicas

Mendoza, Argentina



Políticas públicas

Mendoza, Argentina



Políticas públicas

Mendoza, Argentina

