Acomodação Sustentável do Crescimento Urbano das Cidades Paulistas

CCD USP CIDADES

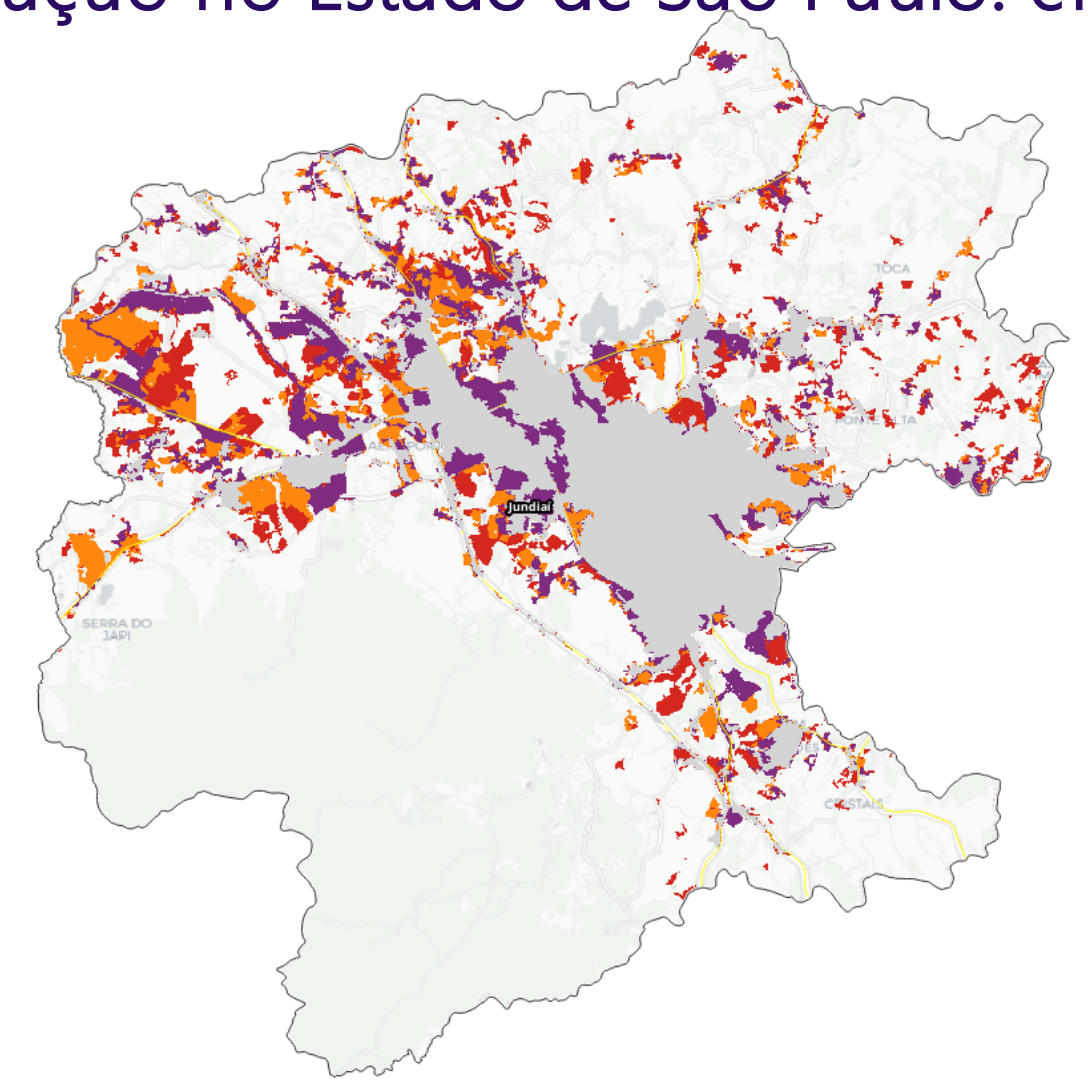
Dinâmica urbana:
Aspectos ambientais e de Caminhabilidade

3ª Seção - Ambiental e Caminhabilidade (FAUUSP/POLIUSP)
Coordenação: Profª Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo
e Profª. Roberta Consentino Kronka Mulfarth
Dinâmica urbana, aspectos ambientais, caminhabilidade e custos

Organização:

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
Governo de São Paulo
USPCIDADES
FAUUSP
FEAUSP
UFC

Urbanização no Estado de São Paulo: cidade de Jundiaí



- **população paulista entre 1991 e 2022 aumentou 53,8%**
- **a área urbanizada expandiu-se em mais de 95,1%**
- **urbanização avançou em ritmo superior ao crescimento demográfico**

LEDEND
- *Urban Occupation 1985*
- *Urban Occupation 2000*
- *Urban Occupation 2010*
- *Urban Occupation 2024*
- *Municipal boundaries of the Immediate Regions*
- *Roads*

Fonte: População (Censos – IBGE); Área urbana (MapBiomas);

Cartography: Tavares, S. R.
Basemap: Carto Positron

3. Impactos Ambientais

- Conversão de áreas naturais em áreas urbanizadas
- Supressão de vegetação
- Fragmentação de habitats
- Perda de biodiversidade
- Ocupação de áreas ambientalmente frágeis
- Pressão sobre mananciais de abastecimento público

4. Mudanças Climáticas e Emissões

- Mais viagens motorizadas
- Maior consumo energético
- Mais emissões de CO_2
- Mais poluição atmosférica

Consequências potenciais do Espraiamento Urbano

EFEITOS DO ESPRAIAMENTO URBANO SOBRE:

- ➔ Fragmentos florestais e serviços ecossistêmicos
- ➔ Poluição do ar
- ➔ Recursos Hídricos
- ➔ Adaptação às mudanças climáticas e justiça ambiental

Uso de geotecnologias, análises de dados espaciais e SIG

Como o espraiamento urbano afeta a dinâmica dos ambientes naturais e a oferta dos serviços ecossistêmicos?



Foto: https://portaljapy.com.br/a-regiao/serra-do-japi/

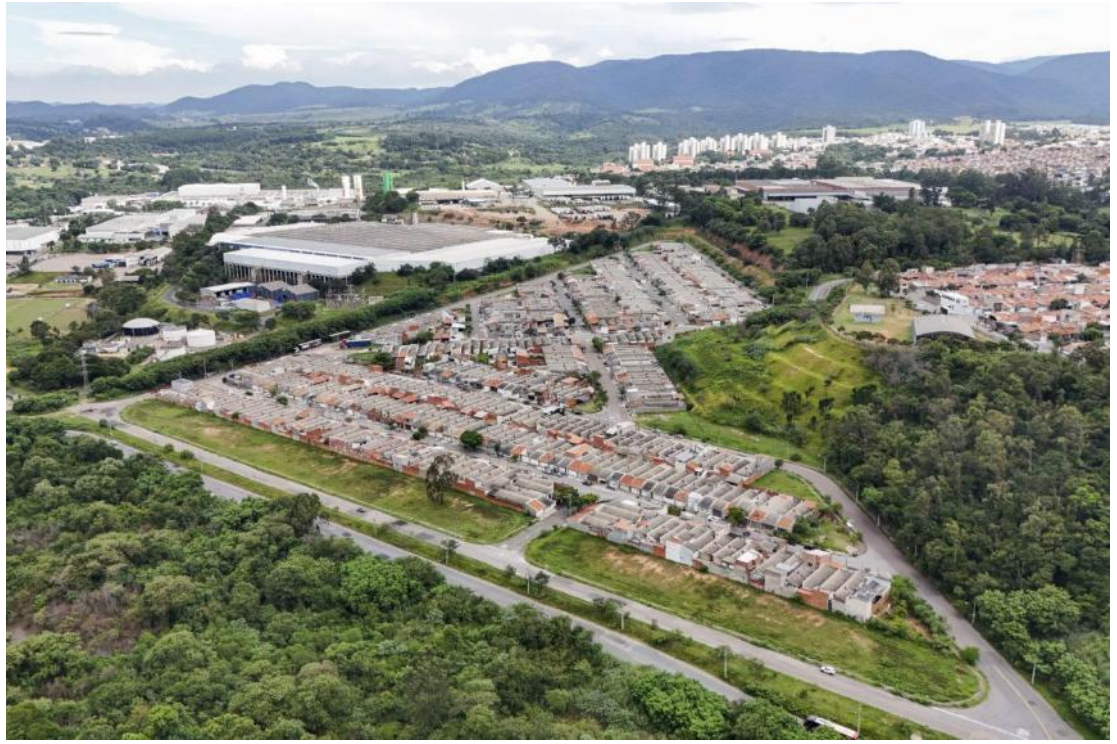
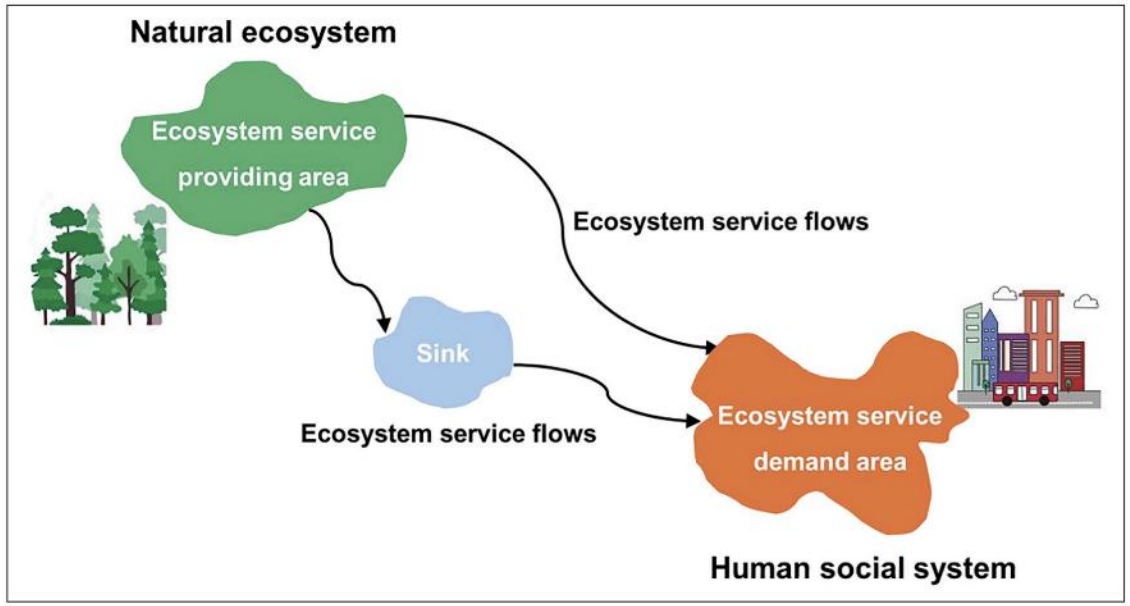
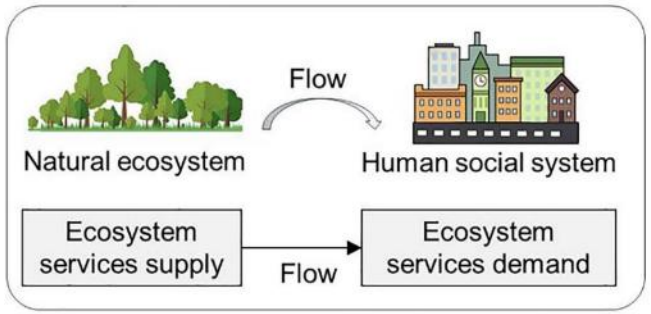


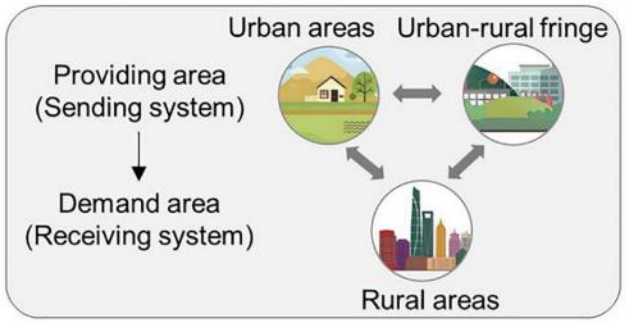
Foto: Fotógrafos PMJ

serviços ecossistêmicos



Fonte: Sun et al. (2024)





Fpmte: Sun et al. (2024)

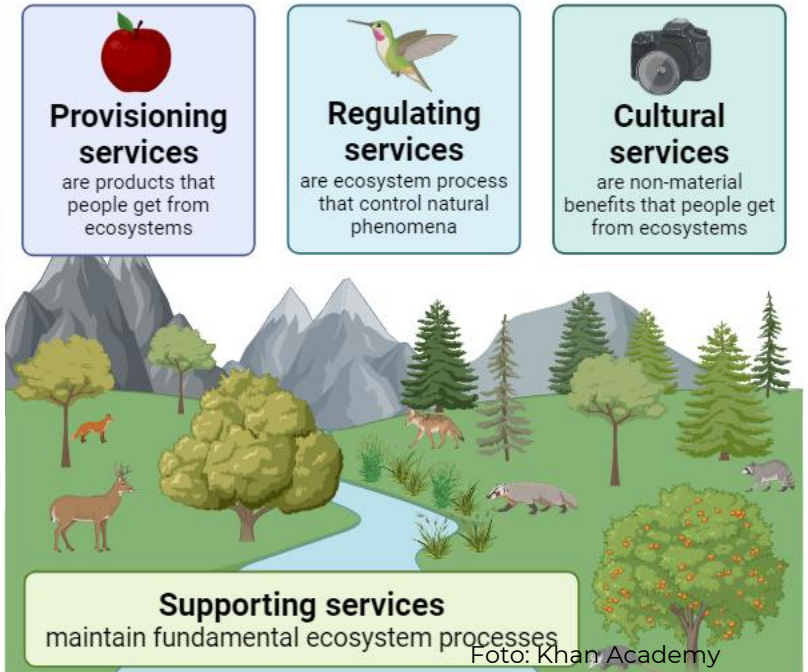
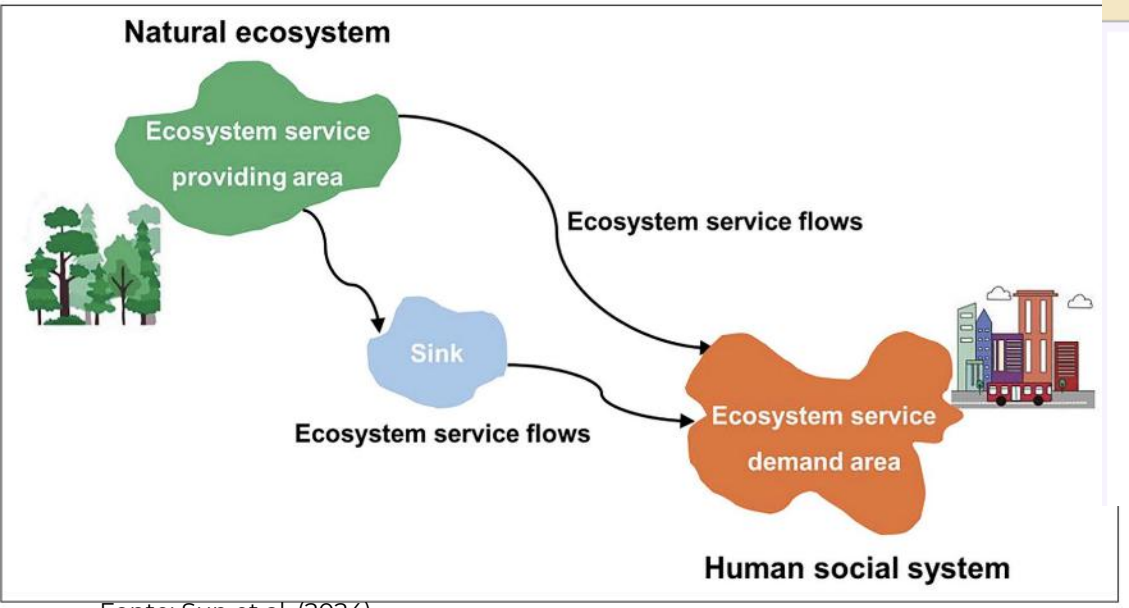
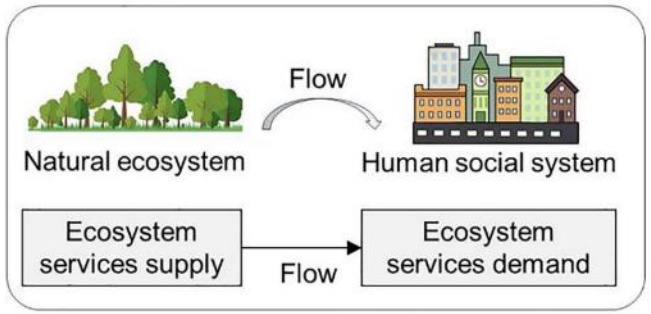


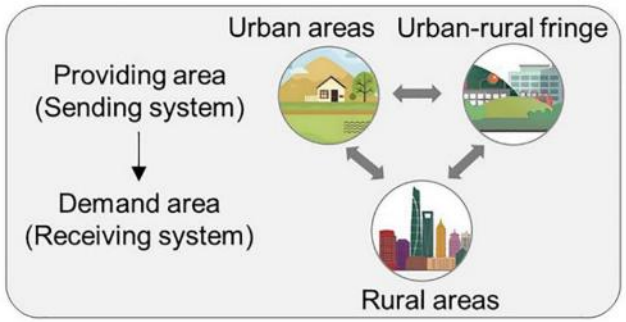
Foto: Khan Academy

Mudança do uso do solo e serviços ecossistêmicos

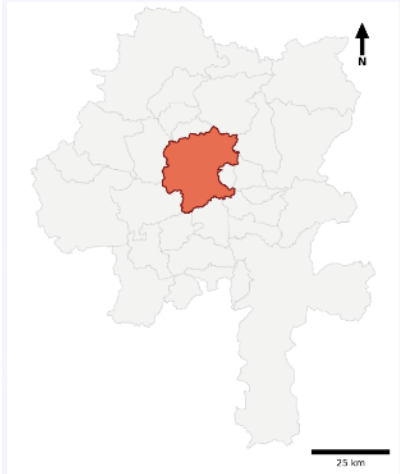


Fonte: Sun et al. (2024)





Fpmte: Sun et al. (2024)

ESCALA	CLASSE	2005 (km²)	2024 (km²)	VARIAÇÃO
	Floresta	157,7	158,5	▲ +1%
	Urbano	83,2	108,3	▲ +30%
	Pastagem	55,4	31,8	▼ -43%
	Mosaico Agropecuário	104,1	99,1	▼ -5%

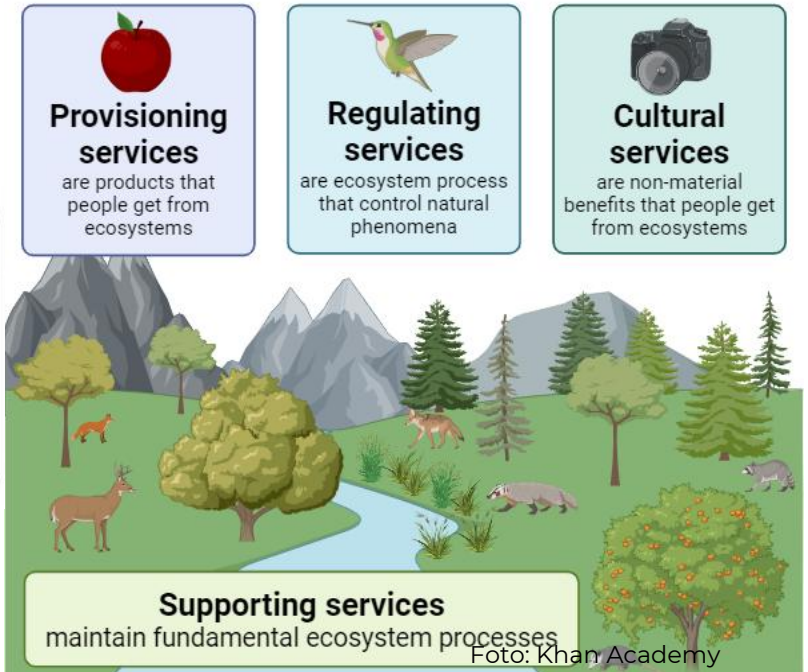
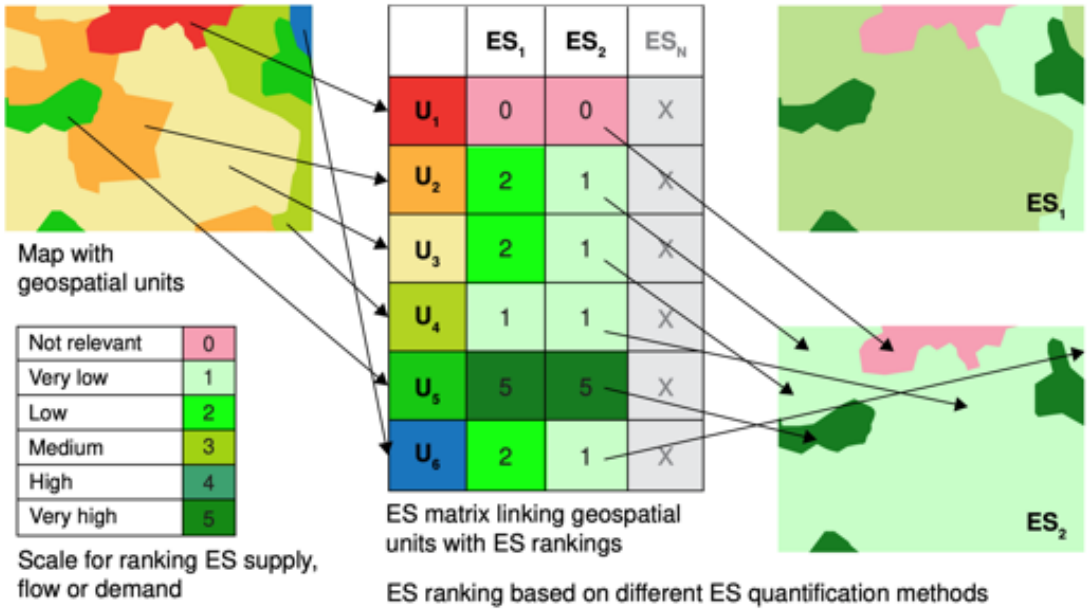


Foto: Khan Academy

Matriz de Oferta e Demanda de Serviços Ecossistêmicos



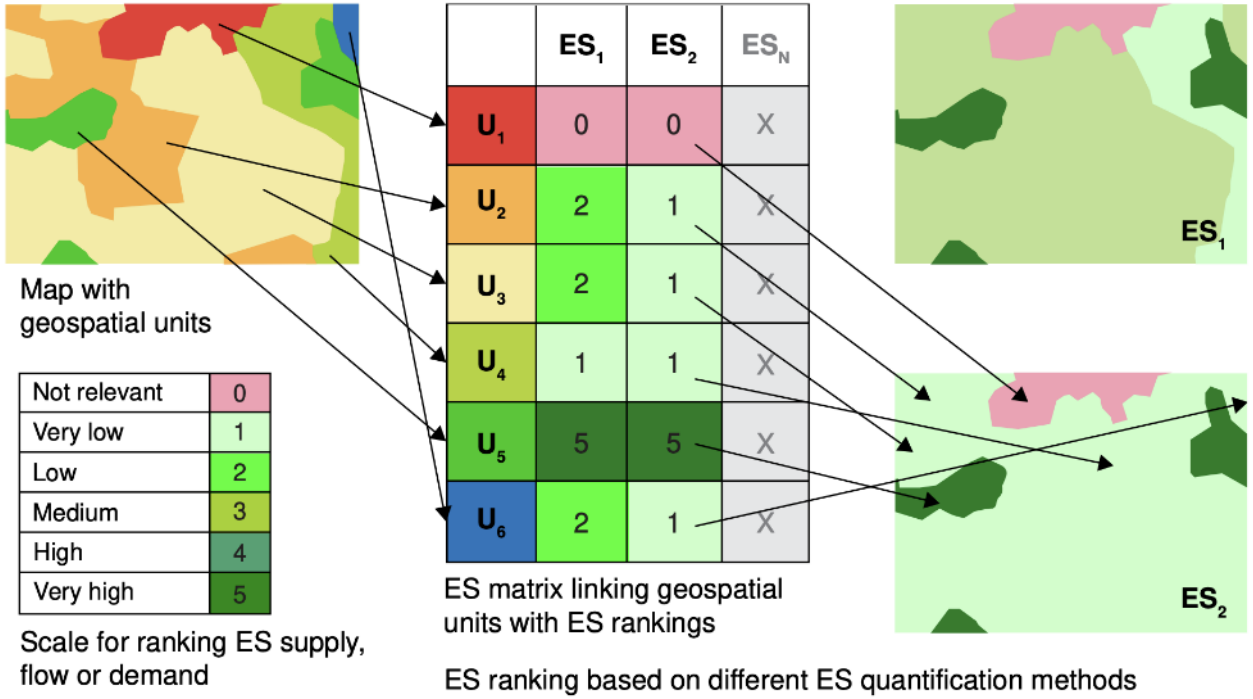
Fonte: Buckhard (2017)

- **Os SE têm representatividade no espaço e no tempo;**
- **Um método de mapeamento é a abordagem da "matriz" de SE;**
- **Esse método vincula os SE às unidades geoespaciais geo-biofísicas apropriadas.**

Classes de uso e cobertura de solo	Serviços de provisão	Alimento	Matéria-Prima	Água	Recursos medicinais	Serviços de regulação	Regulação do clima local	Regulação da qualidade do ar	Regulação do clima global	Regulação do ciclo da água	Purificação da água	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo	Polinização	Controle biológico	Serviços culturais	Apreciação estética	Turismo	Recreação e saúde física e mental	Inspiração para cultura, arte e design	Experiência espiritual e senso de pertencimento	Informação para o desenvolvimento cognitivo
Agricultura Anual		4	3	-4	-1		-1	0	-1	-4	-4	-2	-1	-3		0	-1	0	-1	-1	0
Agricultura Perene		4	2	-4	0		-1	1	-2	-2	-4	0	-2	-3		2	2	2	2	2	2
Formação Florestal		2	4	3	5		3	4	4	4	3	4	4	3		5	4	5	5	5	4
Plantação Florestal		0	5	-1	0		1	3	3	2	0	2	-2	0		3	2	3	2	2	2
Infraestrutura urbana		-5	-4	-5	-5		-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4		-3	-1	-3	-2	-2	-2
Outras áreas não vegetadas		0	-3	-5	0		-2	-1	0	0	-2	-2	0	-4		-1	-1	-1	-1	-1	-1
Pastagem		3	1	-1	-1		1	2	2	2	0	2	1	3		3	1	2	1	2	0
Corpos d'água		2	1	5	1		-1	1	1	5	4	2	0	2		5	4	4	4	4	3

Uso de geotecnologias, análises de dados espaciais e SIG

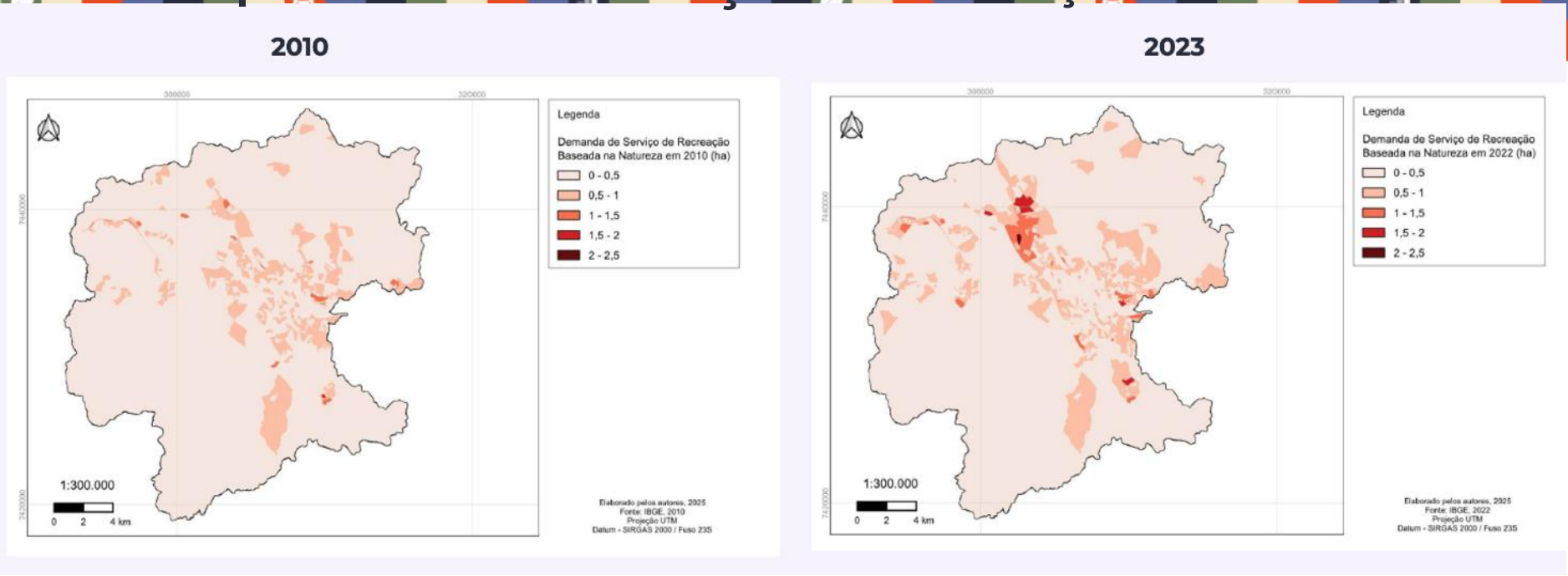
Jundiaí | Matriz de oferta e demanda de Serviços Ecossistêmicos: de Recreação Baseada na Natureza (ha)



Fonte: Buckhard (2017)

Classes de uso e cobertura de solo	Serviços de provisão	Alimento	Matéria-Prima	Água	Recursos medicinais	Serviços de regulação	Regulação do clima local	Regulação da qualidade do ar	Regulação do clima global	Regulação do ciclo da água	Purificação da água	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo	Polinização	Controle biológico	Serviços culturais	Apreciação estética	Turismo	Recreação e saúde física e mental	Inspiração para cultura, arte e design	Experiência espiritual e senso de pertencimento	Informação para o desenvolvimento cognitivo
Agricultura Anual		4	3	-4	-1		-1	0	-1	-4	-4	-2	-1	-3		0	-1	0	1	-1	0
Agricultura Perene		4	2	-4	0		-1	1	-2	-2	-4	0	-2	-3		2	2	2	2	2	2
Formação Florestal		2	4	3	5		3	4	4	4	3	4	4	3		5	4	5	5	5	4
Plantação Florestal		0	5	-1	0		1	3	3	2	0	2	-2	0		3	2	3	2	2	2
Infraestrutura urbana		-5	-4	-5	-5		-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4		-3	-1	-3	2	-2	-2
Outras áreas não vegetadas		0	-3	-5	0		-2	-1	0	0	-2	-2	0	-4		-1	-1	-1	1	-1	-1
Pastagem		3	1	-1	-1		1	2	2	2	0	2	1	3		3	1	2	1	2	0
Corpos d'água		2	1	5	1		-1	1	1	5	4	2	0	2		5	4	4	4	4	3

Jundiaí | Demanda de Serviços de Recreação Baseada na Natureza (ha)



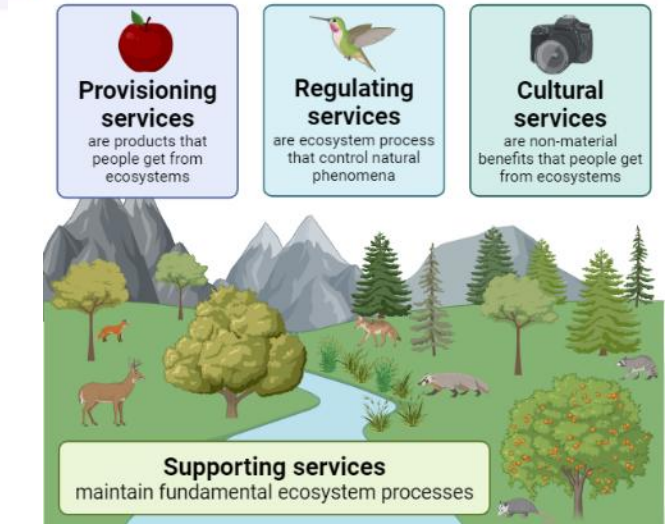
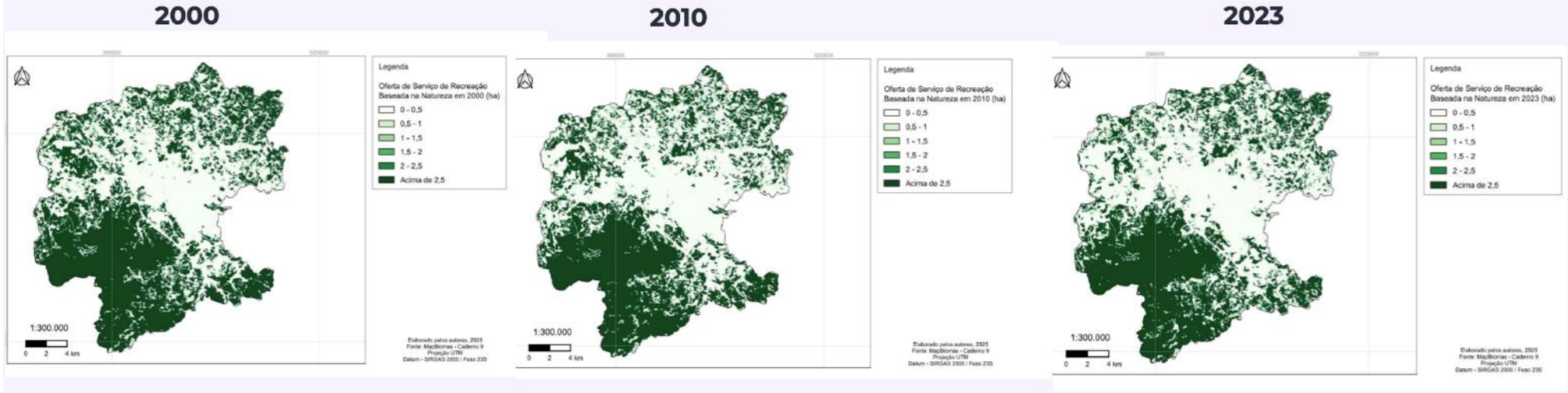


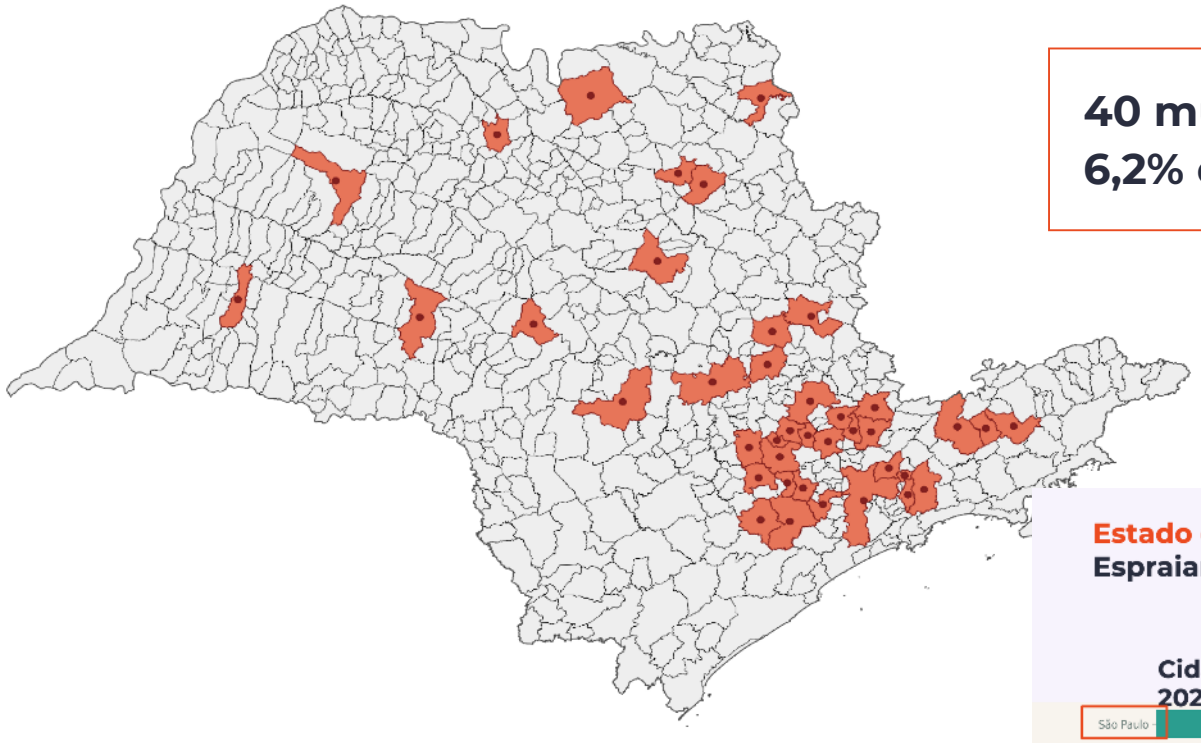
Foto: Khan Academy

Jundiaí | Oferta de Serviços de Recreação Baseada na Natureza (ha)



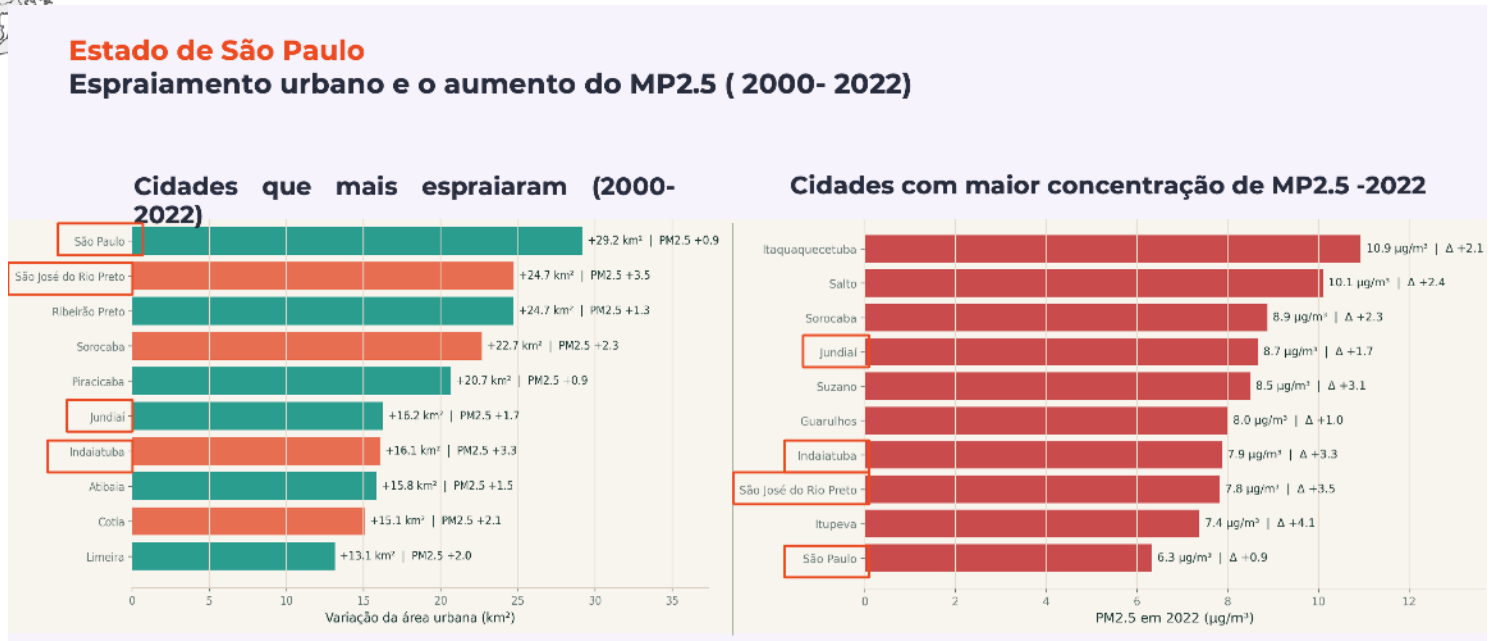
Estado de São Paulo Espraiamento Urbano e Qualidade do Ar

Municípios com intenso espraiamento urbano e aumento do MP2.5 (2000- 2022)



40 municípios
6,2% dos municípios totais do Estado

Uso de geotecnologias, análises de dados espaciais e SIG



Como mitigar os efeitos do espraiamento urbano sobre a dinâmica ambiental nas áreas urbanas?

- Valorização da Infraestrutura verde e azul
- Soluções baseadas na natureza (SbN)
- Conexões entre natureza e caminhabilidade

Valorização da infraestrutura verde e azul



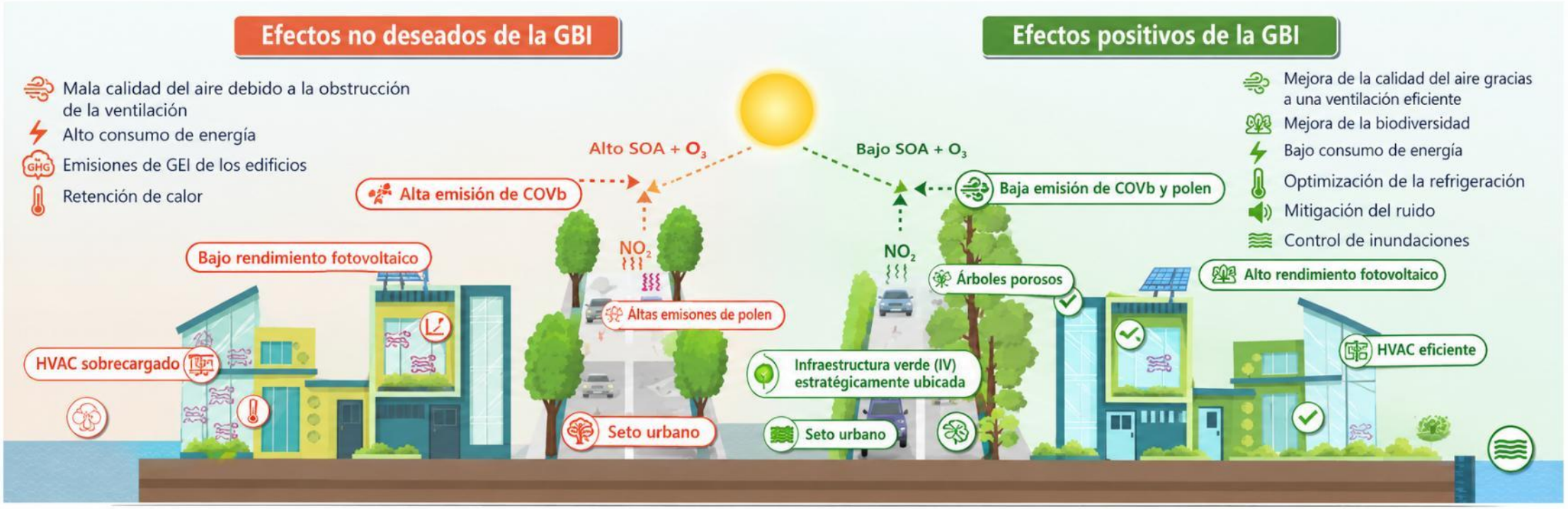
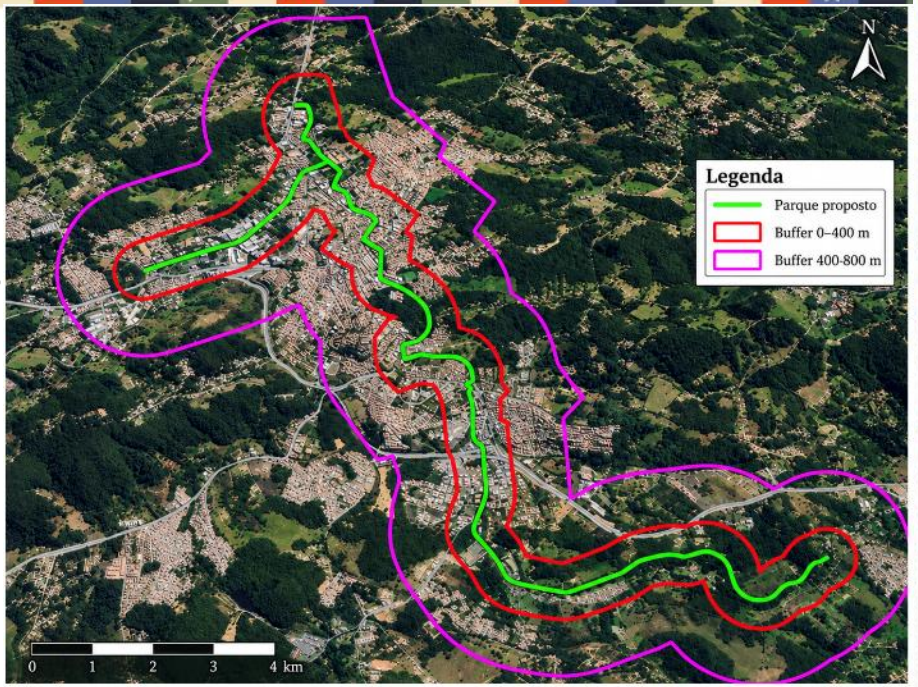
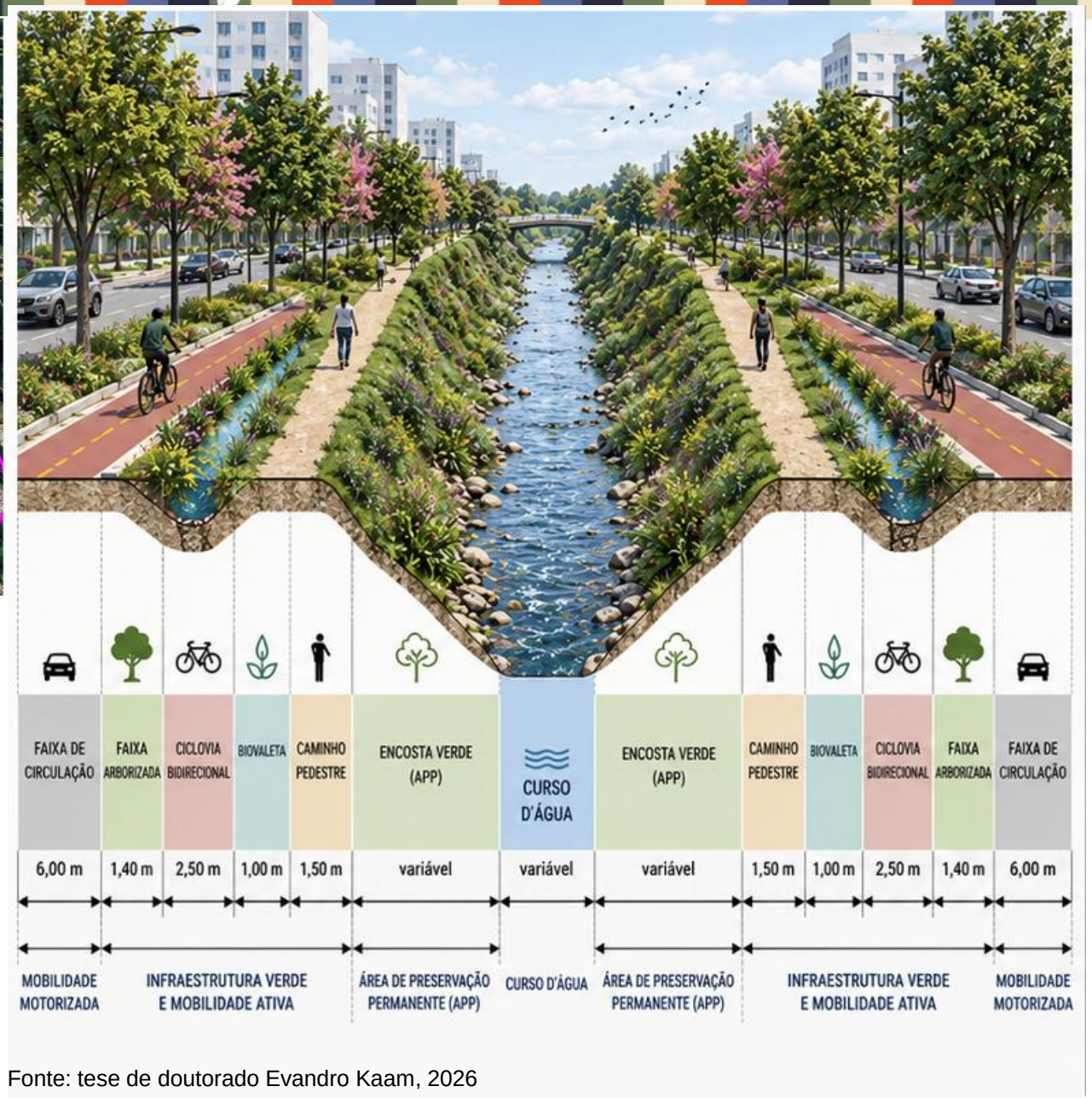


Figura 2. Resultados potenciales contrastantes de la infraestructura verde en calles y a escala doméstica en un entorno urbano: efectos negativos no deseados (izquierda, texto rojo) frente a beneficios ambientales positivos derivados de una implementación estratégica (derecha, texto verde).

Soluções baseadas Natureza



Serviço ecossistêmico	SbN e componentes de infraestrutura verde associados	Valoração anual (R$)
Redução do escoamento superficial	Biovaletas, superfícies permeáveis, corredor ripário e arborização	373.132,63
Filtragem do ar	Corredor ripário vegetado, faixas arborizadas e biovaletas	174.110,52
Regulação climática	Arborização, vegetação ripária e demais coberturas vegetadas	182.929,16
Sequestro de carbono	Vegetação ripária, bosques, faixas arborizadas e biovaletas	46.753,27
Recreação e lazer	Parque linear, caminhos, ciclovias, arborização e espaços de convivência	29.404.492,00
Total anual	Configuração integrada do parque linear	30.181.417,58



Fonte: tese de doutorado Evandro Kaam, 2026

Espraiamento e recursos hídricos

MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO APLICADOS À EXTRAÇÃO E VERIFICAÇÃO HIDROGRÁFICA URBANA

DESAFIO

ACESSO E COMPATIBILIZAÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS

PROPOSTA METODOLÓGICA

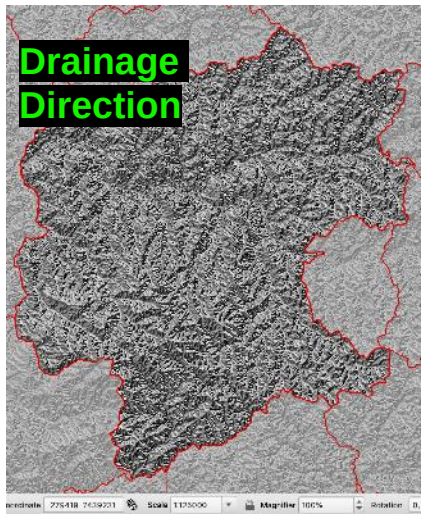
OVERLAYING MAPS:
DADOS OFICIAIS + **DADOS GEOESPACIAIS**

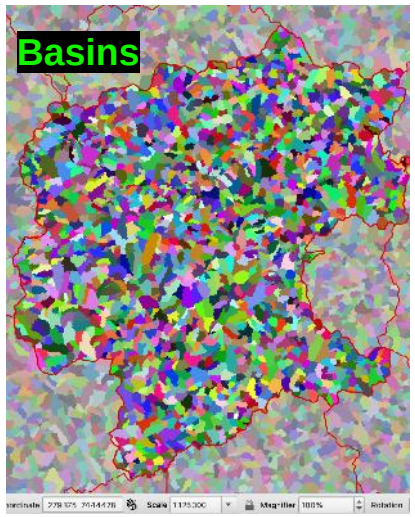
OBJETIVO

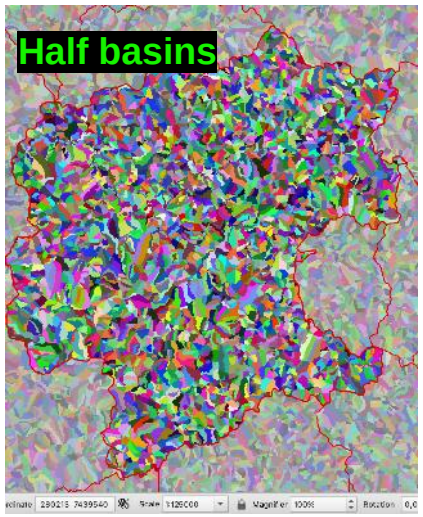
ANÁLISE HIDROGRÁFICA;
LEITURA TERRITORIAL;
MAPEAR SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS;
SUPORTE CARTOGRÁFICO PRELIMINAR.

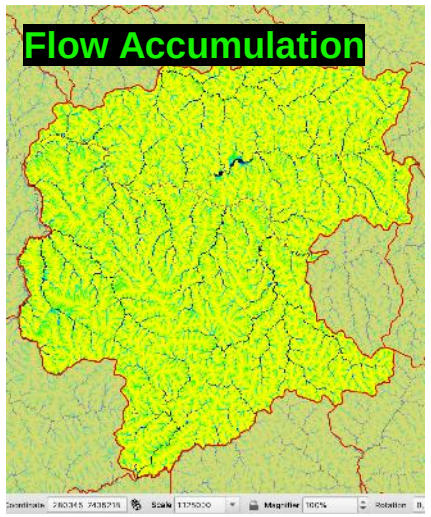
Processamento de dados de Modelo Digital de Elevação (DEM)

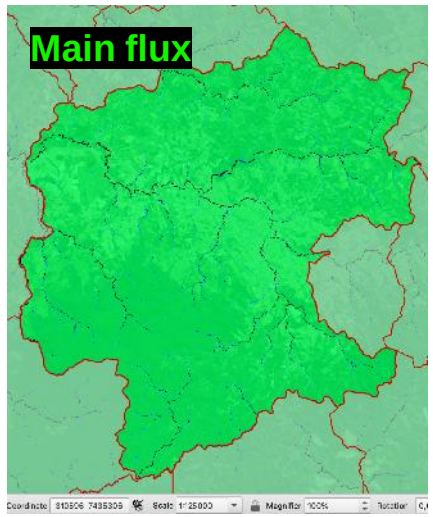
SRTM 1 Arc-Second Global, com resolução espacial aproximada de 30 m (USGS/NASA, 2000).

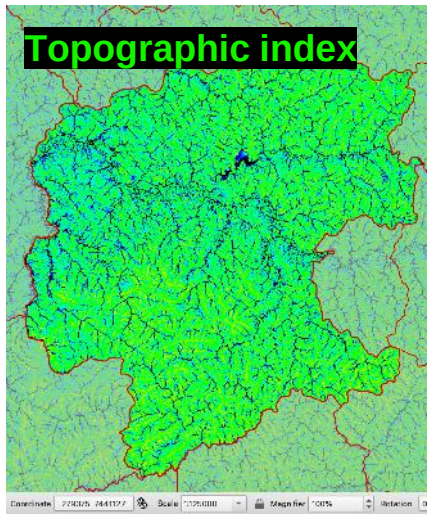


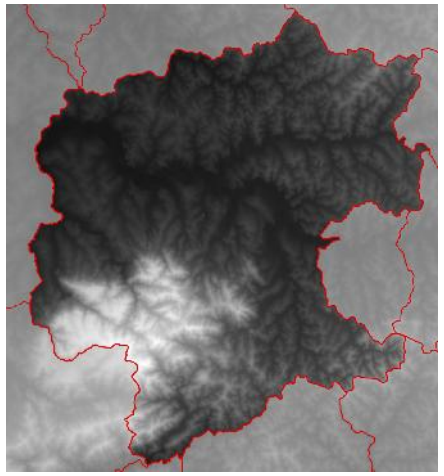


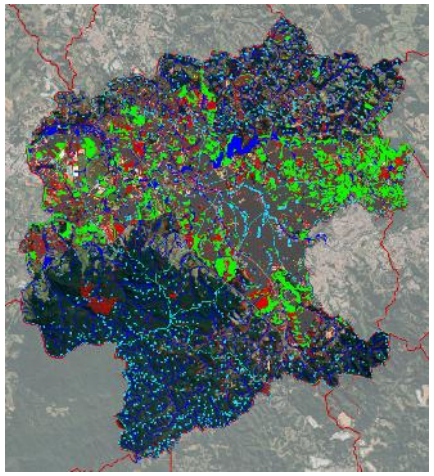










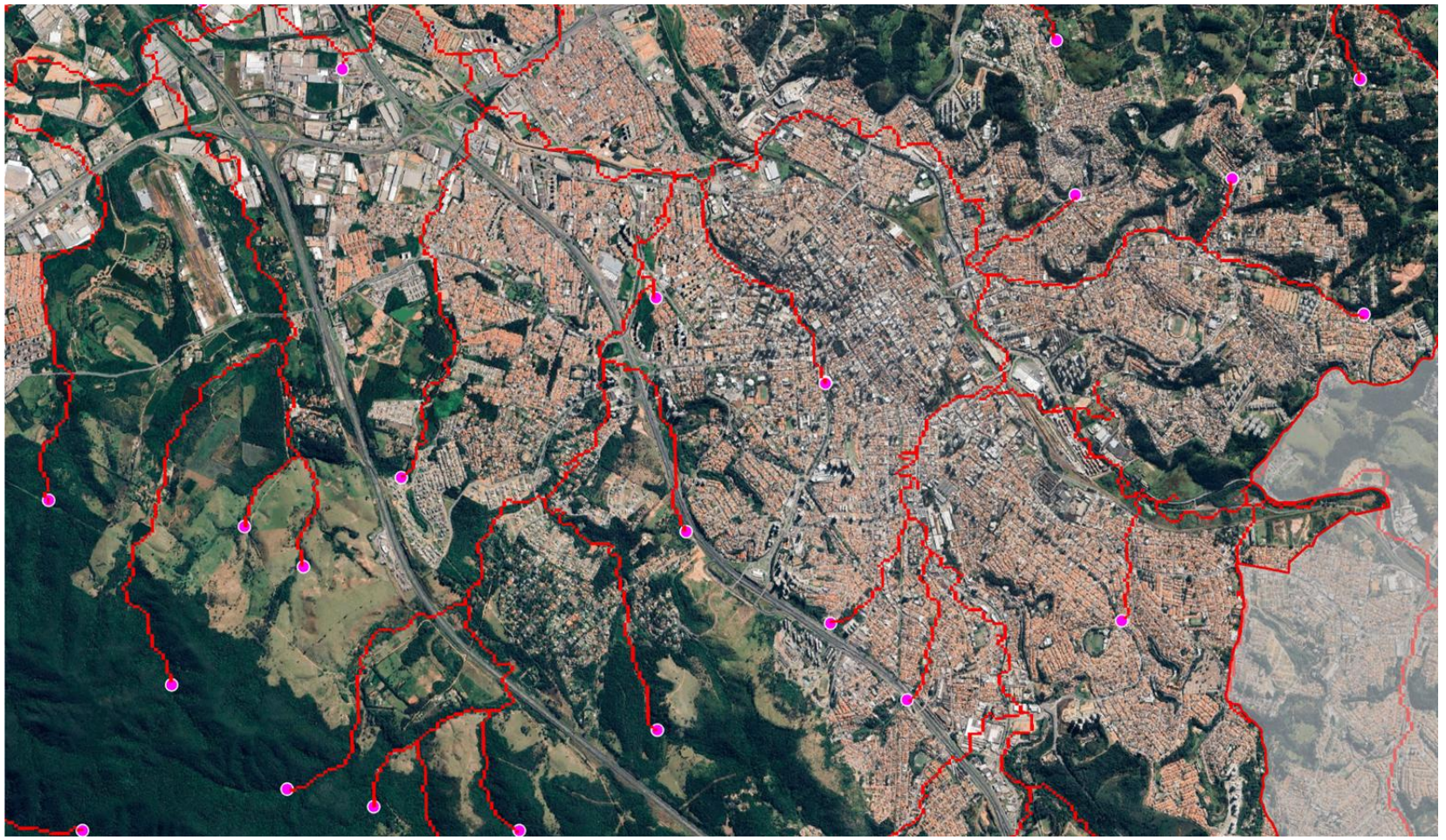


PROCESSAMENTO DADOS MDE + PROCESSAMENTO DADOS SHAPEFILES

ESPACIALIZAÇÃO DE TEMAS

SOBREPOSIÇÃO DE DADOS

APROXIMAÇÃO MULTIESCALAR



Hidrografia GeoJundiaí

Hidrografia MDE

Nascentes

Remanescente Veg. Nativa

Shape edificações

Shape lotes

Shape ciclovias

Base satélite

Conexões entre natureza e qualidade urbana

Acomodação Sustentável do Crescimento Urbano das Cidades Paulistas

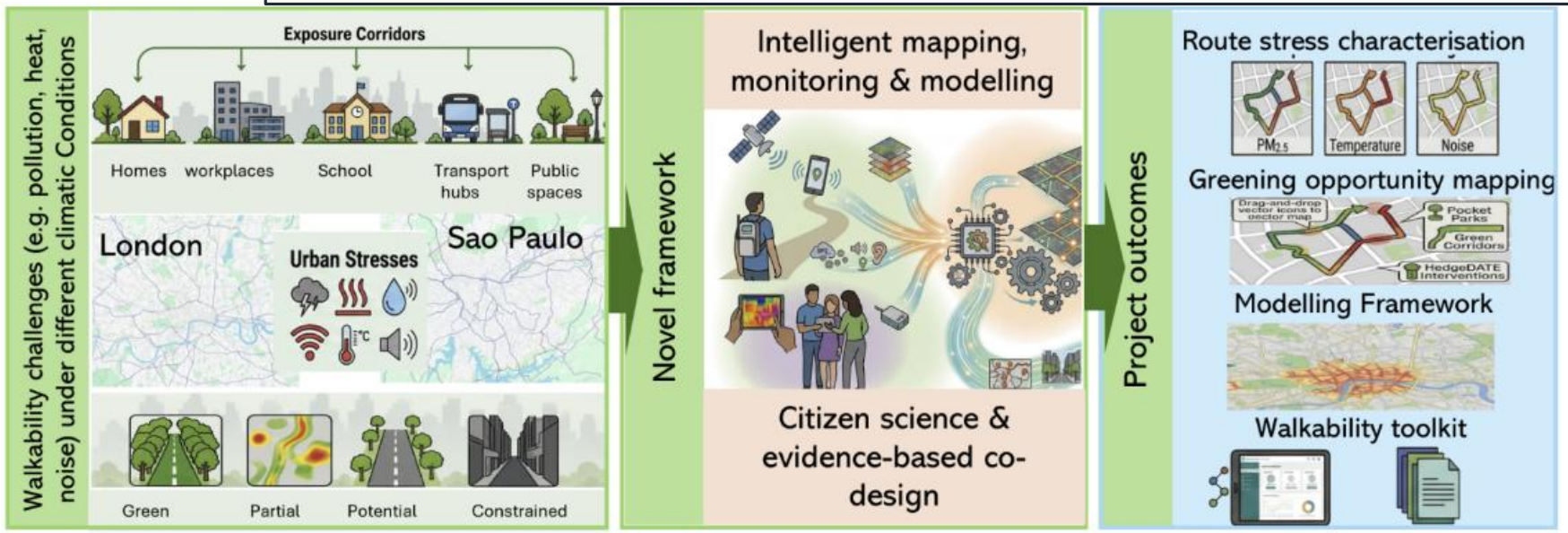
CCD USP CIDADES

Application overview - UKRI Funding Service https://funding-service.ukri.org/applications/APP117258

APP117258: NERC-FAPESP Enhancing Urban Walkability Through Neighbourhood Greening in Temperate and Subtropical Climates (GREENWING)

Application overview

Desenvolver metodologia para simular e avaliar políticas públicas para induzir padrões desejáveis de acomodação do crescimento, melhoria da qualidade ambiental e de vida



PREFEITURA DE SÃO PAULO

UK Research and Innovation

FAPESP FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO

CITY OF LONDON

SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação

É necessário desenvolver políticas públicas urbanas baseadas em evidências para promover cidades sustentáveis, resilientes, inteligentes e inclusivas



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

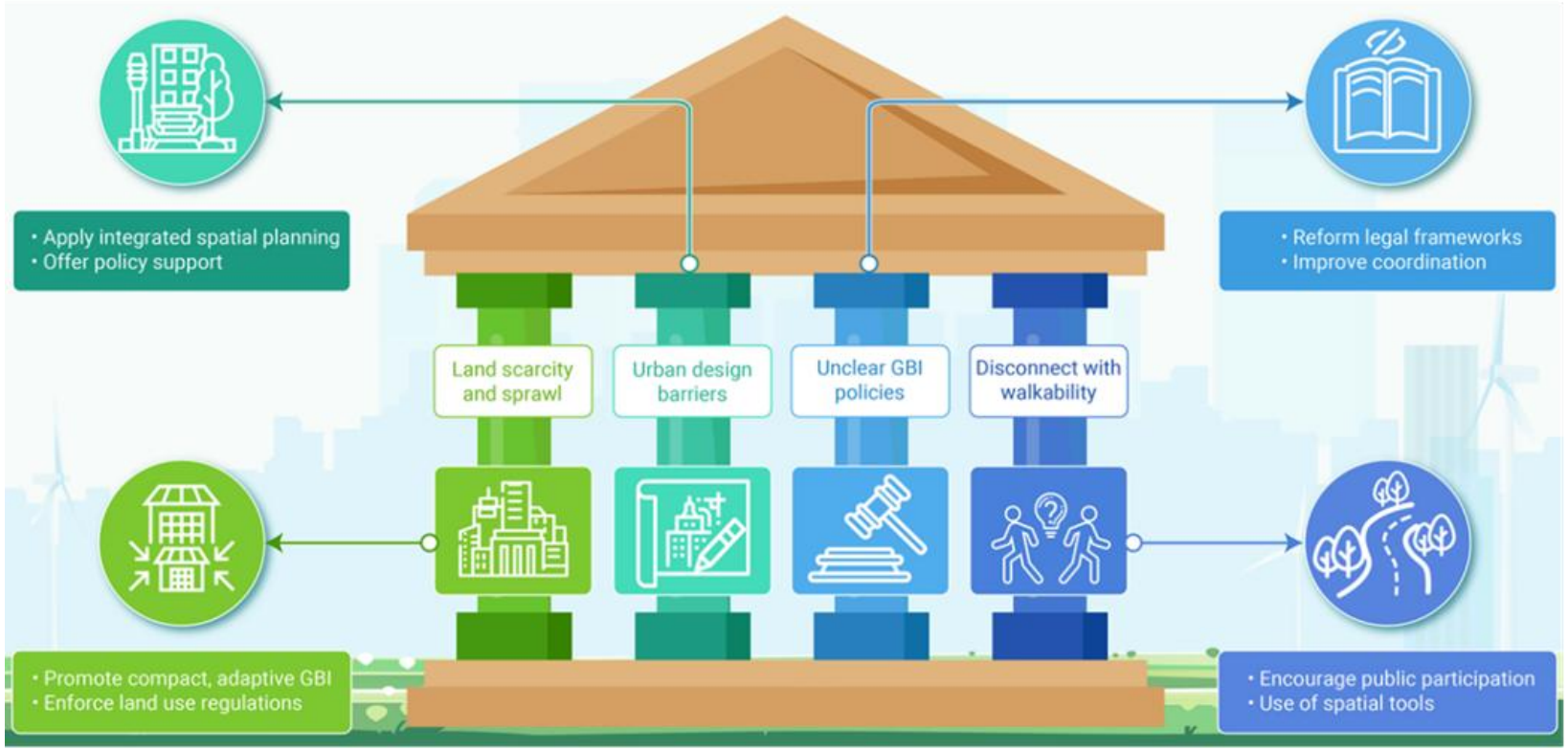


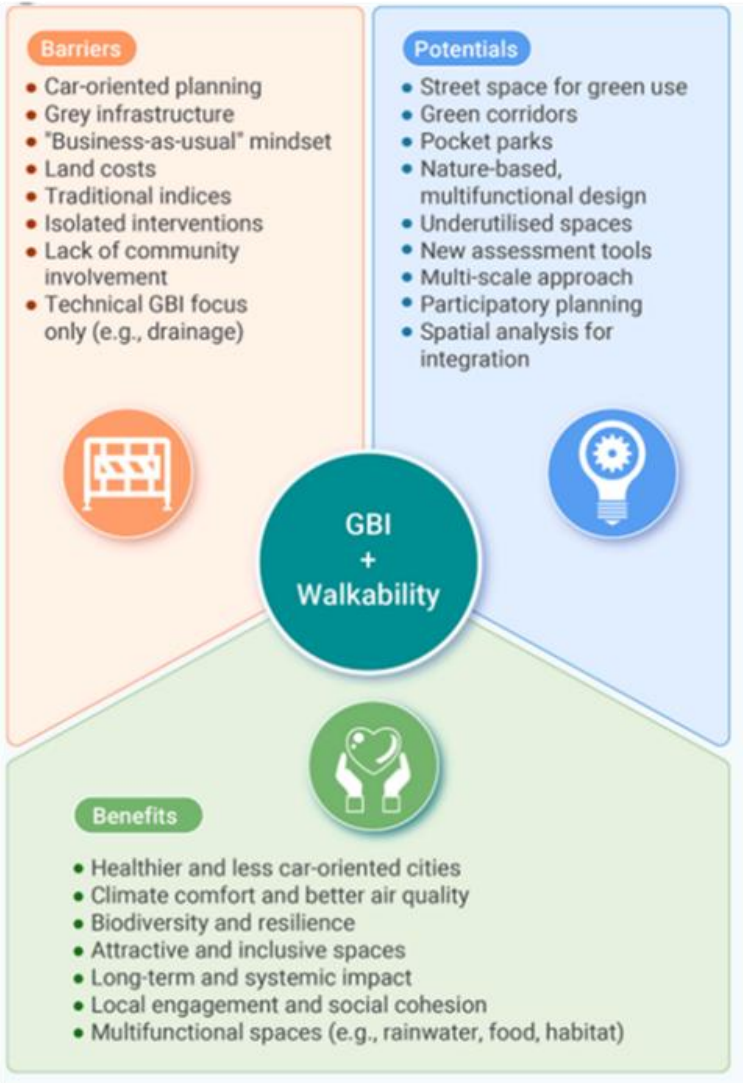
O espraiamento urbano contribui para o esvaziamento das áreas centrais e compromete as condições de caminhabilidade?



Imagem gerada por IA

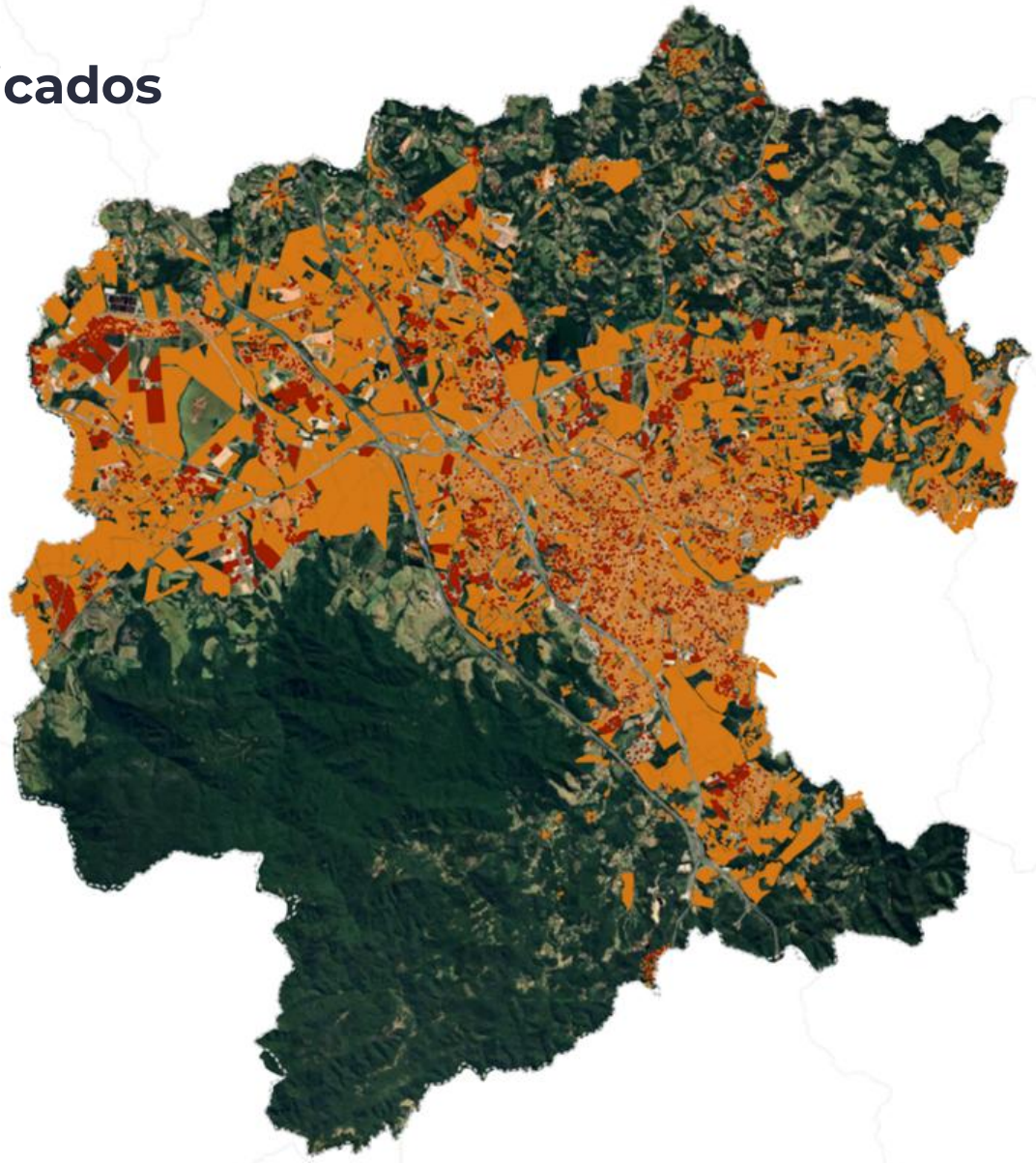
Questões ambientais + Caminhabilidade





KUMAR, Prashant *et al*. **Overlooked Considerations in Prescribing Green and Blue Infrastructure Solutions for Urban Environments**. The Innovation, p. 101184–101184, 1 nov. 2025.

Jundiaí | Lotes edificados



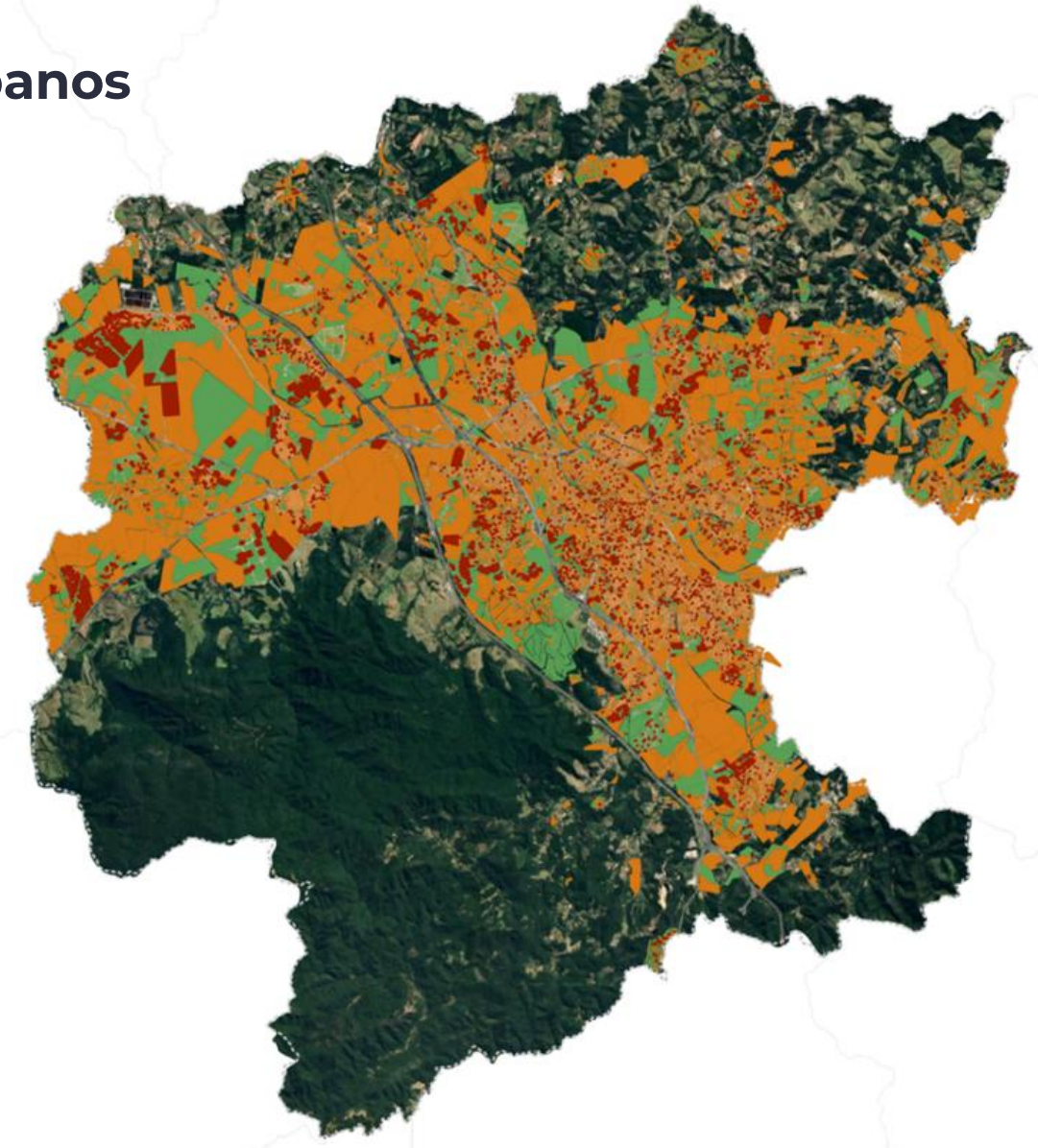
Jundiaí - lotes edificados

Legenda

- Lotes edificados até 2016
- Lotes edificados entre 2016 e 2022

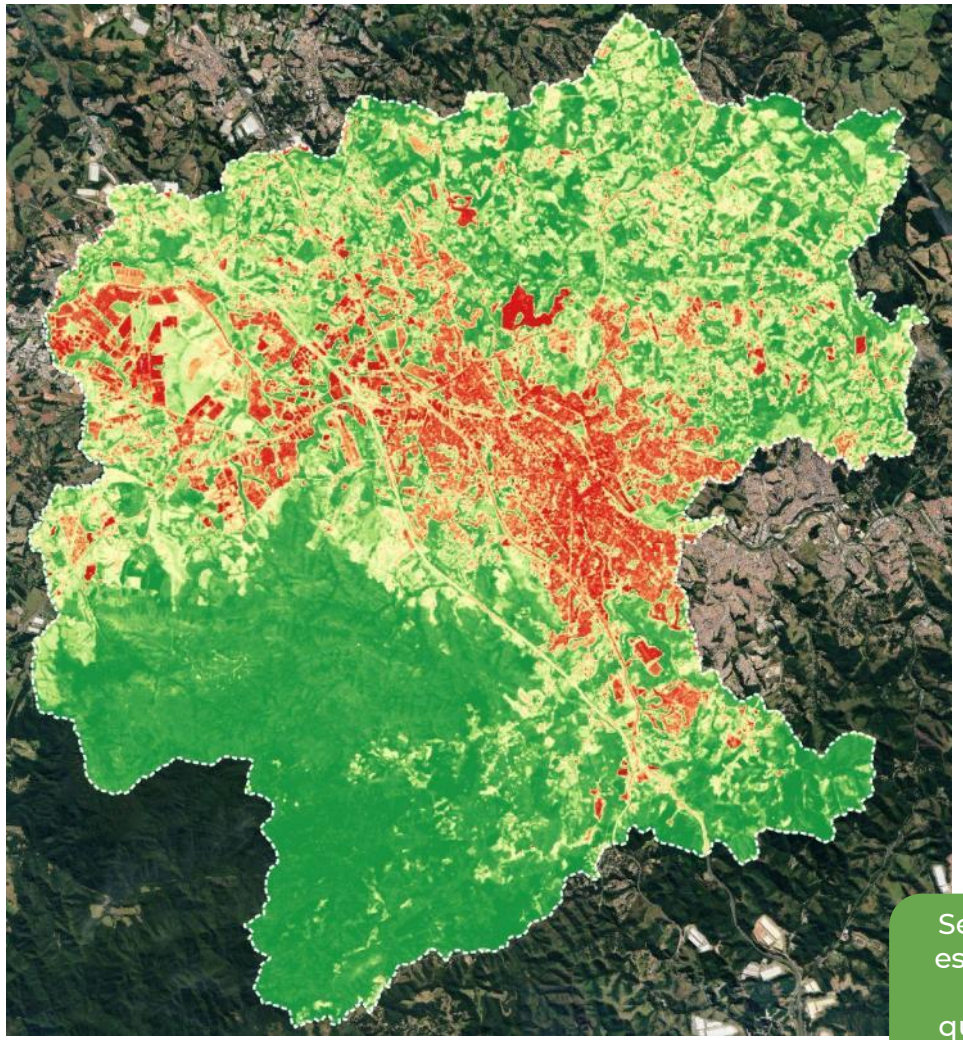
0 2,5 5km

Jundiaí | Vazios urbanos

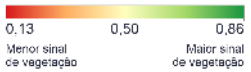


Análise na macroescala

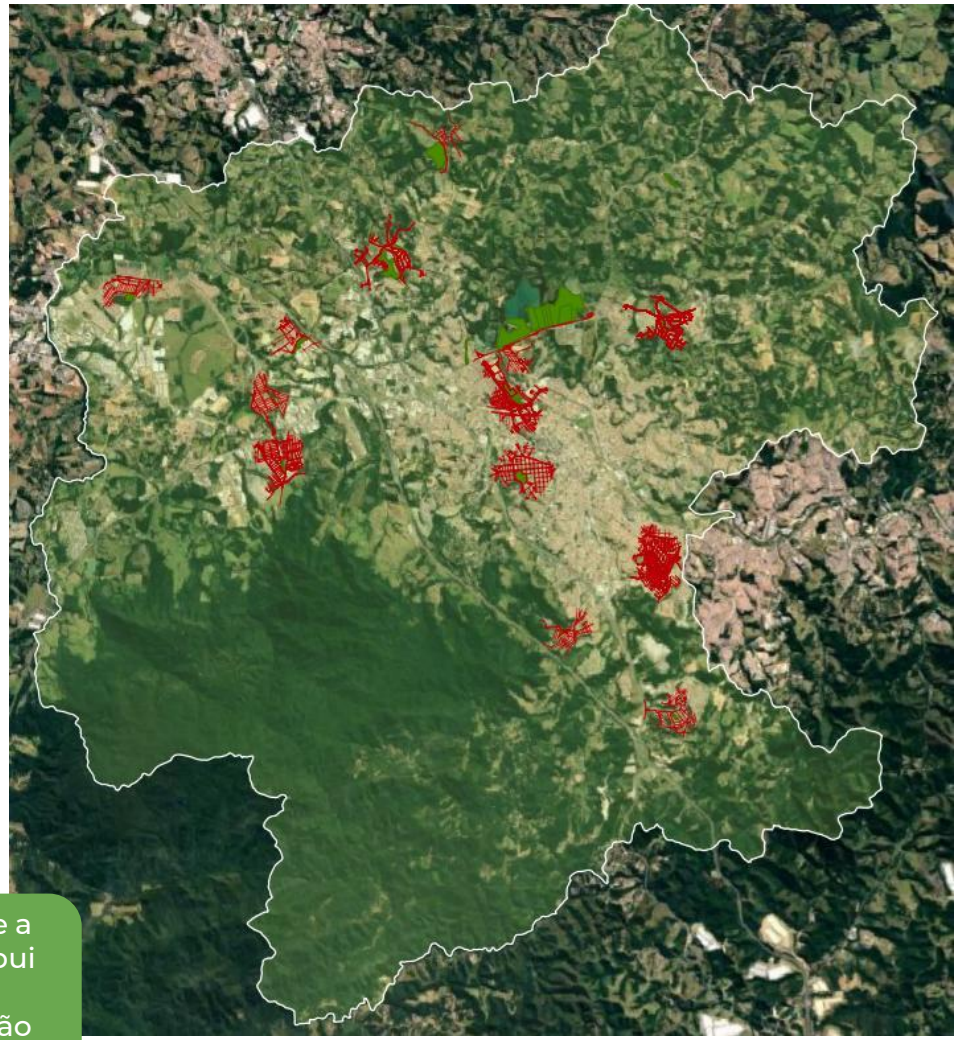
Mapa 1: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)



NDVI por pixel entre junho e setembro de 2022, com máscara de nuvens e sombras. Resolução espacial: 30m.
Fonte: USGS — Landsat 8/OLI, Collection 2, Level 2.



Mapa 2: Accessibility to public parks within a 15-minute walk



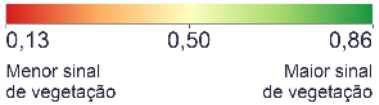
Segundo a OMS, a proximidade a espaços verdes urbanos contribui para a saúde, coesão social, qualidade ambiental e mitigação das mudanças climáticas

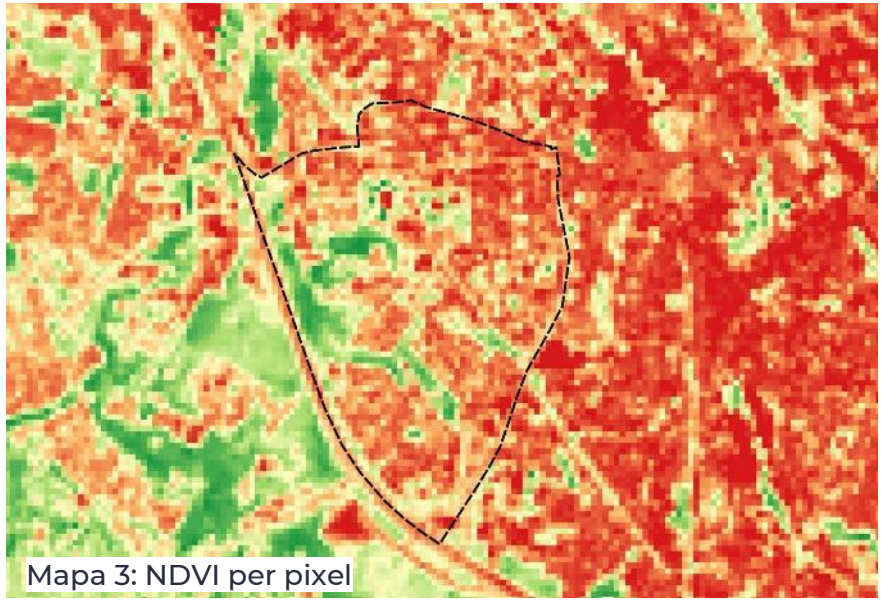
Parque público
15 minutos a pé

Análise na mesoescala

bairro central
Anhangabaú

forma urbana compacta e proximidade a praças e parques atende maior parcela da população em seus trajetos a pé



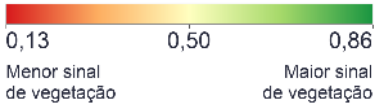

Mapa 3: NDVI per pixel

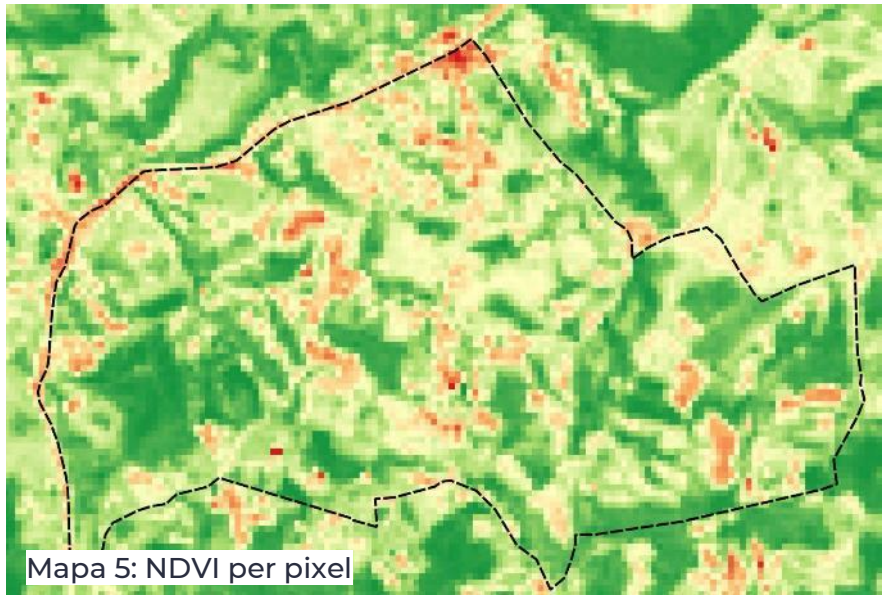


Mapa 4: 15-minute walk from parks and squares

bairro espraiado
Mato Dentro

forma urbana dispersa e falta de espaços verdes públicos limita o acesso da população que se locomove a pé

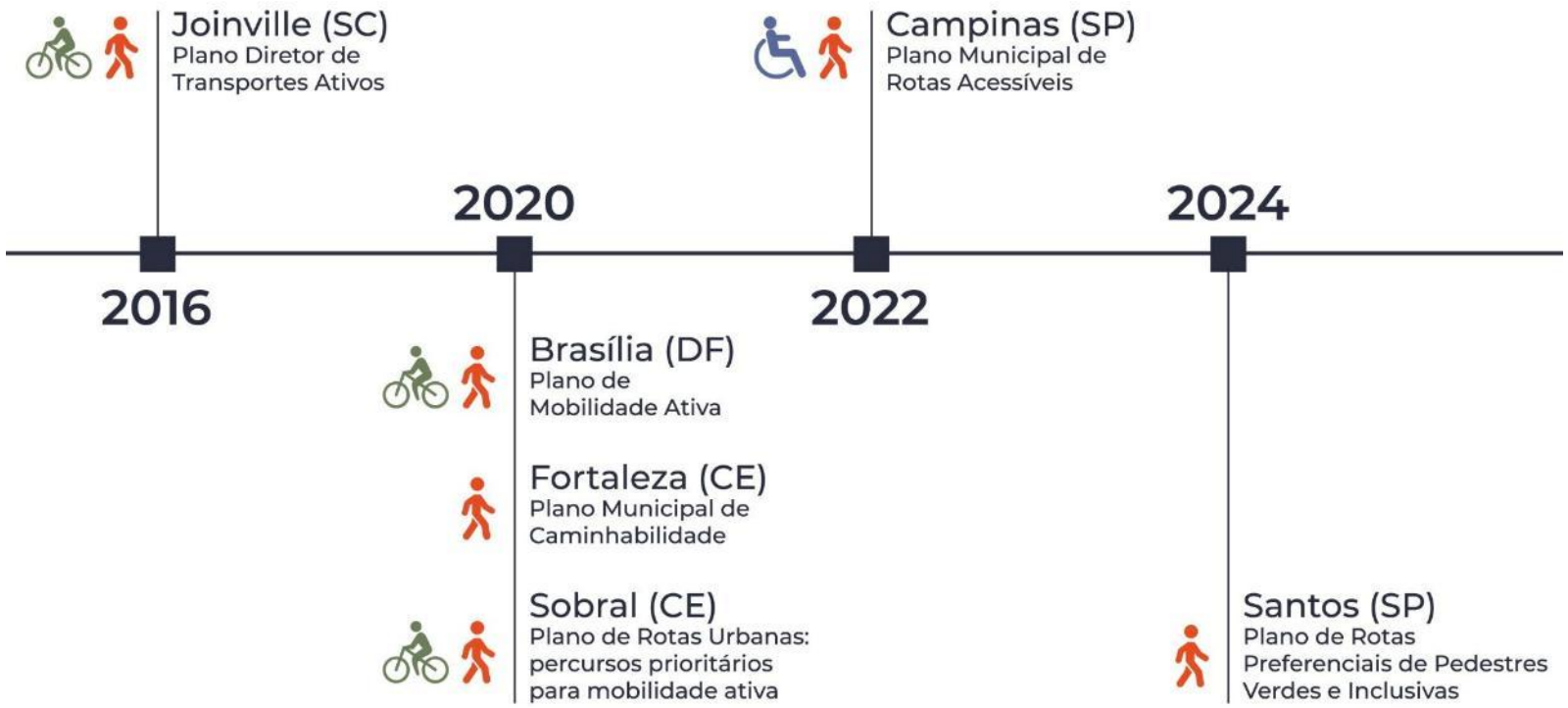



Mapa 5: NDVI per pixel



Mapa 6: 15-minute walk from parks and squares

Cronologia de planos municipais de mobilidade ativa e de caminhabilidade no Brasil



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2026.

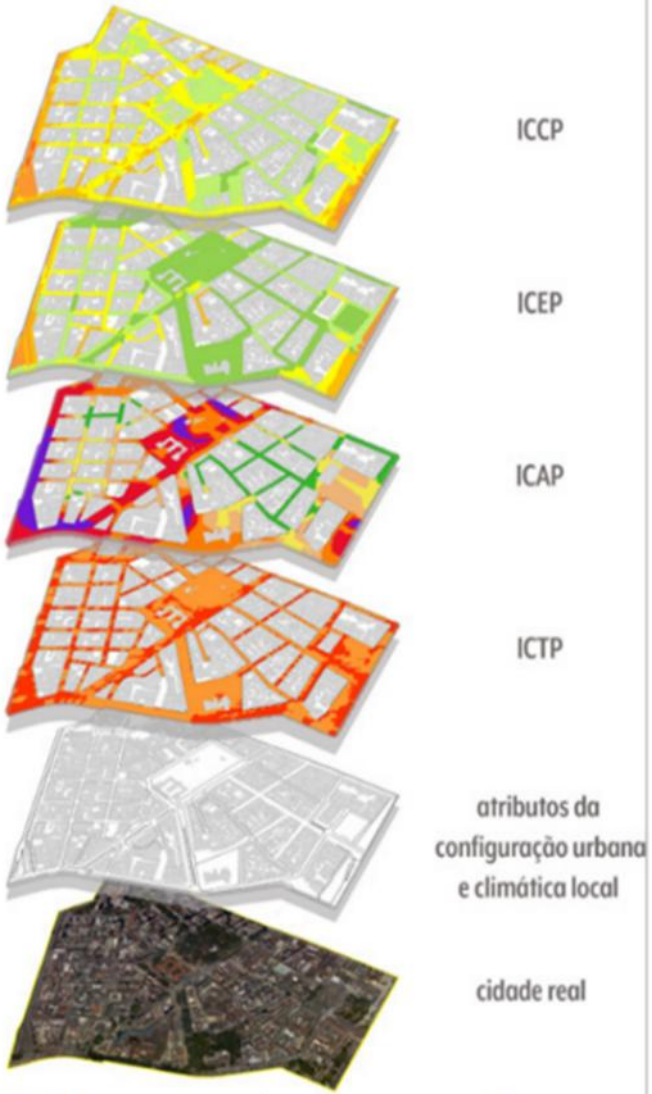


Figura 3.27. Esquema gráfico de composição do Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre.
Fonte: Elaboração Própria.

Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre - ICCP (Albala, 2019)

Índice de Conforto Ergonômico do Pedestre – ICEP

ICEP ≥ 0.85	conforto ergonômico
0.71 ≤ ICEP < 0.85	desconforto ergonômico - muito leve
0.57 ≤ ICEP < 0.71	desconforto ergonômico - leve
0.43 ≤ ICEP <0.57	desconforto ergonômico - moderado
0.29 ≤ ICEP <0.43	desconforto ergonômico - forte
0.14 ≤ ICEP < 0.29	desconforto ergonômico - muito forte
0.14 ≤ ICEP	desconforto ergonômico – extremo

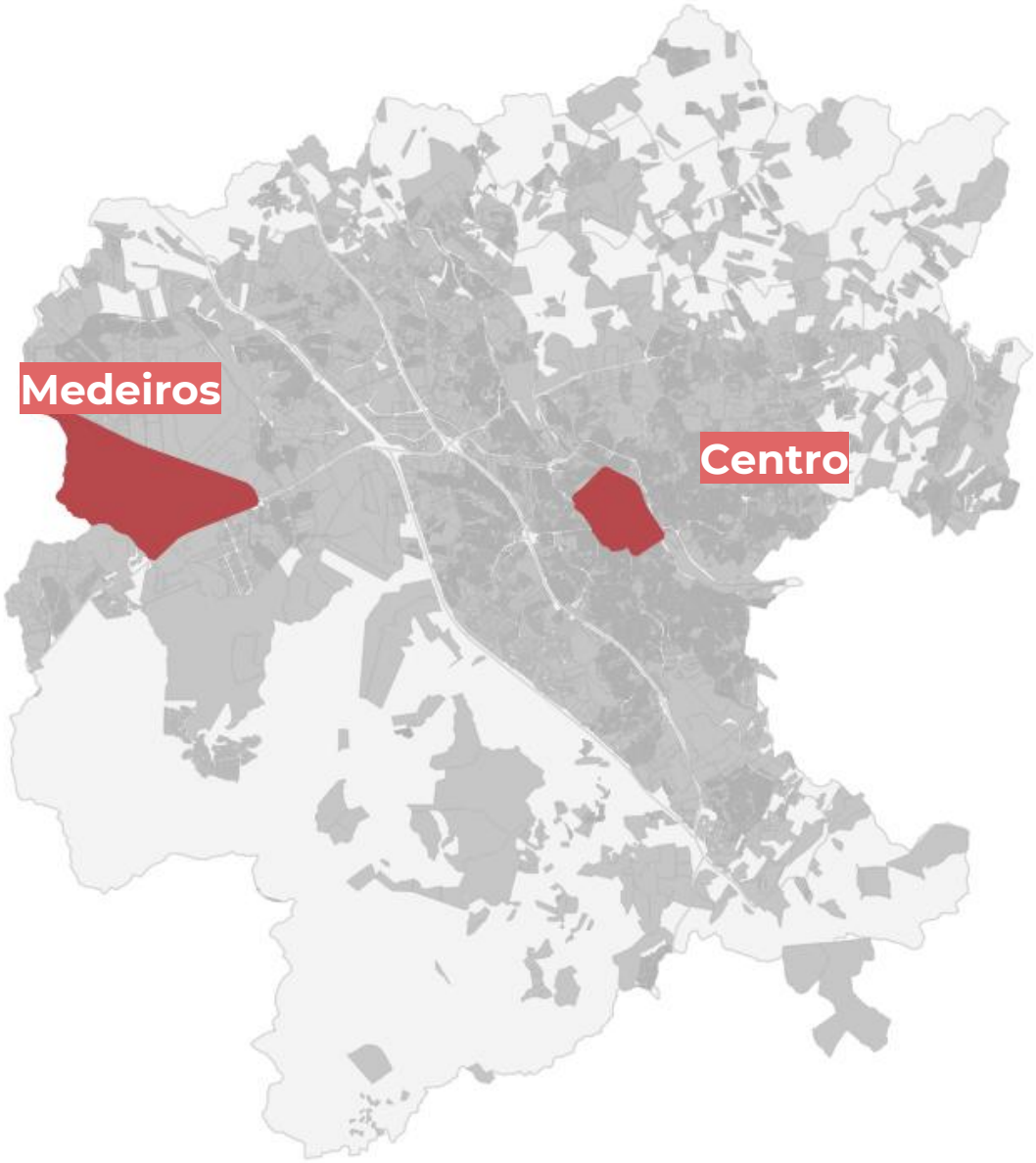
Cenário tendenciais : conforto do pedestre e o aquecimento global

Cenários induzidos: conforto do pedestre e a mobilidade ativa

Comparações

Área espraiada
Medeiros

Área central
Centro



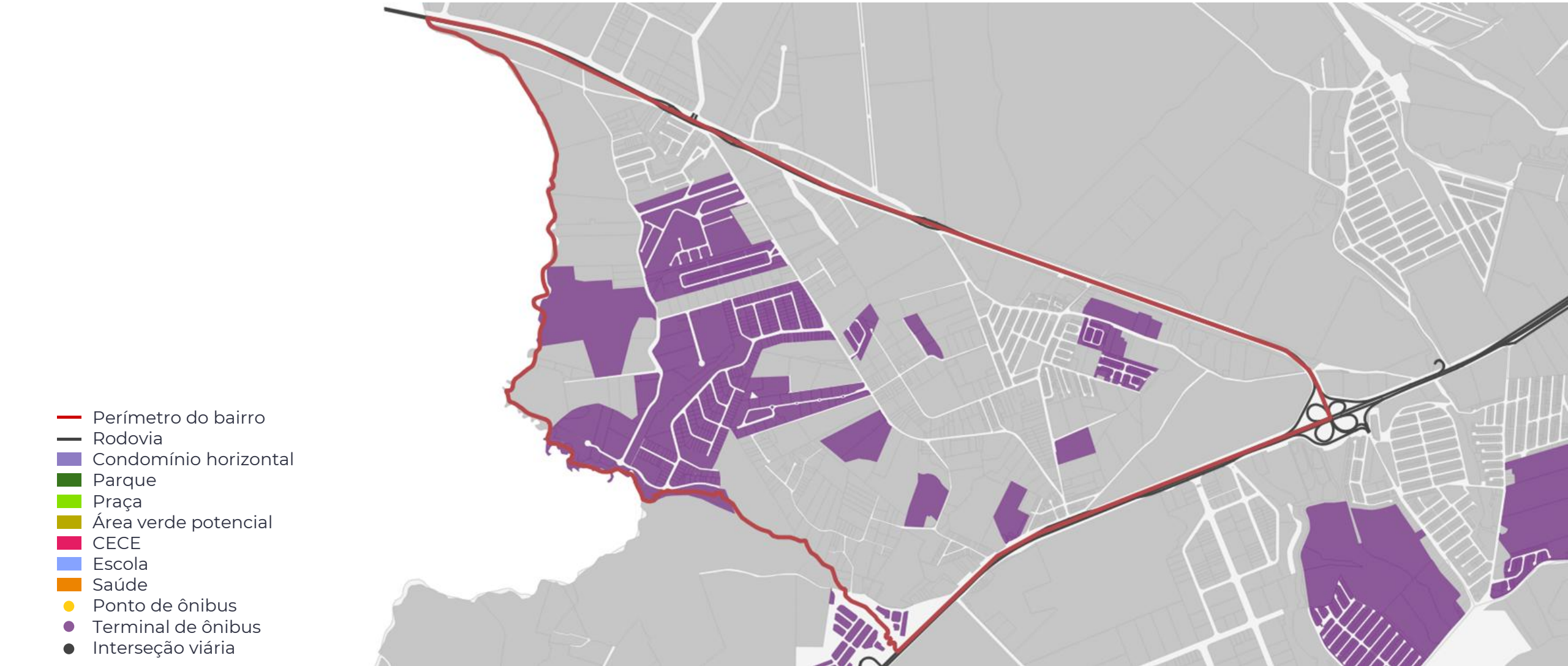
Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



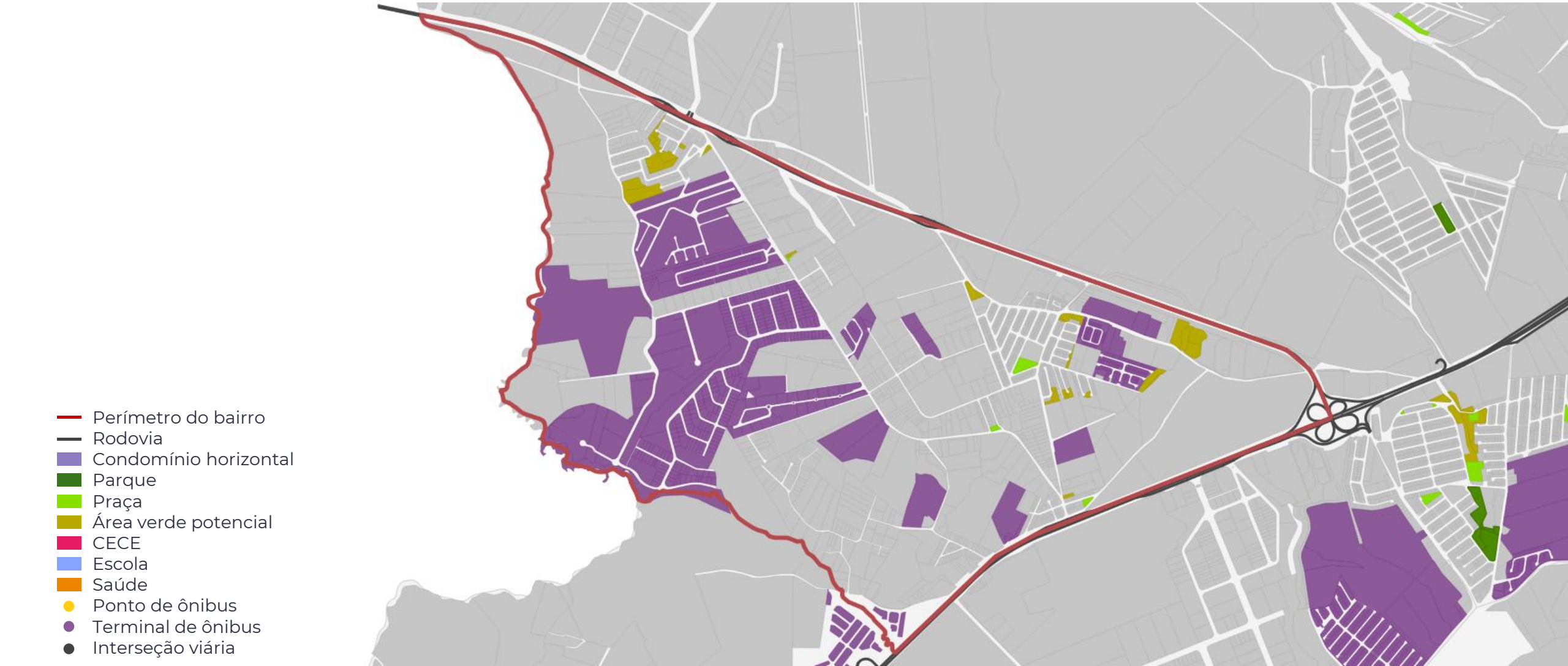
Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



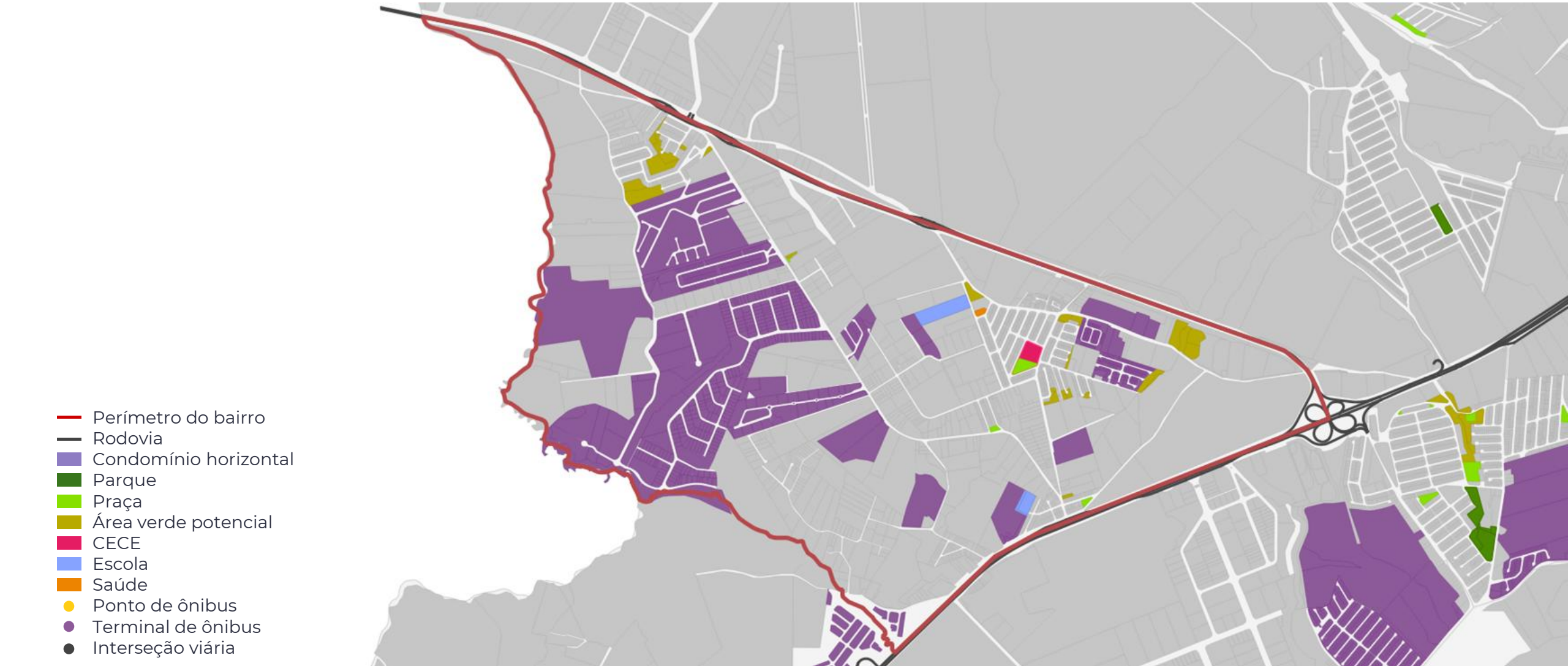
Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



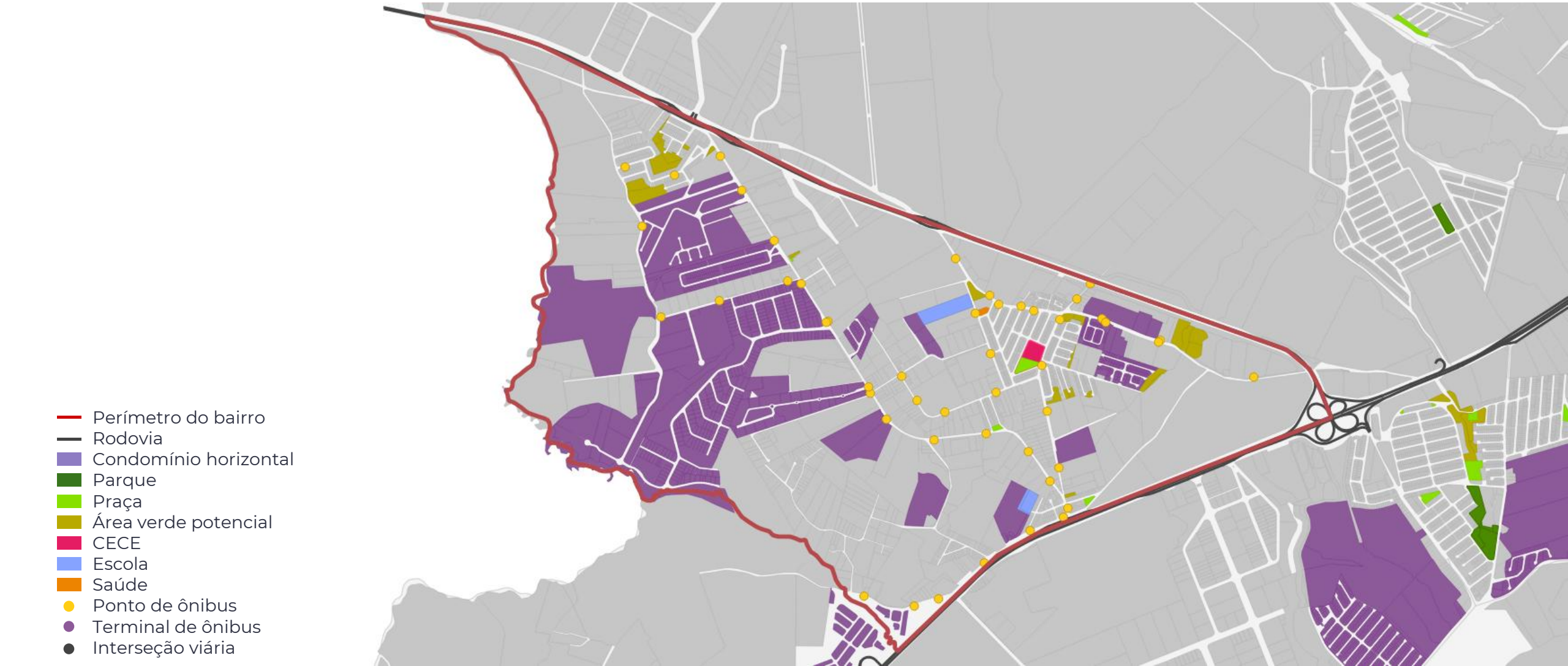
Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



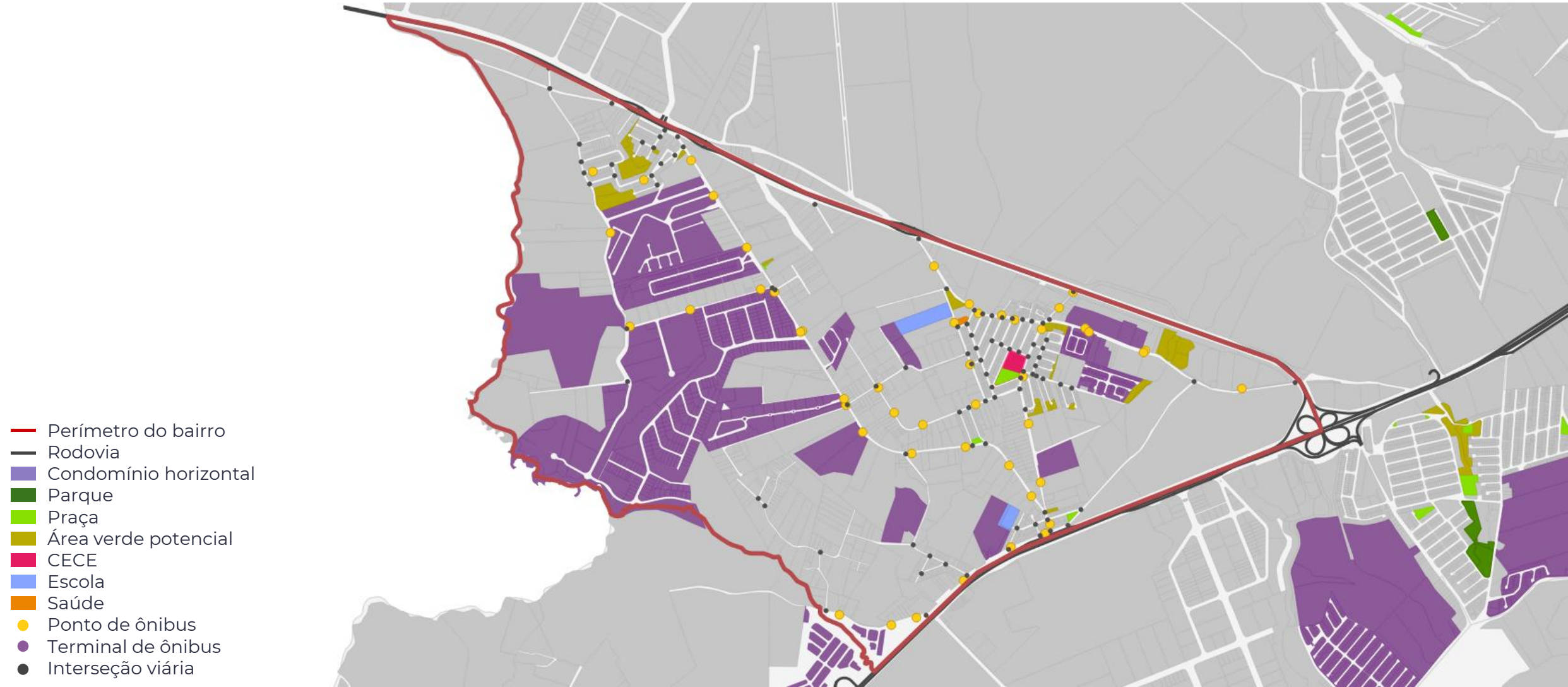
Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



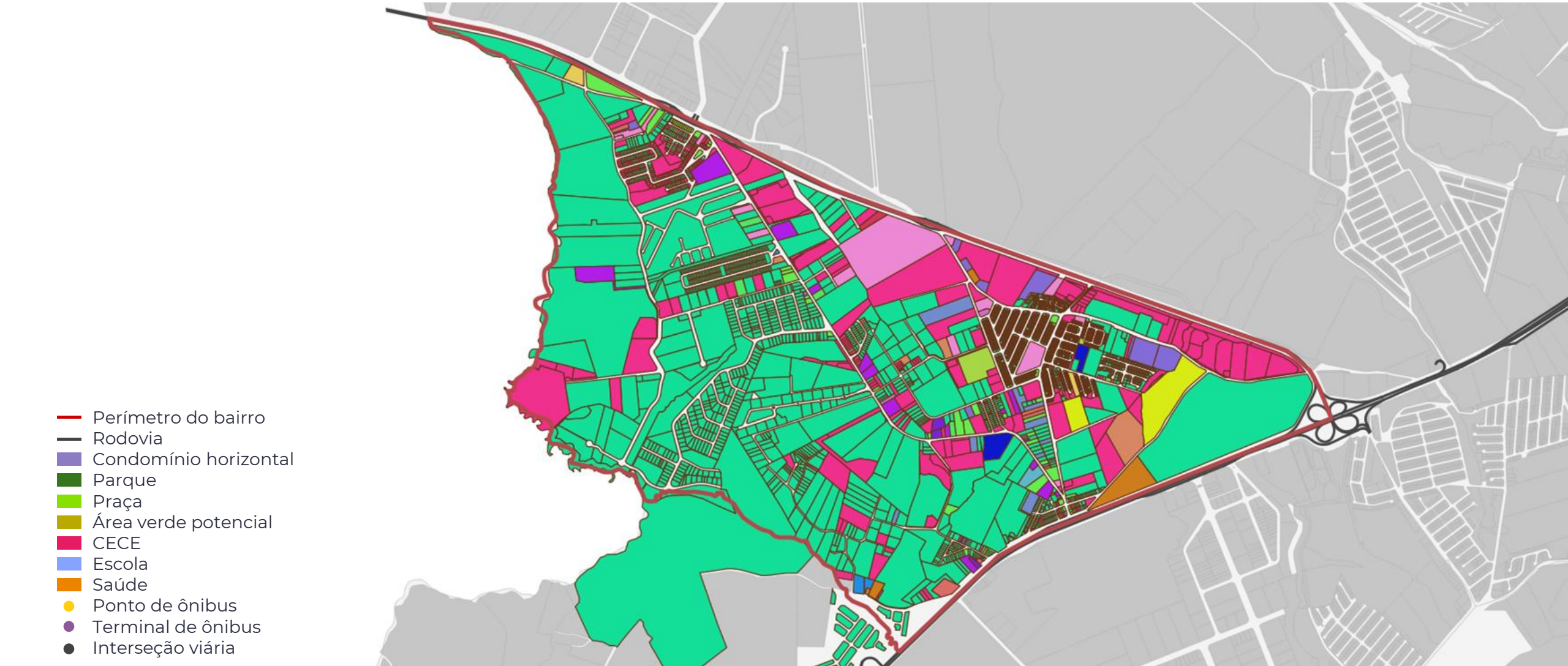
Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



Comparações

ÁREA ESPRAIADA - MEDEIROS



Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO



Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO



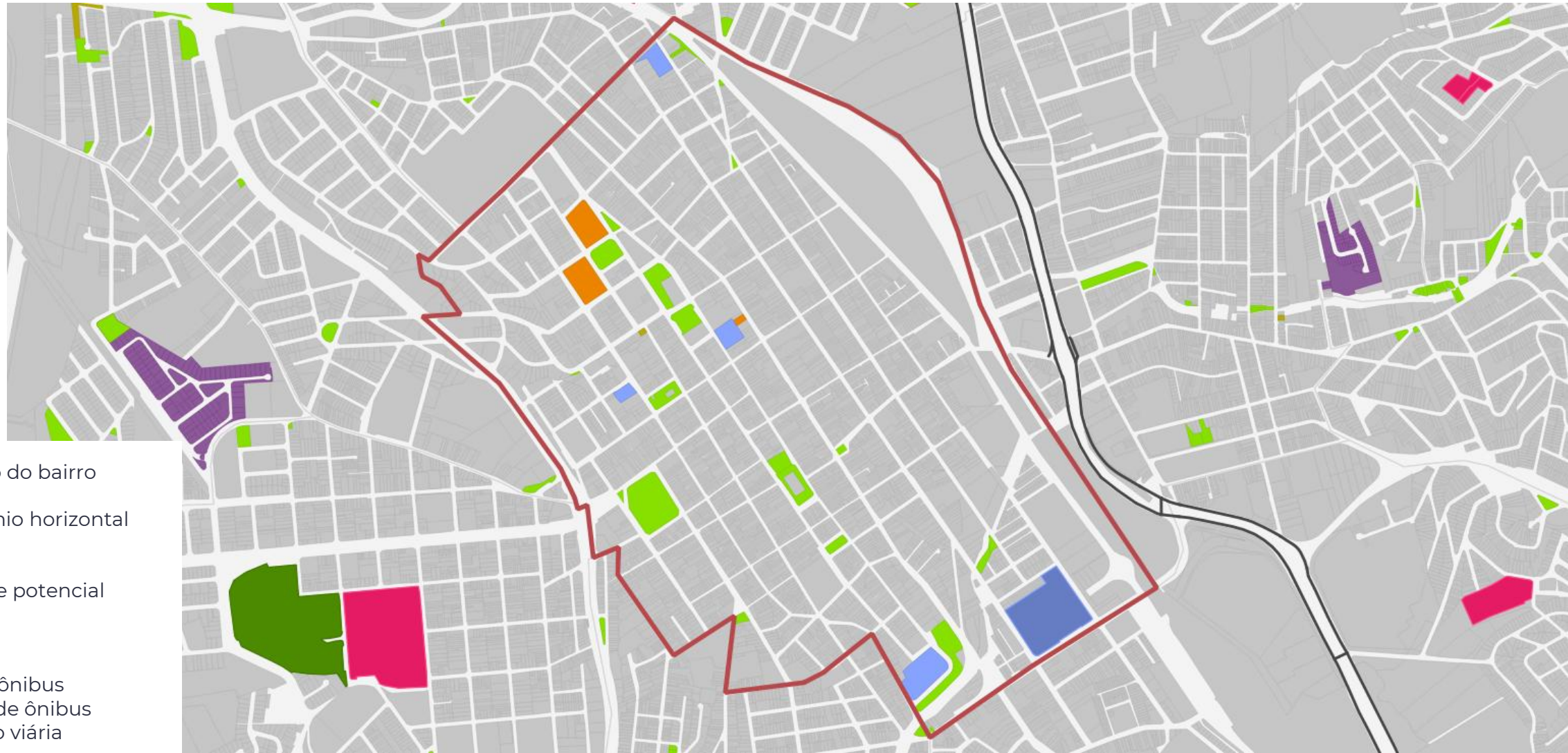
Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO



Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO



Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO



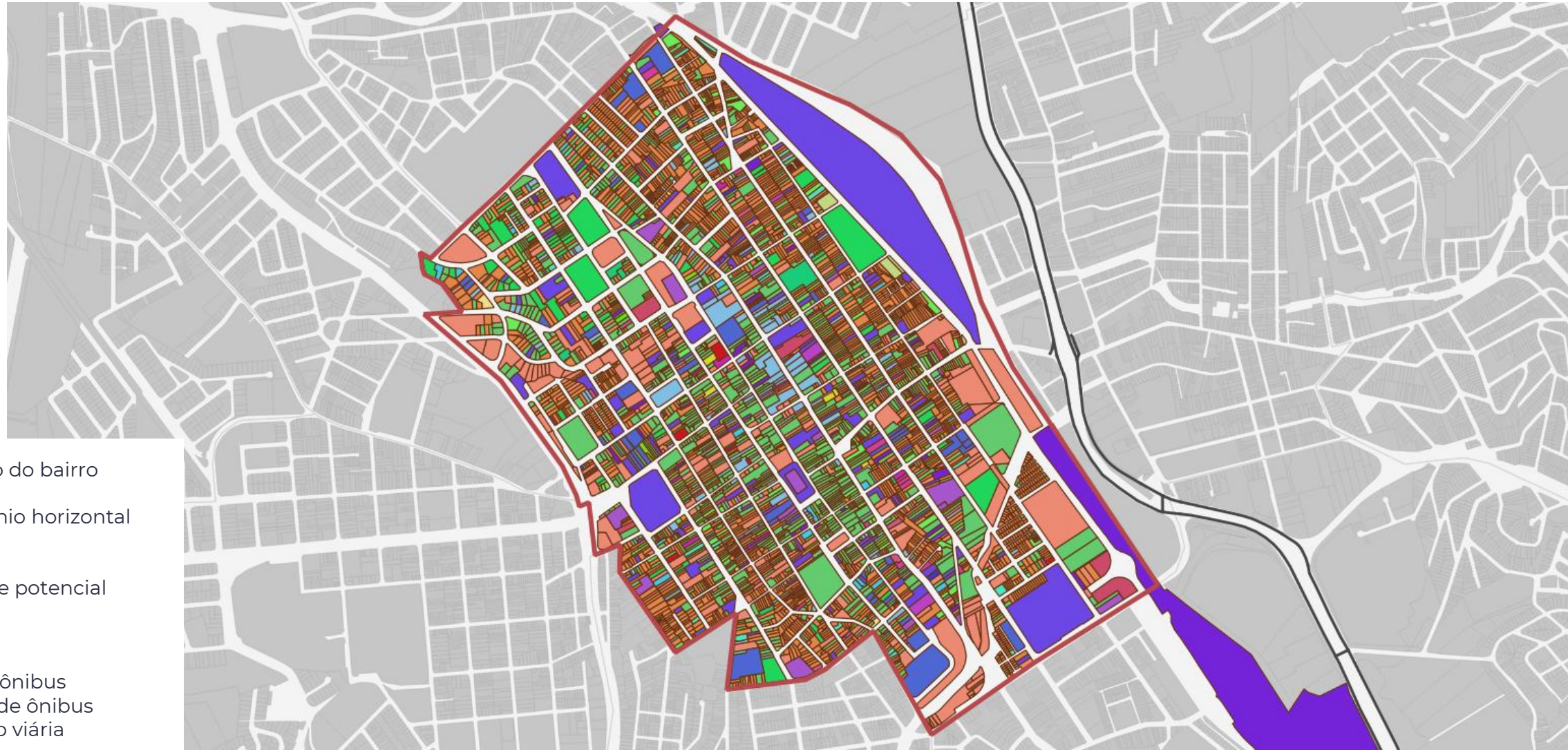
Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO

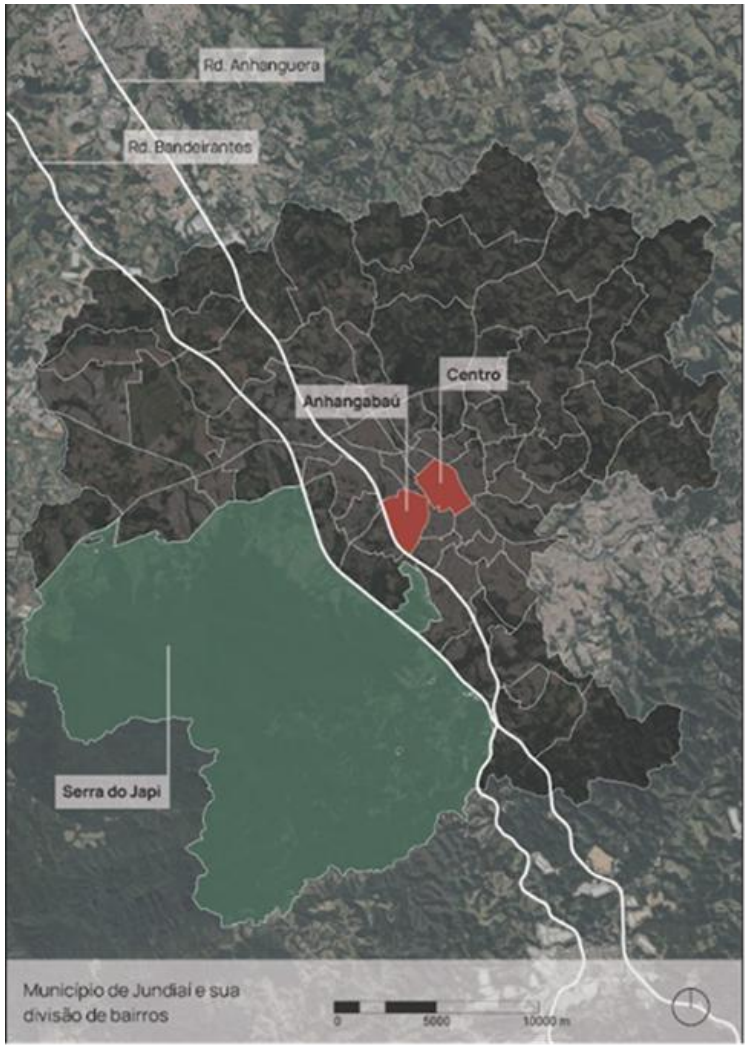


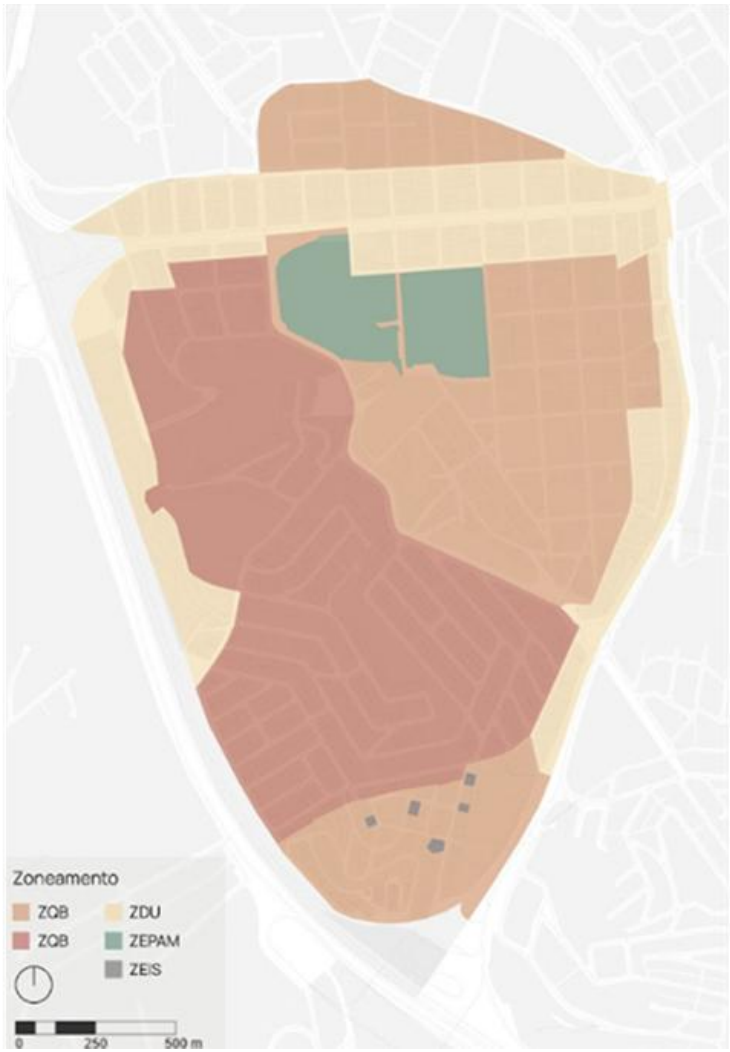
Comparações

ÁREA CENTRAL - CENTRO



Jundiaí | Caminhabilidade e aspectos ambientais em Jundiaí








Av. Jundiaí
Av. Amadeu Ribeiro
R. Giácomo Itria
R. Rodrigo de Oliveira
Av. Dona Manoela Lacerda
R. Eng. Hermenegildo de Almeida
Av. Pedro Blanco
Av. Coleta Ferraz de Castro
R. Álvaro Bizarro
R. Giovanni Morandini
R. Alberto da Costa
Av. Dr. Paulo Moutram
Índice Final de Continuidade de Calçada
≥ 1* e < 1,5
≥ 1,5 e < 2
≥ 2 e < 2,5
≥ 2,5 e ≤ 3
*não houve nenhum resultado menor que 1
0 125 250 500 m


Av. Jundiaí
Av. Amadeu Ribeiro
R. Giácomo Itria
R. Rodrigo de Oliveira
Av. Dona Manoela Lacerda
R. Eng. Hermenegildo de Almeida
Av. Pedro Blanco
Av. Coleta Ferraz de Castro
R. Álvaro Bizarro
R. Giovanni Morandini
R. Alberto da Costa
Av. Dr. Paulo Moutram
Índice Final de Condição de Calçada
≥ 1,5* e < 2
≥ 2 e < 2,5
≥ 2,5 e ≤ 3
*não houve nenhum resultado menor que 1,5
0 125 250 500 m


Av. Jundiaí
Av. Amadeu Ribeiro
R. Giácomo Itria
R. Rodrigo de Oliveira
Av. Dona Manoela Lacerda
R. Eng. Hermenegildo de Almeida
Av. Pedro Blanco
Av. Coleta Ferraz de Castro
R. Álvaro Bizarro
R. Giovanni Morandini
R. Alberto da Costa
Av. Dr. Paulo Moutram
Índice Final de Arborização
≥ 1* e < 1,5
≥ 1,5 e < 2
≥ 2 e < 2,5
≥ 2,5 e ≤ 3
0 125 250 500 m


Av. Jundiaí
Av. Amadeu Ribeiro
R. Giácomo Itria
R. Rodrigo de Oliveira
Av. Dona Manoela Lacerda
R. Eng. Hermenegildo de Almeida
Av. Pedro Blanco
Av. Coleta Ferraz de Castro
R. Álvaro Bizarro
R. Giovanni Morandini
R. Alberto da Costa
Av. Dr. Paulo Moutram
ndice Final de Caminhabilidade
≥ 1,5* e < 2
≥ 2 e < 2,5
≥ 2,5 e ≤ 3
0 125 250 500 m





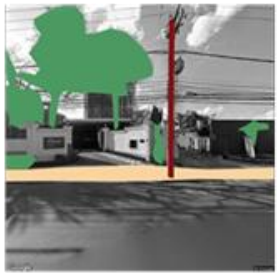






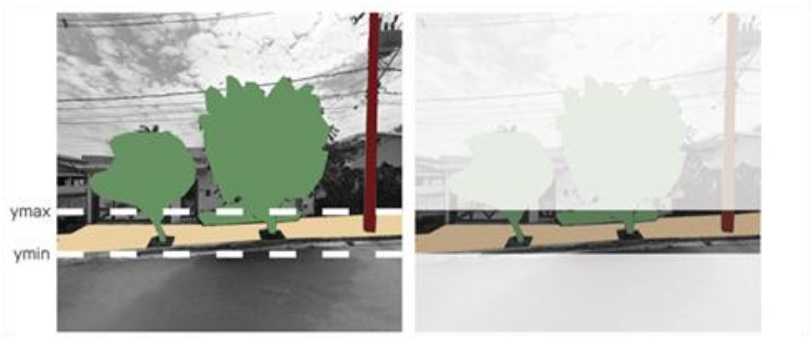









Pedestrian sidewalk continuity / Sidewalk obstructions



Street trees / green





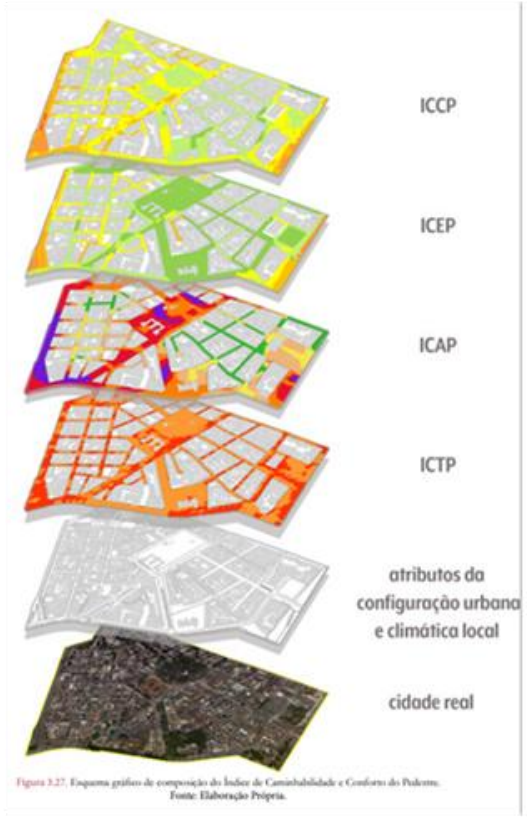
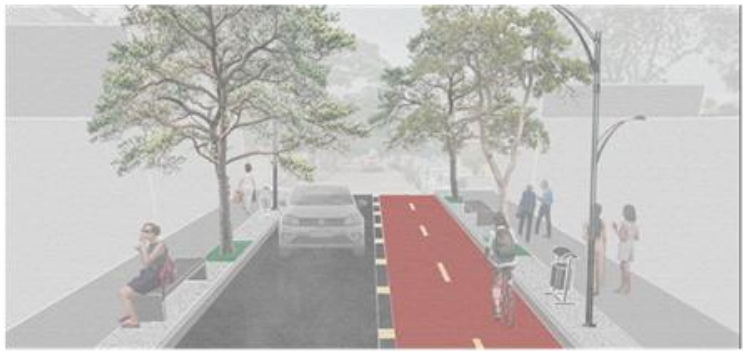


Figura 3.27. Esquema gráfico de composição do Índice de Caminhabilidade e Conforto do Pedestre.
Fonte: Elaboração Própria.

Índice de caminhabilidade + questões ambientais



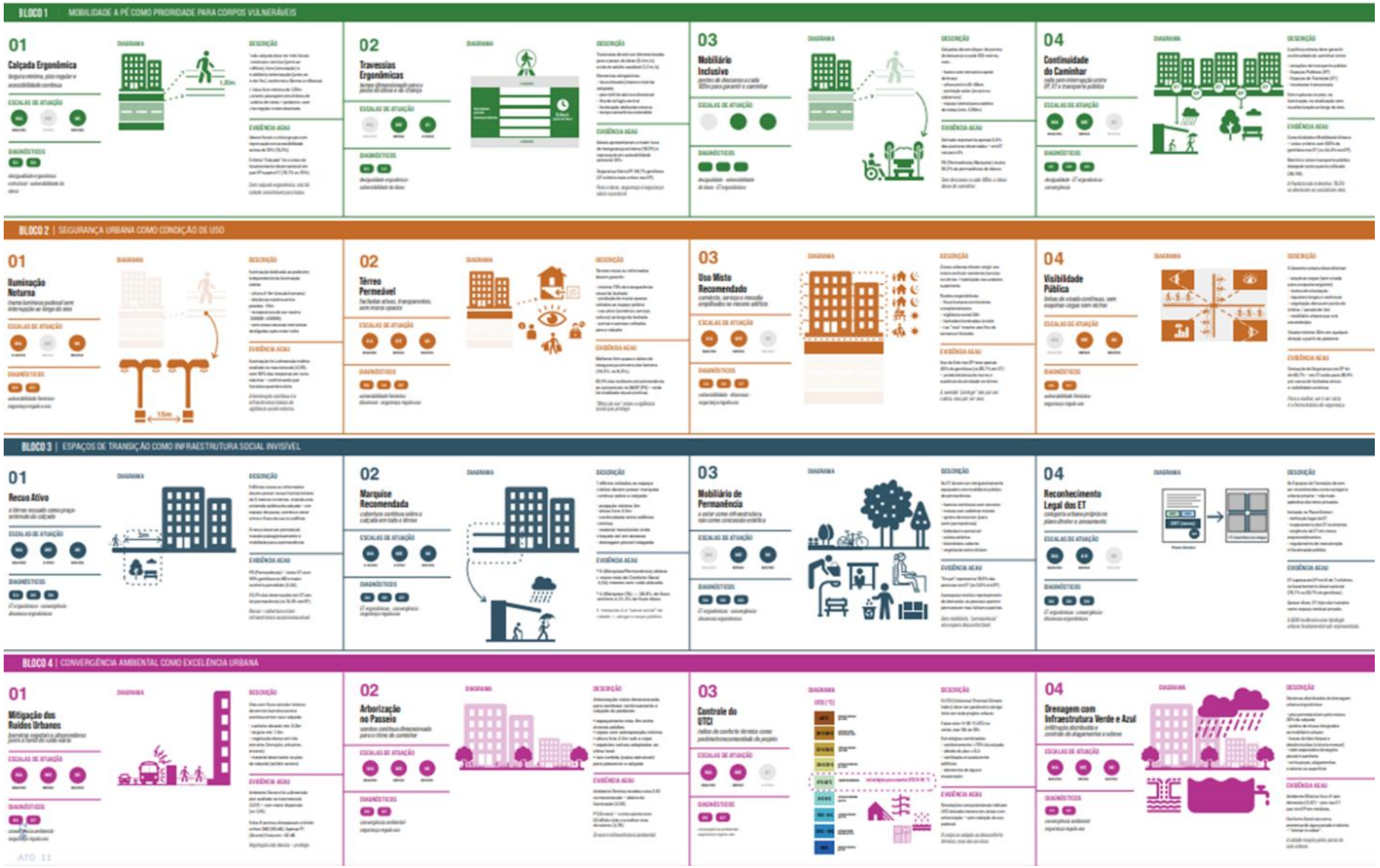








Dimensões e métricas para avaliação de caminhabilidade em públicos específicos – **André Eiji Sato, 2026.**



Diretrizes urbanas (corpos vulneráveis, segurança urbana, questões ambientais) – **André Eiji Sato, 2026.**

03

Mobiliário Inclusivo

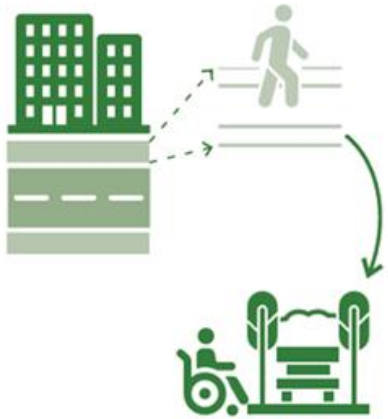
pontos de descanso a cada 100m para garantir o caminhar

ESCALAS DE ATUAÇÃO

DIAGNÓSTICOS

desigualdade · vulnerabilidade do idoso · ET ergonômicos

DIAGRAMA



DESCRIÇÃO

Calçadas devem dispor de pontos de descanso a cada 100 metros, com:

- banco com encosto e apoio de braço
- altura entre 45–48cm
- proteção solar (árvore ou cobertura)
- espaço lateral para cadeira de rodas (mín. 0,80m)

EVIDÊNCIA AEAU

Sentado representa apenas 5,5% das posturas observadas — em ET cai para 4%.

P6 (Permanência/Marquise) reuniu 55,3% da permanência de idosos.

Sem descanso a cada 100m, o idoso deixa de caminhar.

04

Drenagem com Infraestrutura Verde e Azul

infiltração distribuída e controle de alagamentos e odores

ESCALAS DE ATUAÇÃO

MA MACRO · ME MESO · MI MICRO

DIAGNÓSTICOS

D5 D7

convergência ambiental · segurança regula uso

DIAGRAMA



DESCRIÇÃO

Sistemas distribuídos de drenagem urbana ergonômica:

- piso permeável em pelo menos 30% da calçada
- jardins de chuva integrados ao mobiliário urbano
- bocas de lobo limpas e desobstruídas (vistoria mensal)
- rede separadora de esgoto pluvial e sanitário
- evita poças, alagamentos e odores na superfície

EVIDÊNCIA AEAU

Ambiente Olfativo foi a 4ª pior dimensão (3,57) — pior nos ET que nos EP em mediana.

Conforto Geral cai com a presença de água parada e odores — "drenar é cuidar".

A cidade respira pelos poros do solo urbano.

03

Controle do UTCI

índice de conforto térmico como parâmetrorecomendado de projeto

ESCALAS DE ATUAÇÃO

MA MACRO · ME MESO · MI MICRO

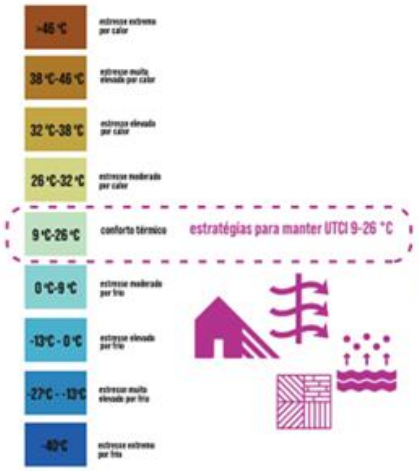
DIAGNÓSTICOS

D5 D7

convergência ambiental · segurança regula uso

DIAGRAMA

UTCI (°C)



DESCRIÇÃO

O UTCI (Universal Thermal Climate Index) deve ser parâmetro obrigatório em todo projeto urbano.

Faixa-alvo: 9-26 °C UTCI no verão, das 10h às 16h.

Estratégias combinadas:
- sombreamento >70% da calçada
- albedo do piso ≥ 0,4
- ventilação cruzada entre edifícios
- elementos de água e evaporação

EVIDÊNCIA AEAU

Simulações computacionais indicam UTCI elevado mesmo em áreas com arborização — sem redução do uso pedonal.

O corpo se adapta ao desconforto térmico, mas não ao risco.

02

Arborização no Passeio

sombra contínua dimensionada para o ritmo do caminhar

ESCALAS DE ATUAÇÃO

MA MACRO · ME MESO · MI MICRO

DIAGNÓSTICOS

D5 D7

convergência ambiental · segurança regula uso

DIAGRAMA



DESCRIÇÃO

Arborização viária dimensionada para sombrear continuamente a calçada do pedestre:

- espaçamento máx. 8m entre árvores adultas
- copas com sobreposição mínima
- altura livre 2,5m sob a copa
- espécies nativas adaptadas ao clima local
- raiz contida (caixa estrutural) para preservar a calçada

EVIDÊNCIA AEAU

Ambiente Térmico recebeu nota 3,92 na macroescala — abaixo da Iluminação (4,36).

P1 (Árvore) — o único ponto com 52 dB de ruído e a melhor nota de sonoro (4,76).

Árvore é infraestrutura ambiental.

Acomodação Sustentável do Crescimento Urbano das Cidades Paulistas

CCD USP CIDADES

Equipe Responsável

Pesquisadora Principal
Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo
Profa. Dra. Roberta Consentino Kronka Mülfarth

Pós - Doutorado
Maria Carla Queiroz Diniz de Oliveira
Nádia Matioli Yazbek Bitar

Doutorado
André Eiji Sato
Daniel Lins Falcone Pontes

Mestrado
Alícya David Ferreira Alves
Ana Beatriz Ferreira Stringhini
Mariela Midori Domingues Succi

Graduação
Carolina Lopes Casella
Daniela Cardoso Porto Ferreira
Gustavo Paiva Amaral Carneiro
João Vitor Macedo Bertoni
Leonardo Caetano Franco
Roberto Candido de Oliveira Junior
Sabrina Domingues Miranda

Referências

BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington, DC: Island Press, 2006.

CRONEBORG, Louise; SAITO, Keiko; MATERA, Michel; McKEOWN, Don; VAN AARDT, Jan. Digital Elevation Models: a guidance note on how Digital Elevation Models are created and used – includes key definitions, sample Terms of Reference and how best to plan a DEM-mission. Washington, DC: World Bank Group; GFDRR, 2015.

GRASS Development Team, 2025. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 8.4. Open Source Geospatial Foundation. https://grass.osgeo.org, DOI: 10.5281/zenodo.5176030

MCHARG, Ian L. Design with Nature. Garden City, NY: Natural History Press, 1969.

NANDAM, Vineela; PATEL, P. L. A framework to assess suitability of global digital elevation models for hydrodynamic modelling in data scarce regions. Journal of Hydrology, v. 630, 2024, 130654. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.130654.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Digital Elevation Model. Reston, VA: USGS, [2000]. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 28 maio 2026.

Acomodação Sustentável do Crescimento Urbano das Cidades Paulistas

CCD USP CIDADES

Obrigada!

rkronka@usp.br
amarilisgallardo@usp.br