

Título do capítulo	CAPÍTULO 9 ESTIMATIVAS DE ACESSIBILIDADE
Autor(es)	Rafael H. M. Pereira Daniel Herszenhut
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350547cap9

Título do livro	Introdução à Acessibilidade Urbana: um guia prático em R
Organizadores(as)	Rafael H. M. Pereira Daniel Herszenhut
Volume	1
Série	-
Cidade	Rio de Janeiro
Editora	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)
Ano	2023
Edição	1a
ISBN	9786556350547
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350547

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2023

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesso: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

9 ESTIMATIVAS DE ACESSIBILIDADE

Finalmente, o pacote `{aopdata}` também permite baixar, para todas as cidades incluídas no projeto, estimativas de acesso a empregos e a serviços de saúde, de educação e de assistência social para 2017, 2018 e 2019.

Esses dados podem ser baixados com a função `read_access()`, que funciona de maneira análoga às funções `read_population()` e `read_landuse()`, apresentadas anteriormente. Além de indicar a cidade (parâmetro `city`) e o ano de referência (`year`), no entanto, é necessário também informar o modo de transporte (`mode`) e o intervalo do dia (pico, entre 6h e 8h, ou fora do pico, entre 14h e 16h, controlado pelo parâmetro `peak`).

No exemplo a seguir, mostramos como baixar estimativas de acessibilidade no período de pico em São Paulo referentes a 2019. Nesse exemplo, baixamos as estimativas de acessibilidade tanto por automóvel quanto por transporte público e as unimos em um único `data.frame`. Note que essa função resulta em uma tabela que traz também, automaticamente, os dados de população e de uso do solo.

```
# baixa dados do AOP de acessibilidade por transporte público
acesso_tp <- aopdata::read_access(
  city = "São Paulo",
  mode = "public_transport",
  year = 2019,
  peak = TRUE,
  geometry = TRUE,
  showProgress = FALSE
)

# baixa dados do AOP de acessibilidade por automóvel
acesso_carro <- aopdata::read_access(
  city = "São Paulo",
  mode = "car",
  year = 2019,
  peak = TRUE,
  geometry = TRUE,
  showProgress = FALSE
)

# junta os dados em um único dataframe
dados_sp <- rbind(acesso_tp, acesso_carro)
```

```
names(dados_sp)
```

```
[1] "id_hex"      "abbrev_muni" "name_muni"   "code_muni"   "year"
[6] "P001"       "P002"       "P003"       "P004"       "P005"
[11] "P006"       "P007"       "P010"       "P011"       "P012"
[16] "P013"       "P014"       "P015"       "P016"       "R001"
[21] "R002"       "R003"       "T001"       "T002"       "T003"
[26] "T004"       "E001"       "E002"       "E003"       "E004"
[31] "M001"       "M002"       "M003"       "M004"       "S001"
[36] "S002"       "S003"       "S004"       "C001"       "mode"
[41] "peak"       "CMATT15"    "CMATB15"    "CMATM15"    "CMATA15"
[46] "CMAST15"    "CMASB15"    "CMASM15"    "CMASA15"    "CMAET15"
[51] "CMAEI15"    "CMAEF15"    "CMAEM15"    "CMAMT15"    "CMAMI15"
[56] "CMAMF15"    "CMAMM15"    "CMACT15"    "CMPPT15"    "CMPPH15"
[61] "CMPPM15"    "CMPPB15"    "CMPPA15"    "CMPP15"     "CMPPN15"
[66] "CMPP0005I15" "CMPP0614I15" "CMPP1518I15" "CMPP1924I15" "CMPP2539I15"
[71] "CMPP4069I15" "CMPP70I15"  "CMATT30"    "CMATB30"    "CMATM30"
[76] "CMATA30"    "CMAST30"    "CMASB30"    "CMASM30"    "CMASA30"
[81] "CMAET30"    "CMAEI30"    "CMAEF30"    "CMAEM30"    "CMAMT30"
[86] "CMAMI30"    "CMAMF30"    "CMAMM30"    "CMACT30"    "CMPPT30"
[91] "CMPPH30"    "CMPPM30"    "CMPPB30"    "CMPPA30"    "CMPP130"
[96] "CMPPN30"    "CMPP0005I30" "CMPP0614I30" "CMPP1518I30" "CMPP1924I30"
[101] "CMPP2539I30" "CMPP4069I30" "CMPP70I30"  "CMATT60"    "CMATB60"
[106] "CMATM60"    "CMATA60"    "CMAST60"    "CMASB60"    "CMASM60"
[111] "CMASA60"    "CMAET60"    "CMAEI60"    "CMAEF60"    "CMAEM60"
[116] "CMAMT60"    "CMAMI60"    "CMAMF60"    "CMAMM60"    "CMACT60"
[121] "CMPPT60"    "CMPPH60"    "CMPPM60"    "CMPPB60"    "CMPPA60"
[126] "CMPP160"    "CMPPN60"    "CMPP0005I60" "CMPP0614I60" "CMPP1518I60"
[131] "CMPP1924I60" "CMPP2539I60" "CMPP4069I60" "CMPP70I60"  "CMATT90"
[136] "CMATB90"    "CMATM90"    "CMATA90"    "CMAST90"    "CMASB90"
[141] "CMASM90"    "CMASA90"    "CMAET90"    "CMAEI90"    "CMAEF90"
[146] "CMAEM90"    "CMAMT90"    "CMAMI90"    "CMAMF90"    "CMAMM90"
[151] "CMACT90"    "CMPPT90"    "CMPPH90"    "CMPPM90"    "CMPPB90"
[156] "CMPPA90"    "CMPP190"    "CMPPN90"    "CMPP0005I90" "CMPP0614I90"
[161] "CMPP1518I90" "CMPP1924I90" "CMPP2539I90" "CMPP4069I90" "CMPP70I90"
[166] "CMATT120"   "CMATB120"   "CMATM120"   "CMATA120"   "CMAST120"
[171] "CMASB120"   "CMASM120"   "CMASA120"   "CMAET120"   "CMAEI120"
[176] "CMAEF120"   "CMAEM120"   "CMAMT120"   "CMAMI120"   "CMAMF120"
[181] "CMAMM120"   "CMACT120"   "CMPPT120"   "CMPPH120"   "CMPPM120"
[186] "CMPPB120"   "CMPPA120"   "CMPP120"    "CMPPN120"   "CMPP0005I120"
[191] "CMPP0614I120" "CMPP1518I120" "CMPP1924I120" "CMPP2539I120" "CMPP4069I120"
[196] "CMPP70I120" "TMIST"      "TMISB"      "TMISM"      "TMISA"
[201] "TMIEF"      "TMIEI"     "TMIEF"     "TMIEM"     "TMICT"
[206] "geometry"
```

Como podemos ver, assim como nos casos das tabelas de dados sociodemográficos e de uso do solo, os nomes das variáveis de estimativas de acessibilidade estão organizados em códigos, como CMAEF30, TMISB e CMPPM60. Esses códigos são resultado da combinação de três componentes, conforme descrito a seguir.

- 1) O tipo de indicador de acessibilidade: é indicado pelas três primeiras letras do código. Os dados incluem três categorias de indicadores:
 - a) CMA – indicador de acessibilidade cumulativa ativa;
 - b) CMP – indicador de acessibilidade cumulativa passiva; e
 - c) TMI – indicador de tempo mínimo até a oportunidade mais próxima.
- 2) O tipo de atividade para a qual os níveis de acessibilidade foram calculados ou a que pessoas o indicador se refere: é descrito pelas letras seguintes, que estão no meio do código. Os dados incluem estimativas de acessibilidade para diversos tipos de atividades:
 - a) TT – todos os empregos;
 - b) TB – empregos de baixa escolaridade;
 - c) TM – empregos de média escolaridade;
 - d) TA – empregos de alta escolaridade;
 - e) ST – todos os estabelecimentos públicos de saúde;
 - f) SB – estabelecimentos públicos de saúde de baixa complexidade;
 - g) SM – estabelecimentos públicos de saúde de média complexidade;
 - h) SA – estabelecimentos públicos de saúde de alta complexidade;
 - i) ET – todas as escolas públicas;
 - j) EI – escolas públicas de ensino infantil;
 - k) EF – escolas públicas de ensino fundamental;
 - l) EM – escolas públicas de ensino médio;
 - m) MT – todas as matrículas de escolas públicas;
 - n) MI – matrículas de escolas públicas de ensino infantil;
 - o) MF – matrículas de escolas públicas de ensino fundamental;
 - p) MM – matrículas de escolas públicas de ensino médio; e
 - q) CT – todos os CRAS.

No caso do CMP, as letras no meio do nome da variável indicam a qual grupo populacional os níveis de acessibilidade se referem:

- a) PT – toda a população;
 - b) PH – população de homens;
 - c) PM – população de mulheres;
 - d) PB – população branca;
 - e) PN – população negra;
 - f) PA – população amarela;
 - g) PI – população indígena;
 - h) P0005I – população de 0 a 5 anos;
 - i) P0614I – população de 6 a 14 anos;
 - j) P1518I – população de 15 a 18 anos;
 - k) P1924I – população de 19 a 24 anos;
 - l) P2539I – população de 25 a 39 anos;
 - m) P4069I – população de 40 a 69 anos; e
 - n) P70I – população de 70 anos ou mais.
- 3) O tempo limite de viagem utilizado no cálculo do indicador: é descrito pelos números ao final do código. Esses números somente se aplicam ao CMA e ao CMP e incluem os limites de 15, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos, dependendo do modo de transporte.

São exemplos:

- CMAEF30: número de escolas públicas de ensino fundamental acessíveis em até 30 minutos de viagem;
- TMISB: tempo de viagem até o estabelecimento público de saúde com serviços de baixa complexidade mais próximo; e
- CMPPM60: quantidade de mulheres que conseguem acessar determinada célula da grade espacial em até 60 minutos de viagem.

A descrição completa das variáveis também pode ser consultada na documentação da função, rodando em uma sessão de R o comando `?read_access`. As subseções a seguir mostram exemplos de visualizações desses dados em forma de mapas e gráficos.

9.1 Mapa do tempo para acessar o hospital mais próximo

Neste exemplo, comparamos o tempo de acesso por automóvel e por transporte público até o hospital mais próximo de cada hexágono. Para analisar o tempo mínimo de viagem (TMI) até hospitais de alta complexidade (SA), utilizamos a variável TMISA. Com o código a seguir, carregamos as bibliotecas de visualização de dados e apresentamos a distribuição espacial do tempo de acesso com os dois modos de transporte. Como os tempos de viagem por transporte público costumam ser muito mais longos do que por automóvel, truncamos a distribuição dos valores da variável em sessenta minutos.

```
library(ggplot2)
library(patchwork)

# trunca os tempos de viagem em 60 minutos
dados_sp$TMISA <- ifelse(dados_sp$TMISA > 60, 60, dados_sp$TMISA)

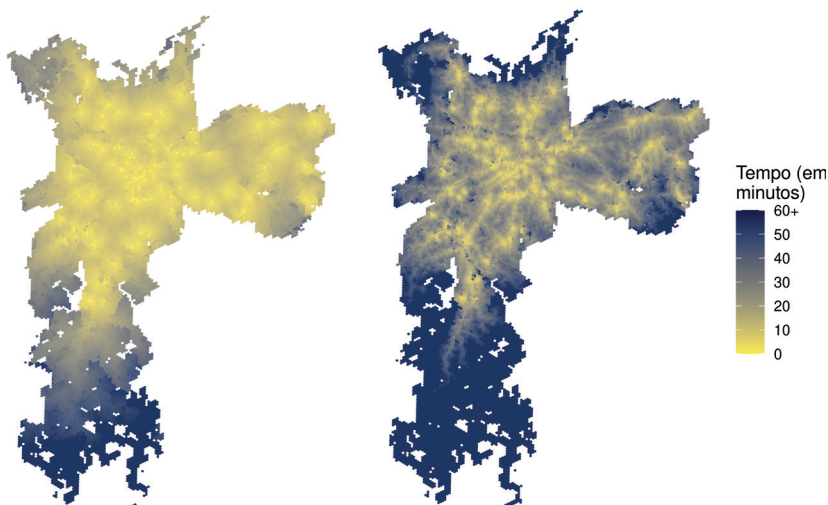
ggplot(subset(dados_sp, !is.na(mode))) +
  geom_sf(aes(fill = TMISA), color = NA, alpha = 0.9) +
  scale_fill_viridis_c(
    option = "cividis",
    direction = -1,
    breaks = seq(0, 60, 10),
    labels = c(seq(0, 50, 10), "60+")
  ) +
  labs(fill = "Tempo (em\nminutos)") +
  facet_wrap(
    ~ mode,
    labeller = as_labeller(
      c(car = "Carro", public_transport = "Transporte público")
    )
  ) +
  theme_void()
```

FIGURA 30

Tempo de viagem até o hospital de alta complexidade mais próximo em São Paulo

Carro

Transporte público



Fonte: Figura gerada pelo código supracitado.

9.2 Mapa da quantidade de empregos acessíveis

Os dados do `{aopdata}` também tornam muito simples a comparação da quantidade de oportunidades acessíveis em diferentes tempos de viagem. Com o código a seguir, por exemplo, ilustramos como visualizar lado a lado as distribuições espaciais do número de empregos acessíveis em até sessenta e noventa minutos de viagem, respectivamente, por transporte público.

```
# estabelece valores usados na legenda do mapa
limites_legenda <- c(0, max(acesso_tp$CMATT90, na.rm = TRUE) /
1000000)

# configura os mapas

fig60 <- ggplot(subset(acesso_tp, !is.na(mode))) +
  geom_sf(aes(fill = CMATT60 / 1000000), color = NA, alpha = 0.9) +
  scale_fill_viridis_c(option = "inferno", limits = limites_legenda) +
  labs(
    subtitle = "Até sessenta minutos de viagem",
    fill = "Empregos\n(em milhões)"
  ) +
  theme_void()
```

```

fig90 <- ggplot(subset(acesso_tp, !is.na(mode))) +
  geom_sf(aes(fill = CMATT90 / 1000000), color = NA, alpha = 0.9) +
  scale_fill_viridis_c(option = "inferno", limits = limites_legenda) +
  labs(
    subtitle = "Até noventa minutos de viagem",
    fill = "Empregos\n(em milhões)"
  ) +
  theme_void()

fig60 + fig90 + plot_layout(guides = "collect")

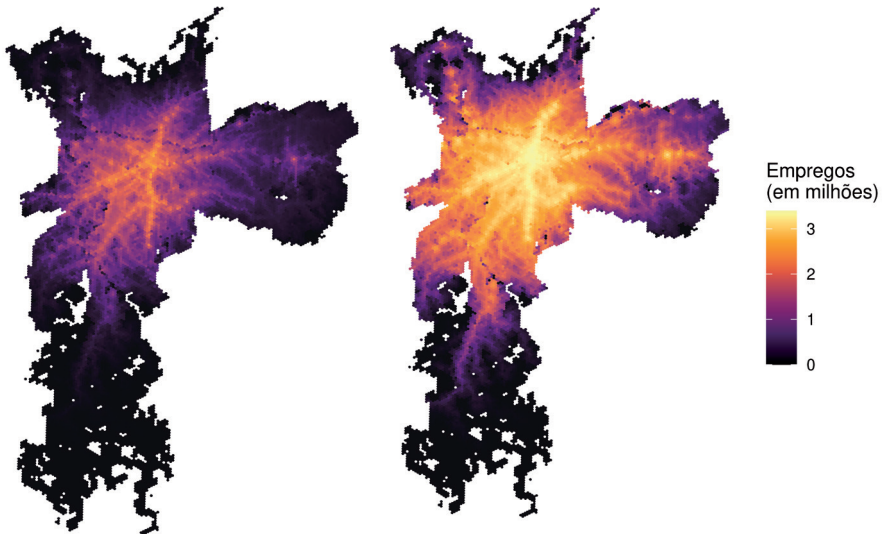
```

FIGURA 31

Quantidade de empregos acessíveis por transporte público em São Paulo

Até sessenta minutos de viagem

Até noventa minutos de viagem



Fonte: Figura gerada pelo código supracitado.

9.3 Desigualdades de acesso a oportunidades

Existem diversas maneiras de analisar quão desiguais são as condições de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras a partir dos dados do `{aopdata}`. Nesta subseção, apresentamos três exemplos desse tipo de análise.

9.3.1 Desigualdade no tempo de acesso a oportunidades

Neste primeiro exemplo, vamos comparar o tempo médio de viagem até o hospital público mais próximo de pessoas de diferentes níveis de renda. Para isso, calculamos o tempo médio de acesso a estabelecimentos de saúde de alta complexidade ponderado pela população de cada célula da nossa grade espacial. Essa ponderação é necessária porque cada célula, por abrigar um número de pessoas diferente das demais, contribui de forma diferente para a média da população como um todo.

Antes de realizar o cálculo, cabe observar que alguns hexágonos da cidade não conseguem acessar nenhum hospital em até duas horas de viagem. Nesses casos, o valor das variáveis de tempo mínimo de viagem é Inf. Para lidar com isso, neste exemplo substituímos todos os valores Inf por um tempo de viagem de 120 minutos.

```
# copia os dados de acesso em um novo dataframe
desigualdade_tp <- data.table::as.data.table(acesso_tp)

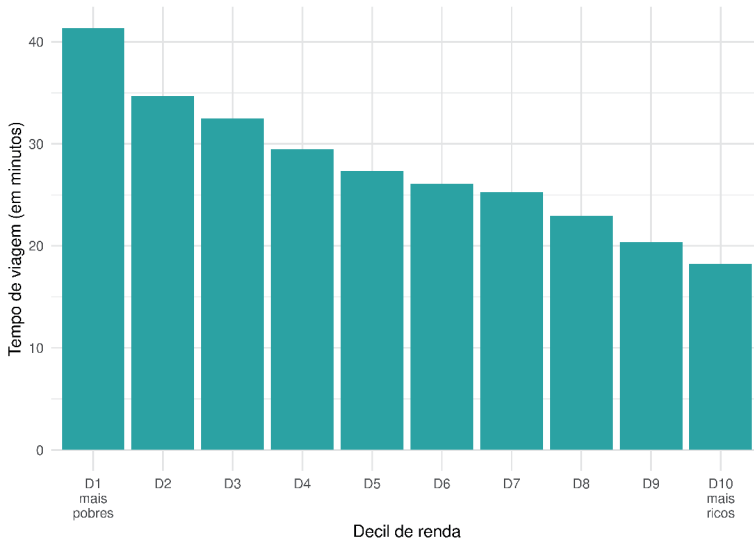
# substitui os valores Inf por 120
desigualdade_tp[, TMISA := ifelse(is.infinite(TMISA), 120, TMISA)]

# calcula o tempo de viagem médio por decil de renda
desigualdade_tp <- desigualdade_tp[
  ,
  .(media = weighted.mean(x = TMISA, w = P001, na.rm = TRUE)),
  by = R003
]
desigualdade_tp <- subset(desigualdade_tp, !is.na(media))

ggplot(desigualdade_tp) +
  geom_col(aes(y = media, x = factor(R003)), fill =
"#2c9e9e", color = NA) +
  scale_x_discrete(
    labels = c("D1\nmais\npobres", paste0("D", 2:9), "D10\
nmais\nricos")
  ) +
  labs(x = "Decil de renda", y = "Tempo de viagem (em minutos)") +
  theme_minimal()
```

FIGURA 32

Média de tempo de viagem por transporte público em São Paulo até o hospital mais próximo



Fonte: Figura gerada pelo código supracitado.

9.3.2 Desigualdade no número de oportunidades acessíveis

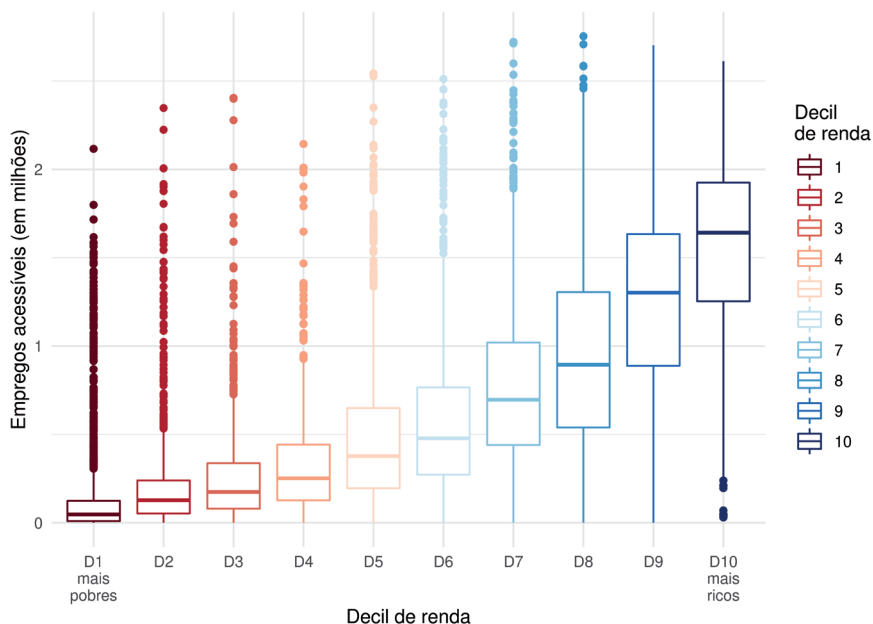
Outra maneira de examinar a desigualdade de acesso a oportunidades é comparar a quantidade de oportunidades acessíveis por diferentes grupos populacionais considerando os mesmos modos de transporte e limites de tempo de viagem. Nesse caso, analisamos o indicador de acessibilidade cumulativa ativa, representado por variáveis cujos códigos começam com CMA na base de dados do {aopdata}. No exemplo a seguir, comparamos a quantidade de empregos acessíveis por pessoas de diferentes decis de renda, considerando viagens de transporte público limitadas em sessenta minutos de viagem.

```
ggplot(subset(acesso_tp, !is.na(R003))) +
  geom_boxplot(
    aes(x = factor(R003), y = CMATT60 / 1000000, color = factor(R003))
  ) +
  scale_color_brewer(palette = "RdBu") +
  labs(
    color = "Decil\nde renda",
    x = "Decil de renda",
    y = "Empregos acessíveis (em milhões)"
  ) +
```

```
scale_x_discrete(
  labels = c("D1\nmais\npobres", paste0("D", 2:9), "D10\nmais\nricos")
) +
theme_minimal()
```

FIGURA 33

Distribuição do número de empregos acessíveis em até sessenta minutos por transporte público em São Paulo



Fonte: Figura gerada pelo código supracitado.

Por fim, podemos também comparar como o uso de diferentes modos de transporte resulta em diferentes níveis de acessibilidade para a população e como essa diferença varia entre cidades. No exemplo a seguir, comparamos a quantidade de empregos acessíveis em até trinta minutos de viagem a pé e de carro. Para isso, precisamos primeiro baixar os dados de acessibilidade por ambos os modos para todas as cidades do projeto.

```
dados_carro <- aopdata::read_access(
  city = "all",
  mode = "car",
  year = 2019,
  showProgress = FALSE
)
```

```

dados_caminhada <- aopdata::read_access(
  city = "all",
  mode = "walk",
  year = 2019,
  showProgress = FALSE
)

```

Em seguida, calculamos para cada cidade e para cada modo de transporte a média ponderada do número de empregos acessíveis em até trinta minutos (CMATT30). Feito isso, juntamos essas estimativas em uma única tabela e calculamos a razão entre os níveis de acessibilidade por carro e os níveis de acessibilidade a pé.

```

# calcula a média de empregos acessíveis em 30 minutos

media_carro <- dados_carro[
  ,
  .(acesso_carro = weighted.mean(CMATT30, w = P001,
    na.rm = TRUE)),
  by = name_muni
]

media_caminhada <- dados_caminhada[
  ,
  .(acesso_caminhada = weighted.mean(CMATT30, w = P001,
    na.rm = TRUE)),
  by = name_muni
]

# junta os dados e calcula a razão entre o nível de acesso
# por carro e a pé
media_acesso <- merge(media_carro, media_caminhada)
media_acesso[, razao := acesso_carro / acesso_caminhada]

head(media_acesso)

```

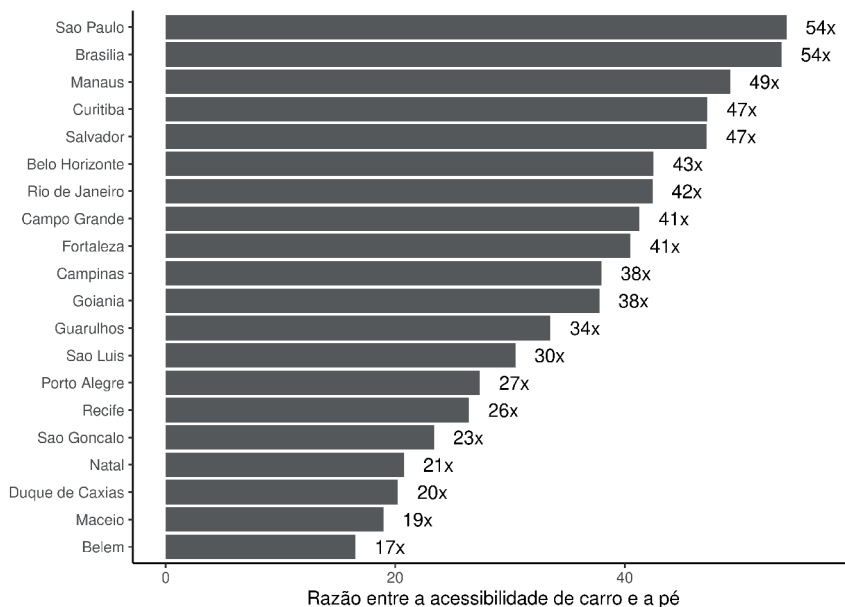
	name_muni	acesso_carro	acesso_caminhada	razao
1:	Belem	155270.4	9392.235	16.53179
2:	Belo Horizonte	529890.0	12464.233	42.51284
3:	Brasilia	220575.9	4110.703	53.65892
4:	Campinas	256333.1	6748.923	37.98133
5:	Campo Grande	172680.5	4181.209	41.29919
6:	Curitiba	494376.9	10471.135	47.21331

Finalmente, podemos visualizar os resultados graficamente:

```
ggplot(media_acesso, aes(x = razao, y = reorder(name_muni,
razao))) +
  geom_bar(stat = "identity") +
  geom_text(aes(x = razao + 3 , label = paste0(round(razao),
"x")))) +
  labs(y = NULL, x = "Razão entre a acessibilidade de carro e
a pé") +
  theme_classic()
```

FIGURA 34

Diferença entre a quantidade de empregos acessíveis por automóvel e por caminhada em até trinta minutos de viagem nas vinte maiores cidades do Brasil



Fonte: Figura gerada pelo código supracitado.

Como esperado, a figura 34 mostra que é possível acessar muito mais empregos em até trinta minutos com viagens de carro do que com viagens a pé. Essa diferença, porém, varia muito entre cidades. Em São Paulo e em Brasília, viagens de automóvel de até trinta minutos permitem acessar, em média, um número de empregos 54 vezes maior do que viagens a pé de mesma duração. Em Belém, onde observamos a menor diferença, o automóvel permite acessar 17 vezes mais empregos do que a caminhada – razão ainda considerável, porém menor do que a das demais cidades.