

# Monetização de Benefícios Socioambientais

---

## Linha Sul do Metrofor



## **Ficha Técnica**

*Governador do Estado do Ceará*  
Camilo Sobreira deSantana

*Secretário de Infraestrutura*  
Lúcio Ferreira Gomes

*Presidente do Metrofor*  
Eduardo Fontes Hotz

*Diretor de Desenvolvimento e Tecnologia*  
Francisco Edilson Ponte Aragão

--

*Coordenador de pesquisa*  
André Soares Lopes

*Corpo técnico*  
Juliana Guerreiro de Carvalho Rocha  
Renato Goersch Andrade Parente  
Erismar Silva Maia

*Consultor externo*  
Hélio Henrique Holanda de Sousa

--

*Órgão Financiador*  
SEINFRA – Ce / Metrofor

Versão 10  
Data 12.set.2019

DOI: 10.13140/RG.2.2.21248.79364

## Lista de Tabelas

Tabela 1 Matriz dos tempos de viagens entre as estações de metrô (Modo metrô).....	9
Tabela 2 Matriz dos tempos de viagens entre as estações de metrô (Modo ônibus).....	9
Tabela 3 Matriz de diferença de tempos entre modos (Ônibus – Metrô).....	10
Tabela 4 Matriz O-D sintética (Distribuição de viagens por modelo gravitacional).....	11
Tabela 5 Matriz dos tempos economizados, em minutos.....	12
Tabela 6 Resumo das quantificações e monetização dos benefícios sociais relativos ao ganho de tempo.....	12
Tabela 7 Participação dos modos de transporte nas ocorrências de acidentes de trânsito na cidade de Fortaleza para o ano de 2016. (Adaptado de FORTALEZA, 2016).....	13
Tabela 8 Quantificação aproximada da Frota e da divisão modal.....	14
Tabela 9 Divisão modal das viagens na cidade de Fortaleza e a estimação da transferência de passageiros do metrô para outros modos.....	15
Tabela 10 Custos associados aos tipos de acidentes de trânsito (IPEA 2015).....	15
Tabela 11 Quantificação dos acidentes, por tipo, por modo e as respectivas monetizações. .....	16
Tabela 12 Cálculo do custo de combustíveis em R\$/Km.....	17
Tabela 13 Monetização dos benefícios relativos à redução de consumo de combustíveis..	18
Tabela 14 Custo de manutenção por modo de transporte (Silva e Beltrame 2018).....	19
Tabela 15 Cálculo das reduções em custos de operação por modo de transporte.....	19
Tabela 16 Monetização dos benefícios com a redução das emissões de poluentes.....	21
Tabela 17 Resumo da monetização de benefícios sociais, discriminando cada tipo de benefício.....	22

## Lista de Figuras e Gráficos

Figura 1. Mapa do sistema completo do Metrô de Fortaleza. Contabilizando as 4 linhas propostas. Sul (Vermelho), Oeste (Verde), VLT (Azul) e Leste (Amarelo).....	5
Gráfico 1. Descritivo dos valores monetizados de benefícios sociais para o período de: set/2017 até ago/2018 .....	22
Gráfico 2. Estimativa de benefícios sociais monetizados dados os cenários de previsão de demanda. ....	26

## SUMÁRIO

Sumário.....	5
Introdução.....	6
1. Redução do tempo de viagem.....	8
1.1 Fonte dos dados .....	8
1.2 Método.....	11
1.3 Resultados.....	12
2. Redução de acidentes.....	13
3. Consumo de combustível.....	17
4. Custo de operação dos veículos.....	18
5. Emissão poluentes.....	20
Resultado final.....	22
Limitações da abordagem .....	22
Apêndice.....	26
Referências .....	27

## INTRODUÇÃO

Os benefícios diretos do Metrô do Fortaleza, que compõem este relatório, representam os impactos positivos da rede metroferroviária sobre a qualidade de vida do cidadão de Fortaleza e cidades adjacentes, em função de suas características operacionais e ambientais. Estes impactos podem ser classificados pelo menos em duas categorias. Primeiro, sociais, que se refletem na transformação das condições sociais da população servida, decorrentes da construção e funcionamento do Metrô. Segundo, ambientais, que são aqueles de natureza física, com efeitos sobre os recursos naturais, qualidade do ambiente, ou sobre o território. A título de terminologia, este relatório se referirá aos benefícios como sendo de ordem socioambiental.

O cálculo dos benefícios socioambientais computa um conjunto de impactos diversificados que ultrapassam a consideração local de investimento no transporte urbano público metroferroviário e estima as perdas monetizadas da sociedade, no caso hipotético de que o sistema não estivesse em operação, resultando na sua substituição por outros modos de transporte motorizados. Ou seja, as viagens hoje feitas utilizando o trem ou o metrô passariam a ser feitas por outros modos de transporte como ônibus, automóveis ou mesmo modos não motorizados. O que entendemos por benefício é a condição melhorada em que se encontra o sistema, atualmente, se comparado a uma condição hipotética de substituição do metrô por outros modos. A quantificação da condição melhorada se dá por alguns indicadores discriminados mais a frente e seus consequentes impactos à qualidade de vida.

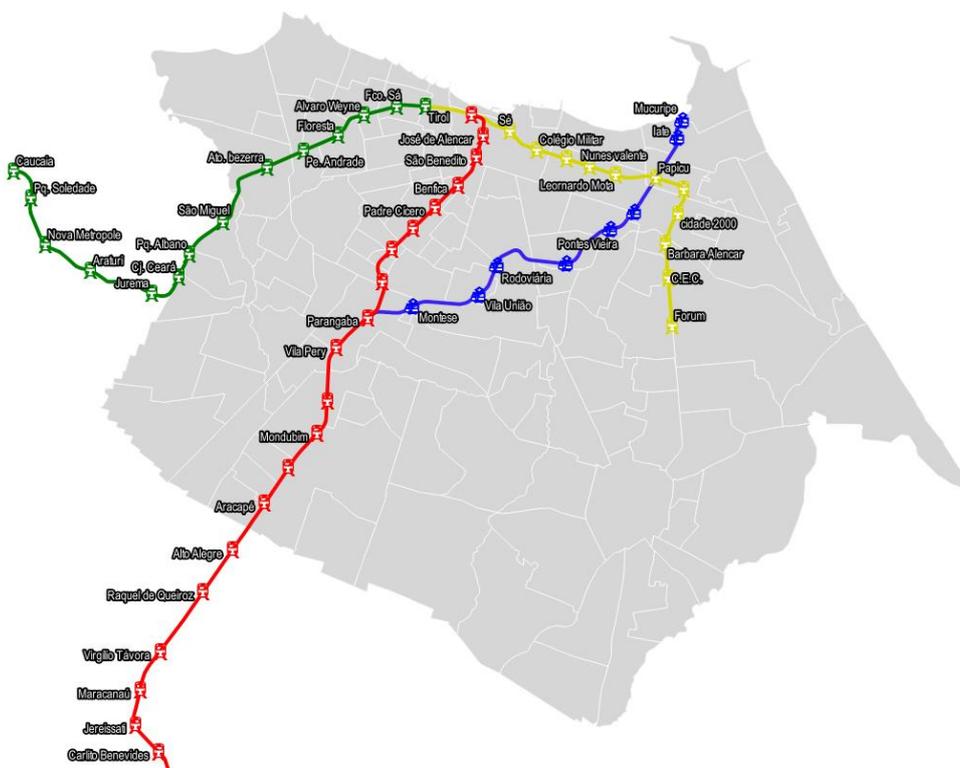


Figura 01. Mapa do sistema completo do Metrô de Fortaleza. Contabilizando as 4 linhas propostas. Sul (Vermelho), Oeste (Verde), VLT (Azul) e Leste (Amarelo).

Como contexto do sistema analisado, apresentamos na Figura 01 a abrangência da nossa rede metropolitana metroferroviária, que conta com duas linhas operacionais (Oeste, Sul), uma em operação assistida e em fase final de implementação (VLT) e uma em projeto (Leste), prevista para entrar em operação no ano de 2022. O sistema em operação comercial e assistida apresenta, em sua totalidade, tem 48,6 km de linhas e 33 estações. O sistema completo, previsto em projeto terá 69,4 km e 52 estações. De todas as 52 estações propostas e em operação, 16 são subterrâneas, 4 são elevadas (Parangaba, Juscelino Kubitschek, Antônio Bezerra é Alvaro Weyne) e as demais, em um total de 32, são em superfície. Do sistema proposto, duas linhas são planejadas para operar com veículos elétricos (linhas Sul e Leste), e duas com veículos movidos a Diesel (Oeste e VLT). Isto significa que 53% do sistema proposto já surge eletrificado, e 28% do sistema, correspondente à linha Oeste, tem em seu horizonte intenções de eletrificação, o que corresponde a um total de 81% do sistema eletrificado.

Para efeito deste relatório, por ser o estudo inicial dos benefícios socioambientais, limitamo-nos à avaliação dos impactos causados pela Linha Sul do Metrô de Fortaleza. Ela está ilustrada na Figura 01 na cor Vermelha.

Neste sentido, existe uma pergunta fundamental que guia a elaboração deste material, sendo ela:

- Qual é a medida dos benefícios não financeiros ou monetários do Metrô de Fortaleza?

Vale ressaltar que a análise apresentada neste relatório não trata de uma avaliação de custo benefício (CBA) ou um comparativo entre despesas e receitas. O que se pretende é uma avaliação ‘ex-post’ da linha sul, ou seja, uma quantificação dos efeitos positivos da utilização do metrô, avaliados após sua implantação. Para tanto, pretendemos quantificar os custos associados às opções de transportes que substituiriam o metrô no caso da sua inexistência.

A resposta à pergunta central conduziu à estruturação deste relatório. Utilizou-se metodologia de avaliação dos impactos das infraestruturas de transportes e a avaliação dos impactos dessas linhas em relação ao Tempo de Viagem (capítulo 1), à Redução de acidentes (capítulo 2), ao Consumo de Combustível (capítulo 3), ao Custo de Operação dos Veículos (capítulo 4) e a Emissão de poluentes (capítulo 5). Ao final das análises, na forma de conclusão deste material, apresenta-se um resumo da contabilização dos benefícios. Seguidos de uma simulação destes benefícios para cenários futuros.

## 1. REDUÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM

O Metrô de Fortaleza proporciona aos usuários tempos de viagens significativamente menores quando comparado aos outros modos disponíveis em Fortaleza. Esta vantagem se dá pela velocidade operacional média mais elevada do metrô se comparada à dos demais modos, dada a condição atual de saturação do sistema de transporte. Estes ganhos de tempo incluindo tempos de viagem, de espera e de caminhada (Transitar, 2018; Kawamoto, 1994; Souza & Pereira, 2013) são uma grande vantagem para os seus usuários, sendo, inclusive, um importante critério para a escolha modal. Pretende-se, desta maneira, quantificar estes ganhos de tempo de viagem de modo a estimar os benefícios sociais resultantes.

Para a estimação dos ganhos de tempo, tomou-se em conta três fatores:

- *Quanto ao tipo de transporte utilizado pelos usuários.*

Os ganhos de tempo são diferentes a depender do modo a ser substituído pelo metrô. Foram quantificadas as diferenças de tempos entre as viagens de metrô e as viagens rodoviárias;

- *Quanto à saturação do sistema.*

Não foi contabilizado, para efeito de cálculo de tempo de viagens, o aumento no nível de saturação e congestionamento do sistema decorrente do aumento no número de veículos (carros, motos e ônibus) no cenário de estudo (em que o metrô não exista);

- *Quanto ao valor do tempo.*

O cálculo de quanto vale uma hora para cada cidadão se deu pelo cálculo de tempo de deslocamento, feito para toda a população usuária do metrô, qualquer que fosse o motivo de viagem.

A quantificação dos benefícios sociais decorrentes desta redução de tempo de cada viagem, pode passar despercebido quando visto de forma unitária, porém, quando contabilizadas todas as viagens (para todos os usuários, ao longo de um ano inteiro), é possível perceber que o modo ferroviário proporciona um grande impacto social, benéfico para os sistemas de transportes da cidade de Fortaleza e seus usuários. Dado este contexto, estabelecem-se como objetivos desta seção, contabilizar a economia de tempo gerada pela utilização do metrô para todas as viagens realizadas na Linha Sul do Metrô de Fortaleza e monetizar esse ganho de tempo através da própria percepção do usuário.

### 1.1 Fonte dos dados

Os dados necessários para realizar a contabilização e monetização do tempo foram: Tempos de viagens do metrô, Tempos de viagens dos ônibus, e a Matriz O-D dos usuários do metrô. Os tempos

de viagens do metrô são fixos, definidos pela tabela de horários do sistema, e foram atribuídos em uma matriz que segue o mesmo formato da Matriz O-D dos usuários (Tabela 1). Os valores não mudam uma vez que o Metrô não enfrenta, em condições normais de operação, lentidão de tráfego, o que o permite manter uma velocidade média muito constante.

Tabela 1 Matriz dos tempos de viagens entre as estações de metrô (Modo metrô).

METRÔ	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	CHI	JAL	SBE	BEN	POR	COU	JUK	PAR	VIP	SAT	MON	ESP	ARA	ALT	RAQ	VIT	MAR	JER	CAB
1 Chico da Silva	0	2	4	6	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37
2 José de Alencar	2	0	2	4	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35
3 São Benedito	3	2	0	2	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33
4 Benfca	5	3	2	0	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	32
6 Porangabussu	9	7	5	3	0	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	28
7 Couto Fernandes	11	9	7	5	2	0	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	26
8 Juscelino Kubitschek	13	11	9	7	3	2	0	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	24
9 Parangaba	15	13	11	9	5	3	2	0	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	22
10 Vila Pery	17	15	13	11	7	5	3	2	0	2	3	5	7	9	11	13	15	17	20
11 Manoel Sátiro	19	17	15	13	9	7	5	3	2	0	2	3	5	7	9	11	13	15	18
12 Mondubim	21	19	17	15	11	9	7	5	3	2	0	2	3	5	7	9	11	13	16
13 Esperança	23	21	19	17	13	11	9	7	5	3	2	0	2	3	5	7	9	11	14
14 Aracapé	25	23	21	19	15	13	11	9	7	5	3	2	0	2	3	5	7	9	12
15 Alto alegre	27	25	23	21	17	15	13	11	9	7	5	3	2	0	2	3	5	7	10
16 Rachel de queiroz	29	27	25	23	19	17	15	13	11	9	7	5	3	2	0	2	3	5	8
17 Virgílio Távora	31	29	27	25	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	2	0	2	3	6
18 Maracanáu	33	31	29	27	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	2	0	2	4
19 Jereissati	35	33	31	29	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	2	0	2
20 Carlito Benevides	37	35	33	31	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	2	0

Os tempos de viagens de ônibus foram calculados através de simulação, pela utilização da ferramenta do Google Maps de previsão de tempo de viagem. Foram contabilizados os tempos médios de viagem para um dia útil na hora pico. Somente os tempos de viagens urbanas foram encontradas através da ferramenta Google Maps. Como o metrô possui parte de sua linha abrangendo a região metropolitana, foi necessário estimar, através dos tempos obtidos e da proporção da quilometragem, os tempos das viagens que envolvem estações fora da região urbana. Os valores encontrados foram distribuídos no mesmo formato da matriz de tempos de viagens entre as estações do metrô, de modo a facilitar a comparação entre os tempos nos dois modos (Tabela 2).

Tabela 2 Matriz dos tempos de viagens entre as estações de metrô (Modo ônibus).

MATRIZ DOS TEMPOS DE VIAGENS ENTRE AS ESTAÇÕES DE METRÔ - MODAL ÔNIBUS																				
ÔNIBUS (07:00:00)	Google Maps										Estimado através de médias									
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	CHI	JAL	SBE	BEN	POR	COU	JUK	PAR	VIP	SAT	MON	ESP	ARA	ALT	RAQ	VIT	MAR	JER	CAB	
1 Chico da Silva	0	7	11	12	18	22	27	32	42	41	42	50	66	71	77	82	88	93	99	
2 José de Alencar	7	0	6	7	14	18	22	29	37	36	37	45	58	63	69	74	80	85	91	
3 São Benedito	12	3	0	6	14	14	19	25	36	36	37	42	58	63	69	75	81	86	92	
4 Benfca	17	6	3	0	7	11	17	24	32	30	31	38	53	59	65	72	78	84	90	
6 Porangabussu	25	14	11	9	0	6	14	17	30	41	34	41	45	52	59	66	73	80	87	
7 Couto Fernandes	29	18	16	14	5	0	7	14	23	23	23	30	43	49	56	62	68	74	80	
8 Juscelino Kubitschek	30	24	20	14	15	6	0	8	21	15	16	23	32	39	45	52	58	64	71	
9 Parangaba	41	31	27	23	21	14	6	0	15	21	17	28	25	32	38	45	51	58	64	
10 Vila Pery	49	39	35	31	29	23	14	14	0	23	19	28	30	37	44	51	58	65	72	
11 Manoel Sátiro	50	42	39	34	33	26	20	21	17	0	6	26	38	45	53	60	68	75	83	
12 Mondubim	58	50	46	41	41	33	27	27	23	12	0	18	25	32	39	46	53	60	67	
13 Esperança	64	54	50	46	44	38	30	27	25	27	17	0	10	16	23	29	36	42	49	
14 Aracapé	78	68	65	60	59	52	44	36	40	34	32	14	0	7	14	21	29	36	43	
15 Alto alegre	85	75	71	66	65	58	50	42	46	44	39	21	8	0	7	14	22	29	36	
16 Rachel de Queiroz	91	81	77	73	71	65	56	47	53	53	46	28	15	8	0	7	15	22	29	
17 Virgílio Távora	98	87	84	79	78	71	62	53	60	63	53	34	23	15	8	0	8	16	24	
18 Maracanáu	104	94	90	85	84	77	68	59	67	72	60	41	30	23	15	8	0	8	17	
19 Jereissati	111	100	96	91	90	83	74	65	74	81	68	48	38	31	23	16	8	0	9	
20 Carlito Benevides	117	106	103	97	97	89	80	70	81	91	75	54	45	38	31	23	16	8	0	

A diferença entre os valores de tempo (da utilização do metrô ou ônibus) para cada par da matriz permitiu calcular a média de tempo economizado por viagem realizada entre os pares (Tabela 3).

Tabela 3 Matriz de diferença de tempos entre modos (Ônibus – Metrô).

MATRIZ DE DIFERENÇA DE TEMPOS ENTRE MODAIS																				
DIFERENÇAS (ÔNIBUS - METRO)	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	CHI	JAL	SBE	BEN	POR	COU	JUK	PAR	VIP	SAT	MON	ESP	ARA	ALT	RAQ	VIT	MAR	JER	CAB	
1 Chico da Silva	0	5	7	6	9	11	14	17	25	22	21	27	41	46	49	52	55	58	62	
2 José de Alencar	5	0	5	3	7	9	11	16	22	19	18	24	35	40	43	47	50	53	56	
3 São Benedito	9	5	0	5	9	7	10	14	23	21	20	23	37	42	46	49	53	56	60	
4 Benfica	12	3	5	0	4	6	10	15	21	17	16	21	34	40	44	48	52	56	59	
6 Porangabussu	16	7	6	6	0	5	11	12	23	32	23	28	30	37	42	47	52	56	60	
7 Couto Fernandes	18	9	9	9	5	0	5	11	18	16	14	19	30	37	41	45	48	52	55	
8 Juscelino Kubitschek	17	13	11	7	12	5	0	5	18	10	9	14	21	26	30	35	39	43	47	
9 Parangaba	26	18	16	14	16	11	5	0	5	18	12	21	16	21	25	30	34	39	42	
10 Vila Pery	32	24	22	20	22	18	11	5	0	5	16	23	23	28	33	38	43	48	52	
11 Manoel Sátiro	31	25	24	21	24	19	15	18	5	0	5	23	33	38	44	49	55	60	65	
12 Mondubim	37	31	29	26	30	24	20	22	20	5	0	5	22	27	32	37	42	47	51	
13 Esperança	41	33	31	29	31	27	21	20	20	24	5	0	5	13	18	22	27	31	35	
14 Aracapé	53	45	44	41	44	39	33	27	33	29	29	5	0	5	11	16	22	27	31	
15 Alto alegre	59	51	50	47	50	45	37	31	37	37	34	18	5	0	5	11	17	22	26	
16 Rachel de Queiroz	63	55	54	51	54	49	41	34	42	44	39	23	12	5	0	5	12	17	21	
17 Virgílio Távora	67	59	58	55	58	53	45	38	47	52	44	27	18	12	5	0	5	13	18	
18 Maracanau	71	63	62	59	62	57	49	42	52	59	49	32	23	18	12	5	0	5	13	
19 Jereissati	75	67	65	62	66	61	53	46	57	66	55	37	29	24	18	13	5	0	5	
20 Carlito Benevides	80	71	69	66	70	65	57	49	62	74	60	41	34	29	24	18	13	5	0	

Para se obter a matriz da quantificação total dos tempos economizados, para todas as viagens realizadas, além dos tempos de viagens economizados por par, foi necessário calcular quantas viagens são realizadas entre cada par O-D. Para isso foi necessária a construção de uma Matriz O-D sintética dos passageiros do metrô.

A Matriz O-D sintética (Tabela 4) foi construída através do uso de uma adaptação do Modelo Gravitacional (Ortúzar & Willumsen, 2011) e dos dados de embarques dos usuários do metrô. Como os dados dos desembarques não são coletados, assume-se a premissa de que os deslocamentos dos usuários são pendulares, ou seja, o desembarque no período da manhã ocorre na estação que o usuário embarca no período da tarde. O mês de abril/2018 foi utilizado como referência e os dados de embarques foram coletados do sistema de bilhetagem do metrô. A matriz resultante da modelagem pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4 Matriz O-D sintética (Distribuição de viagens por modelo gravitacional).

**MATRIZ O-D SÍNTECA (DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS POR MODELO GRAVITACIONAL)**

O-D	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	CHI	JAL	SBE	BEN	POR	COU	JUK	PAR	VIP	SAT	MON	ESP	ARA	ALT	RAQ	VIT	MAR	JER	CAB
1 Chico da Silva	0	1	4	14	9	7	9	41	18	18	17	45	26	8	26	32	36	10	14
2 José de Alencar	1	0	2	21	38	54	53	256	230	251	178	687	416	80	374	373	440	181	267
3 São Benedito	2	2	0	1	7	14	17	95	89	104	80	315	197	40	189	196	234	96	143
4 Benfica	8	9	1	0	2	6	11	74	71	91	78	311	203	47	212	233	283	112	152
6 Porangabussu	9	41	8	2	0	0	0	6	7	13	15	65	47	15	63	79	100	36	52
7 Couto Fernandes	7	59	15	6	0	0	0	1	2	4	7	28	22	9	36	53	68	21	30
8 Juscelino Kubitschek	9	57	18	11	0	0	0	0	0	2	4	23	21	8	37	51	70	27	42
9 Parangaba	40	273	100	75	6	1	0	0	0	2	7	56	63	25	137	202	292	121	197
10 Vila Pery	18	252	97	76	8	2	0	0	0	0	1	8	12	10	45	87	131	39	64
11 Manoel Sátiro	18	275	114	97	14	4	2	2	0	0	0	2	5	6	32	73	120	38	66
12 Mondubim	17	192	85	81	16	7	4	7	1	0	0	1	1	2	20	48	92	40	81
13 Esperança	47	750	342	331	68	29	24	59	8	2	1	0	1	2	24	91	208	82	180
14 Aracapé	27	455	215	216	50	23	22	66	12	5	1	1	0	0	3	25	80	37	98
15 Alto alegre	8	85	43	48	15	9	8	25	9	6	2	2	0	0	0	2	12	11	39
16 Rachel de queiroz	27	408	205	224	65	36	38	143	43	31	20	23	3	0	0	2	10	15	80
17 Virgílio Távora	32	405	210	242	81	52	52	206	83	69	48	87	24	2	2	0	4	5	67
18 Maracanaú	36	482	254	298	103	67	72	303	126	116	92	201	77	12	10	4	0	2	29
19 Jereissati	11	202	106	122	39	22	29	131	40	38	43	84	38	12	15	5	2	0	1
20 Carlito Benevides	15	309	165	190	63	36	50	231	71	71	87	183	94	37	66	47	13	1	0

Esta matriz descreve o total de passageiros um um dia útil típico do mês de abril de 2018, distribuídos para cada par O-D. Foi utilizado como da premissa que os comportamentos observados neste dia funcionarão como base para dos os outros dias úteis do ano.

## 1.2 MÉTODO

Para a monetização do tempo economizado nas viagens realizadas pelo Metrô de Fortaleza, foi necessário estimar um valor que quantificasse em reais quanto custa a hora dos usuários do metrô. O valor de referência utilizado foi estimado pelo relatório de estudo de demanda do metrô de Fortaleza, elaborado pela Transitar Engenharia e Consultoria (Transitar, 2018). Neste relatório, o valor do tempo dos passageiros é modelado através de pesquisas de preferência declarada (modelo Logit multinomial) e representado através de uma função utilidade para escolha do modo de transporte. O valor da hora encontrado para os passageiros de Fortaleza foi de R\$ 4,47 pela hora. Com a matriz O-D dos passageiros do metrô (tabela 4) e a matriz de economia de tempos de viagens entre estações (Tabela 3) foi calculada a economia total de tempo (em minutos) para cada par O-D (Tabela 5).

Tabela 5 Matriz dos tempos economizados, em minutos.

MATRIZ DOS TEMPOS ECONOMIZADOS																				
TOTAL	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	CHI	JAL	SBE	BEN	POR	COU	JUK	PAR	VIP	SAT	MON	ESP	ARA	ALT	RAQ	VIT	MAR	JER	CAB	
1 Chico da Silva	0	5	30	77	78	75	125	712	447	395	355	1190	1045	386	1291	1670	1976	578	842	
2 José de Alencar	5	0	9	68	280	488	565	4050	5039	4773	3186	16476	14383	3186	16167	17375	21932	9610	15067	
3 São Benedito	15	9	0	5	61	104	171	1350	2054	2192	1585	7331	7215	1704	8635	9620	12342	5378	8535	
4 Benfica	98	31	6	0	7	35	111	1135	1459	1518	1217	6460	6906	1889	9368	11167	14666	6216	8913	
6 Porangabussu	139	265	44	10	0	0	3	69	166	415	357	1777	1419	550	2647	3707	5164	2047	3102	
7 Couto Fernandes	128	533	139	59	0	0	0	10	30	61	98	521	666	350	1480	2345	3285	1102	1664	
8 Juscelino Kubitschek	146	758	197	72	4	0	0	1	7	20	36	309	448	196	1114	1767	2729	1184	1965	
9 Parangaba	1025	4805	1598	1012	88	9	1	0	2	30	82	1173	1016	522	3465	6004	10029	4713	8347	
10 Vila Pery	583	5962	2146	1485	168	30	5	2	0	1	11	185	277	273	1475	3305	5646	1908	3358	
11 Manoel Sátiro	581	6950	2690	2054	329	78	30	32	1	0	1	40	168	229	1422	3584	6572	2275	4254	
12 Mondubim	617	5870	2466	2143	465	164	80	153	13	1	0	3	28	59	630	1777	3854	1879	4089	
13 Esperança	1919	24759	10737	9553	2119	766	498	1182	163	41	3	0	4	21	427	2023	5560	2566	6244	
14 Aracapé	1433	20649	9396	8918	2172	889	731	1785	398	149	38	4	0	1	37	410	1716	997	3007	
15 Alto alegre	485	4344	2114	2250	726	414	280	775	346	205	71	27	1	0	2	20	192	236	1026	
16 Rachel de Queiroz	1691	22397	10951	11409	3495	1790	1569	4902	1834	1383	772	529	39	2	0	9	115	247	1696	
17 Virgílio Távora	2144	23890	12089	13272	4651	2736	2341	7856	3897	3560	2100	2375	422	22	9	0	18	64	1175	
18 Maracanaú	2575	30335	15629	17456	6381	3836	3532	12646	6559	6815	4555	6457	1793	214	121	18	0	9	376	
19 Jericissati	798	13534	6972	7605	2588	1349	1555	5952	2290	2551	2316	3097	1105	277	279	68	9	0	4	
20 Carlito Benevides	1219	21880	11428	12625	4416	2311	2836	11343	4351	5217	5186	7568	3244	1082	1569	850	169	4	0	

### 1.3 RESULTADOS

A matriz dos tempos economizados (Tabela 5) permite encontrar que o tempo médio economizado por passageiro é de 39,97 minutos/viagem. Se multiplicarmos este valor pelo custo da hora, definido em R\$ 4,47/Hora, obtém-se o valor de economia média de R\$ 2,98/viagem. Com o valor médio economizado por viagem, o último passo para a monetização dos benefícios sociais gerados pela economia de tempo decorrente da escolha do modo metroferroviário, é multiplicar a quantidade de viagens realizadas em determinado período de tempo pelo valor de R\$ 2,98/viagem. O valor resultante foi o valor total, em reais, economizado para determinado período. Pode-se observar na Tabela 6 o resumo dos cálculos para a quantificação da economia para três períodos de 12 meses, referentes aos anos de 2017 e (previsão) para 2018, e o observado nos 12 meses imediatamente anteriores à confecção deste relatório(junho/2017 até maio/2018).

Tabela 6 Resumo das quantificações e monetização dos benefícios sociais relativos ao ganho de tempo.

$\sum$ min/dia - 1,006,307	Valor do tempo (R\$/h) - R\$ 4.47		
$\sum$ min/mês - 24,151,361	Dias uteis/mês - 24		
hr/mês - 402,523	Viagens/dia - 25,180		
Valor do tempo/mês - R\$ 1,799,276.42	Viagens /mês - 604,309		
Economia/viagem - R\$ 2.98	Economia/Passageiro - 39.97 min		
<b>CENÁRIOS</b>	<b>2017(01/17 a 12/17)</b>	<b>09/2017 a 08/2018</b>	<b>2018 (01/18 a 12/18)</b>
Passageiro/Ano	6,545,033	8,123,064	8,737,553
<b>Valor do tempo/ano</b>	<b>R\$ 19,487,254.96</b>	<b>R\$ 24,185,702.23</b>	<b>R\$ 26,015,288.69</b>

No ano de 2017 foram transportados 6.545.033 de passageiros. Isso resultou em uma economia de média de 290 milhões de minutos. A monetização desse tempo economizado, dado os valores encontrados e apresentados, resulta em uma quantia de R\$ 19,487,254.96 para o ano de 2017.

## 2. REDUÇÃO DE ACIDENTES.

Esta seção do relatório tem por objetivo quantificar os benefícios sociais resultantes da redução da exposição dos usuários do sistema de transporte rodoviário de Fortaleza ao risco de acidentes de trânsito decorrentes da escolha pelo modo ferroviário. Partimos da premissa de que, se a Linha Sul do Metrô não estivesse em operação, teríamos um aumento no número de viagens nos demais modos. Com uma maior quantidade de veículos nas vias, elevam-se os conflitos de trânsito e, conseqüentemente, a quantidade de acidentes com vítimas. Não se pode calcular o que representa a perda de uma vida humana ou os danos psíquicos e estresses traumáticos aos quais as vítimas de trânsito e seus familiares são submetidos após eventos dessa natureza. Por outro lado, há também a formação de custos econômico-financeiros que impactam diretamente as famílias, bem como a sociedade em geral, e que podem ser estimados por meio de metodologias específicas de cálculo.

Com base no manual de segurança viária (Fortaleza, 2016), em 2016 foram registrados 27.492 acidentes, sendo 274 acidentes com fatalidade, e aproximadamente 18.295 feridos. Foram observadas 281 mortes no período analisado, tornando a taxa de mortalidade em acidentes com fatalidade maior do que 1. Vale ressaltar que os motociclistas respondem por grande parte destas ocorrências. A tabela 07 mostra a participação dos modos nas ocorrências de acidentes em Fortaleza no ano de 2016, sendo dividida ainda por tipo de acidente.

*Tabela 7 Participação dos modos de transporte nas ocorrências de acidentes de trânsito na cidade de Fortaleza para o ano de 2016. (Adaptado de FORTALEZA, 2016)*

<b>Tipo de acidente</b>	<b>Total</b>	<b>/modo</b>	<b>%</b>	<b>Parcial</b>
<b>Com fatalidade</b>	274	Moto	52.70%	144
		Carro	8.80%	24
		Bicicleta	7.80%	21
		Ônibus	0.40%	1
		Outros	30.30%	83
<b>Com vítima</b>	14873	Moto	61.20%	9102
		Carro	18.90%	2811
		Bicicleta	3.90%	580
		Ônibus	1.80%	268
		Outros	14.20%	2112
<b>Sem vítima</b>	12345	Moto	61.20%	7555
		Carro	18.90%	2333
		Bicicleta	3.90%	481
		Ônibus	1.80%	222
		Outros	14.20%	1753
<b>TOTAL</b>	<b>27492</b>		<b>100%</b>	<b>27492</b>

Para efeito de cálculo da monetização de acidentes, foi quantificada a frota por modo que deixou de entrar no sistema, dada a escolha do metrô como transporte. Este cálculo se baseou na observação da frota de veículos e da divisão modal do sistema de Fortaleza (Tabela 8). Destacamos que a quantificação dos modos considera ônibus/caminhão como uma frota só, entretanto sabemos que a

frota exclusiva de ônibus para transporte público coletivo de Fortaleza conta com 2039 veículos, sendo o número de 127mil relativo a todos os veículos (públicos ou privados) da mesma categoria (ônibus, micro-ônibus, caminhões, etc.). Contamos ainda com a quantificação das escolhas modais, feita pelo IPEA (2015). Para o cálculo, levou-se em consideração cinco premissas básicas. (1) O total de viagens por bicicleta foi limitado pelas distâncias das estações e o total de viagens de cada estação. Isto significou um limite máximo teórico de 1% das viagens. (2) Foram desconsideradas as viagens a pé<sup>1</sup>. (3) A divisão de modos rodoviários (Ônibus, Carros e Motos) foi calculada pelas medidas de utilidade de cada modo (Transitar, 2018), que apontou para uma divisão de 60,2% para ônibus e 39,8% para carros e motos. (4) Dado que temos estabelecidas as porcentagens de bicicletas (1%) na divisão modal, utilizamos a divisão rodoviária (60,2%/39,8%) para ajustar o total percentual de viagens restante (equivalente a 100% - 1%). Isto nos permitiu redistribuir os totais relativos a ônibus e motos/carros. (5) O público do metrô não é usuário frequente de modos motorizados individuais do tipo carro, existindo uma preferência pelas motos. Isso significa que, para não zerarmos a contagem de carros (o que poderia potencializar erros), adotamos um valor conservador (de apenas 5% das viagens individuais motorizadas) derivado do resultado da premissa 4, o que garante a ênfase no uso de motos. Os valores finais podem ser vistos na tabela 8.

*Tabela 8 Quantificação aproximada da Frota e da divisão modal.*

<b>FROTA</b>	<b>No. de veículos</b>	<b>%</b>	<b>Divisão modal (IPEA, 2015)</b>	<b>(1) e (2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>
Ônb/Cam	127000	12.2%	37,5%	-	60,2%	59,6%	59,60%
Motos	288000	27.7%	19,4%	-	39,8%	39,4%	37,43%
Carros	603000	58.1%	13,0%	-	-	-	1,97%
Bicic./Pé	-	-	11,3%	1,0%	-	1,00%	1,00%
Outros	21000	02.0%	18,8%	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1039000</b>	<b>100.00%</b>				<b>100.0%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Relatório Anual de Segurança viária 2016 – Fortaleza e IPEA (2015)

De posse da divisão modal, é calculado a quantidade de passageiros a ser absorvida por cada modo, a fim de substituir a oferta provida pela Linha Sul do Metro. A partir de dados oficiais de número de passageiros e total de viagens de ônibus (ETUFOR, 2015), calculamos a lotação média de ônibus em 50,67 passageiros. Para motos, foi assumido a média de 1,4 passageiros e carro, 2,0 passageiros. Sabendo a quantidade de passageiros por modo e as devidas lotações médias, é calculado o Total de Viagens por modo a serem consideradas (Tabela 9). O Total de Viagens significa quantas viagens somadas os quatro modos considerados seriam necessários para suprir a demanda atual do metrô respeitando a divisão modal.

<sup>1</sup> Falta de dados sobre viagens realizadas a pé

*Tabela 9 Divisão modal das viagens na cidade de Fortaleza e a estimação da transferência de passageiros do metrô para outros modos*

<b>Passageiros metrô/ano</b>		8.123.064 - set/2017 até ago/2018		
<b>Transferem para:</b>			<b>Lotação média</b>	<b>Total de Viagens</b>
Ônibus	59,60%	4.841.183,70	50,67	95.548
Moto	37,43%	3.040.617,20	1,40	2.171.869
Bicicleta/Pé	1,00%	81.230,64	1,00	81,231
Carro/uber/taxi	1,97%	160.032,48	2,00	80,016

Em seguida, para conseguirmos quantificar o total de acidentes que deixaram de ocorrer devido a redução da exposição ao risco, precisamos de alguma proporcionalidade entre o número de acidentes ocorridos (por tipo) (vide TABELA 07), e o número de viagens de cada modo, representativos da divisão modal. Deste modo pudemos definir uma taxa de acidentes por total de viagens, por modo (Tabela 11). Adotando esta taxa para as viagens que deixaram de ocorrer, pudemos quantificar o número de acidentes (por tipo) que foram evitados. Já, para a monetização destes acidentes evitados, precisamos de valores em reais definidos por tipo de acidentes. A prefeitura de Fortaleza, respaldada por estudos do IPEA, estipula valores monetários para os três tipos de acidentes (com fatalidade, com vítima e sem vítima). Estes valores, corrigidos pela inflação do período (Banco Central do Brasil, s.d.), podem ser vistos na tabela 10.

*Tabela 10 Custos associados aos tipos de acidentes de transito (IPEA, 2015)*

<b>TIPO</b>	<b>CUSTO</b>	
	<b>IPEA (2015)</b>	<b>Corrigido (2018)</b>
Sem vítima	R\$ 23,000.00	R\$ 27,252.70
Com Vítima	R\$ 90,100.00	R\$ 106,759.49
Com fatalidade	R\$ 646,700.00	R\$ 766,274.83

A seguir, apresentamos um resumo das quantificações de acidentes por tipo e por modo de transporte, e a monetização dos acidentes “evitados”. A monetização leva em consideração o total de acidentes ‘evitados’ por modo (em média) e o custo unitário de cada acidente por tipo (tabela 10). A soma dos montantes por tipo de acidente e modo pode ser visto na tabela 11. Esta distribuição partiu da premissa de que os acidentes de transito são decorrentes da exposição ao risco e que esta distribuição é proporcional à divisão modal e ao total de acidentes por cada tipo de modo (vide tabela 7). Para este cálculo, é necessário quantificar a *redução no tamanho da frota* exposta ao risco em decorrência da escolha do metrô como modo de transporte. Este cálculo se deu pelo total de viagens por cada modo (tabela 9) dividido pelo número médio de viagens por veículo (caso este fosse utilizado para substituir o metrô). Para um ano com 340 dias úteis, um carro (dada a condição pendular dos

<sup>2</sup> Entendemos como “acidentes evitados” a quantificação de acidentes que deixaram de acometer aos cidadãos devido à menor exposição ao risco do transito, por estarem utilizando o metrô.

movimentos) faria 2 viagens/dia ou 680 viagens/ano, um ônibus (dada a quantidade de horas de atividades) faria 9 viagens /dia ou 3060 viagens/ano, motos e bicicletas (pela maior versatilidade) fariam 3 viagens/dia ou 1020 viagens/ano. Destes valores quantificou-se a redução de veículos na frota. Respeitando a proporcionalidade de quantidades de acidentes por total de veículos na frota, pudemos quantificar o total de acidades evitados decorrente do número de veículos que o metrô substitui, ou seja, o total de veículos que entrariam no sistema caso o metrô não existisse.

*Tabela 11 Quantificação dos acidentes, por tipo, por modo e as respectivas monetizações.*

<b>Modo</b>	<b>Redução da frota</b>	<b>No. de acidentes 'evitados'/Tipo</b>	<b>Total (\$)</b>	
<b>Ônibus</b>	31,2	Com fatalidade	0,017	R\$ 12.861,13
		Com Vítima	4,100	R\$ 437.684,98
		Sem vitima	3,403	R\$ 92.737,89
<b>Carros</b>	118	Com fatalidade	0,005	R\$ 3.605,54
		Com Vítima	0,549	R\$ 58.562,39
		Sem vitima	0,455	R\$ 12.408,36
<b>Motos</b>	2129	Com fatalidade	1,068	R\$ 818.063,07
		Com Vítima	67,296	R\$ 7.184.516,43
		Sem vitima	55,858	R\$ 1.522.274,96
<b>Bicicletas</b>	80	Com fatalidade	0,081	R\$ 62,105.51
		Com Vítima	2,200	R\$ 117,419.46
		Sem vitima	1,826	R\$ 24,879.16
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 10.347.118,88</b>

### 3. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Pela decisão de se utilizar os modos privados (carro e moto) ou mesmo o ônibus, os viajantes acabam por arcar com os custos relativos ao consumo de combustíveis fósseis que a maioria destes modos implicam. Além de significarem efeito direto sobre a emissão de poluentes, e a degradação ambiental associada à sua extração, refino e distribuição, o consumo de combustíveis também tem efeito financeiro para o usuário destes modos de transporte alternativos ao metrô. Para este relatório, levamos em consideração que a redução do consumo de combustíveis se reverte em benefício (na forma de economia financeira) para os usuários que se utilizam do modo ferroviário eletrificado. O valor que se deixa de gastar com a compra de combustíveis se reverte em benefício sociais difusos, para toda a sociedade (na forma de redução da emissão de poluentes, que será tratado na seção 6 deste relatório), e individualmente, na forma de menores custos financeiros associados às viagens.

Dado que o presente estudo foca apenas na Linha Sul do Metrô de Fortaleza, que é movida a eletricidade, assumimos que todas as viagens substituídas de modos motorizados não elétricos geram uma economia em litros de combustível que deixaram de ser consumidos. Viagens não motorizadas substituídas não foram contabilizadas por não consumirem qualquer tipo de combustível.

Sendo assim, a redução foi calculada levando-se em conta três variáveis atualizadas.

1. Os Km rodados por modo (que foram substituídos pelo metrô);
2. O consumo de combustível por Km rodado; e
3. O preço do combustível.

Para se calcular a quilometragem total referente ao número de viagens que deixaram de ser realizadas nos modos ônibus, carro e moto, utilizamos a distância média percorrida pelos usuários que foi obtida a partir da Matriz OD (capítulo 1 deste relatório) e o número de viagens necessárias para atender a todo o público. Estas duas variáveis estão descritas na tabela 9 da capítulo 2. O consumo de combustíveis por modo foi obtido a partir de dados fornecidos pela literatura especializada (ANTP, 2010). Os valores adotados foram, 2,5 Km/l para ônibus, 10 km/l para carros e 25 km/l para motocicletas, que representam valores médios para as categorias de veículos (Tabela 12). Em seguida estas taxas de consumo foram transformadas em medidas de litros por Km rodado, e em R\$ por Km rodado, dados os preços dos combustíveis na data da confecção do relatório.

*Tabela 12 Cálculo do custo de combustíveis em R\$/Km.*

<b>\$</b>	<i>Gasolina (dez. 2017)</i>	<b>R\$ 4.162</b>	
<i>29/06/2018</i>	<i>Diesel (dez. 2017)</i>	<b>R\$ 3.377</b>	
	<b>Moto</b>	<b>Carro</b>	<b>Ônibus</b>
km/l	25	10	2.5
l/km	0.04	0.10	0.40
<b>R\$/km</b>	<b>R\$ 0.17</b>	<b>R\$ 0.42</b>	<b>R\$ 1.35</b>

De posse dos valores para as três variáveis, foi possível quantificar o total de economia com a redução do consumo de combustíveis decorrente da adoção do modo ferroviário. A listagem geral dos dados pode ser vista na Tabela 13, que ilustra todas as variáveis utilizadas e calculadas. Ao final, utilizando o valor corrente dos combustíveis (para o mês de dezembro de 2017), calculou-se o total de economia para cada modo, e o total para todo o sistema.

*Tabela 13 Monetização dos benefícios relativos à redução de consumo de combustíveis.*

Km médios/ viagem	13		
	Ônibus	Moto	Carro
Redução de passageiros	4.841.184	3.040.617	160.032
Lotação média	50,67	1,40	2,00
Redução de viagens	95.548	2.171.869	80.016
Km rodados	1.242.127	28.234.303	1.040.211
Autonomia média	2,5	25	10
l/km	0,40	0,040	0,10
Consumo (litros/ano)	496.850,89	1.129.372,10	104.021,11
\$ Combustível	R\$3,30	R\$4,89	R\$4,89
\$ Consumo	R\$1.639.607,92	R\$5.522.629,57	R\$508.663,25
<b>SOMA</b>			<b>R\$7.670.900,74</b>

#### 4. CUSTO DE OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS

Ou seja, quando substituídos pelo modo metroferroviário, os demais modos de transporte motorizados deixam de gerar custos de operação.

Para o cálculo do custo de operação dos veículos, partimos da premissa de que existem custos associados aos veículos que incidem sobre os seus operadores (no caso de transportes públicos) ou proprietários (no caso de transporte privado) que deixam de ser dispendidos no caso de transferência das viagens destes modos para o modo metro-ferroviário. Isto significa que os investimentos na manutenção e operação do Metrô geram economias individuais aos seus usuários que superam o desembolso das tarifas cobradas pelo Metrô. Contabilizamos estas economias a seguir.

Para o cálculo do custo do transporte coletivo rodoviário, leva-se em consideração um conjunto de aspectos da operação, tais como, preço de aquisição de veículos, custo de combustível, pneus, formação de motoristas, inflação do período, impostos, seguro, manutenção periódica, substituição de peças, dentre outros custos menores (ANTP, 2017). Para os demais veículos privados (motos e carros), adotamos metodologia proposta por Silva e Beltrame (2018), que tem como premissas de cálculo a incorporação dos seguintes itens no cálculo do custo por quilômetro rodados: depreciação do veículo, pneu, óleo, filtros, seguro, DPVAT, IPVA e combustível. Cada tipo de veículo tem um custo próprio, de modo que foi necessário calcular o custo para cada faixa de preço de veículo (Popular, médio, caminhonete ou sedan de luxo). De forma similar, o cálculo das motos leva em

conta, além dos fatores já citados, custos com vela, bateria e pastilha. Um resumo dos valores indicados por categoria de veículo pode ser visto na tabela 14, que ainda mostra o valor médio ponderado segundo a participação destas categorias na frota (FENABRAVE, 2018).

Tabela 14 Custo de manutenção por modo de transporte (Silva & Beltrame, 2018)

Modo	R\$/Km (2016)	Ajustado para 2018	modelos
<b>Ônibus</b>	-	<b>5,08</b>	<b>R\$/km</b>
<b>Motos</b>	0.43	0.56	Econômica
	0.74	0.96	Urbana
média das motos	0.52	<b>0,67</b>	<b>R\$/km</b>
<b>Carros</b>	0.26	0.76	Econômico
	0.30	0.79	Médio
	1.19	3.08	Caminhonete
	3.15	8.15	Sedan de luxo
média dos carros	<b>1,61</b>	<b>2,08</b>	<b>R\$/km</b>

Uma vez que o consumo de combustível foi contabilizado separadamente, para efeito de cálculo, o montante referente aos gastos com combustíveis foi retirado dos custos de operação. Também não foram considerados os gastos com estacionamento, ou analisado o fator trânsito e horários de pico, devido à impossibilidade de se prever o tráfego na cidade, fator que tem influência nas tarifas de táxi e nos gastos com combustível. O levantamento foca exclusivamente na questão econômica, sem considerar variáveis como conforto, tempo e segurança.

Utilizando-se de as taxas de R\$/Km, ilustradas na tabela 14, avançamos com a quantificação dos custos de manutenção. Para o cálculo, subtraímos da taxa de R\$/Km o custo em R\$ de combustível por Km para cada modo e o custo da tarifa do metrô por Km, para os modos privados. Isto significa que mesmo que o usuário privado tenha economia ao escolher o metrô como modo de transporte, o usuário de ônibus ainda tem que arcar com o custo da tarifa. Esta diferença foi multiplicada pelo total de Km rodados (descrito na seção 3 deste relatório e ilustrado na tabela 13), resultando no custo de manutenção e operação de cada modo. Estes valores foram somados para representar o total, em R\$, de economia para a sociedade. O resumo destes valores está ilustrado na tabela 15.

Tabela 15 Cálculo das reduções em custos de operação por modo de transporte.

	Ônibus	Moto	Carro
R\$/Km	R\$5,08	R\$0,67	R\$2,08
R\$.combustível/Km	R\$1,32	R\$0,20	R\$0,49
Custo da tarifa do metrô	-	R\$0,26	R\$0,26
<b>Diferença</b>	<b>R\$3,76</b>	<b>R\$0,22</b>	<b>R\$1,33</b>
Km reduzidos	1.242.127	28.234.303	1.040.211
Redução	R\$4.670.398,324	R\$6.149.643,930	R\$1.380.805,00
<b>Soma</b>			<b>R\$ 12.200.847,25</b>

## 5. EMISSÃO POLUENTES

O transporte de pessoas e mercadorias sempre esteve associado a algum tipo de poluição, atmosférica, sonora ou visual (IPEA, 2011). No mundo, o setor de transportes responde por 20% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, e no Brasil este setor é responsável por cerca de 9% do total das emissões (CNT, 2009). Se considerarmos apenas o transporte rodoviário, o sistema de ônibus, responsável por mais de 60% dos deslocamentos, contribui com 7% das emissões do setor. Ao mesmo tempo, os automóveis atuam em menos de 30% dos deslocamentos, o que faz com que participem com metade dessas emissões. Em pouco tempo, ao longo do século XX, o Brasil deixou de ser um país rural e passou a ser majoritariamente urbano. Hoje, 80% da população brasileira vive em área urbana, com significativa participação no consumo energético e nas emissões de CO<sub>2</sub>.

O cálculo de emissões de poluentes utiliza uma medida comparativa definida por CO<sub>2</sub>(e) ou equivalente, que representa todos os gases poluentes presentes nas emissões. A título de curiosidade, podemos citar alguns dos gases presentes como sendo: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, dentre outros (Aguilar, et al., 2015). Grande parte desta poluição é devida ao uso do transporte individual motorizado, considerado o mais poluente, e também em relação à distância média das viagens motorizadas realizadas. Essa mudança ocorrida na estrutura das cidades trouxe consequências geradoras de externalidades negativas à sociedade, como poluição, congestionamentos e mortes, ocasionando custos econômicos e ambientais.

Deste contexto, fica claro que o potencial de benefícios sociais associados à redução da mobilidade motorizada poluente é muito grande. Em se tratando de motores menos poluentes, segundo dados do IPEA (2011), a participação dos motores elétricos como fonte poluidora tem um nível de emissões unitárias que chega a ser 36 vezes menor que nos casos observados para os automóveis a combustão interna. Consequentemente, acredita-se que a adoção do metrô elétrico como modo prioritário de transporte de massa tem muito a contribuir com a diminuição das emissões per capita das cidades.

Uma forma de se avaliar o benefício causado pela redução das emissões de poluentes é através de sua monetização. A quantificação das emissões de gases poluentes que deixariam de ser emitidas por conta da utilização do metrô pode ser calculada a partir da quantificação de viagens que deixaram de ser feitas por veículos poluentes, quantificadas em km não rodados. A emissão de gases é medida pela quantidade de Kg de gases para cada litro de combustível consumido. Sabendo-se o nível de consumo dos veículos (em l/km) e a taxa de emissões (em Kg/l de combustível) podemos quantificar o total de gases não emitidos, ou reduzidos.

Para o cálculo da redução de emissão de poluentes utilizou-se a lotação média dos ônibus, carro e moto, considerando-se uma proporção na redução do número de viagens em comparação aos passageiros transportados pelo metrô linha sul. Isto significa que, a partir da divisão modal do sistema (tabela 9) estipulou-se a quantidade de passageiros por cada modo, e depois calculou-se a quantidade

de viagens necessárias para atender a todos estes passageiros. Dado o nível de consumo de combustível por cada veículo, foi possível quantificar quantos litros de combustível seriam necessários para perfazer todas as viagens estimadas.

Os últimos dois passos foram a quantificação dos gases emitidos (em toneladas) para cada tipo de veículo e a monetização destes valores. O valor de Km rodados (ano) foi encontrado através da multiplicação do valor de redução do número de viagens pela distância média das viagens encontrado através da matriz O-D (tabela 4). A distância média utilizada é de 12,96 km. As taxas de emissões em Kg/l foram adotadas a partir dos dados calculados por Soares (2009) e confirmados pelo IPEA (2011). A monetização das toneladas de CO<sub>2</sub>(e) foram calculadas a partir da cotação do crédito de carbono futuro (Futuros, 2018). Os valores estão listados resumidamente na tabela 16.

*Tabela 16 Monetização dos benefícios com a redução das emissões de poluentes.*

	<b>ÔNIBUS</b>	<b>MOTO</b>	<b>CARRO</b>
<b>Lotação média</b>	50,67	1,40	2,00
Redução do número de viagens	95.548	2.171.869	80.016
Redução dos Km rodados (ano)	1.242.127	28.234.303	1.040.211
<b>l/km</b>	0,40	0,040	0,1
Redução Diesel consumido (ano)	496.851	1.129.372	104.021
<b>Emissão teórica Kg.Co2/l</b>	4,00	2,30	2,30
kg.Co2 deixados de emitir	<b>1.987.403,5</b>	<b>2.597.555,8</b>	<b>239.248,6</b>
<b>Crédito de Carbono</b>	<b>€ 16,00</b>		
<b>Cambio (em reais)</b>	<b>R\$69,92</b>		
<b>Monetização (€)</b>	€ 31.798	€ 41.561	€ 3.828
(R\$)	R\$138.959,26	R\$181.621,10	R\$16.728,26
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 337.308,62</b>

## RESULTADO FINAL

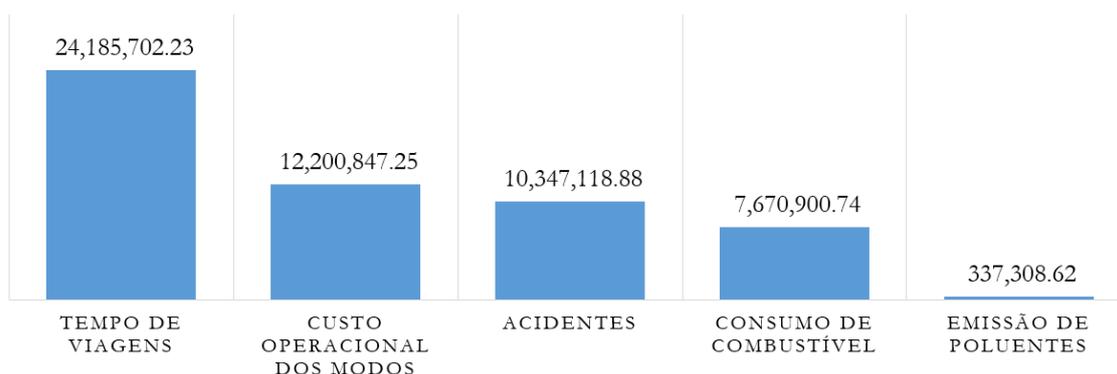
Apresentamos a tabela 17 como resumo do esforço de contabilização dos benefícios sociais decorrentes das seis fontes tratadas neste relatório. Dela consta o sumário dos valores calculados para cada ganho socioambiental, monetizados em reais.

*Tabela 17 Resumo da monetização de benefícios sociais, discriminando cada tipo de benefício.*

Benefícios Sociais	Milhões	%	% Acumulada
Tempo de Viagens	R\$ 24.185.702,23	44.2%	44.2%
Custo Operacional, Ônibus, Auto e Moto	R\$ 12.200.847,25	22.3%	66.5%
Acidentes	R\$ 10.347.118,88	18.9%	85.4%
Consumo de Combustível	R\$ 7.670.900,74	14.0%	99.4%
Emissão de Poluentes	R\$ 337.308,62	0.6%	100.0%
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 54.741.877,72</b>		

Em seguida apresentamos os mesmos números na forma de gráfico, a título de comparação visual (gráfico 1).

Gráfico 1. Monetização de benefícios sociais para o período de setembro a agosto de 2018

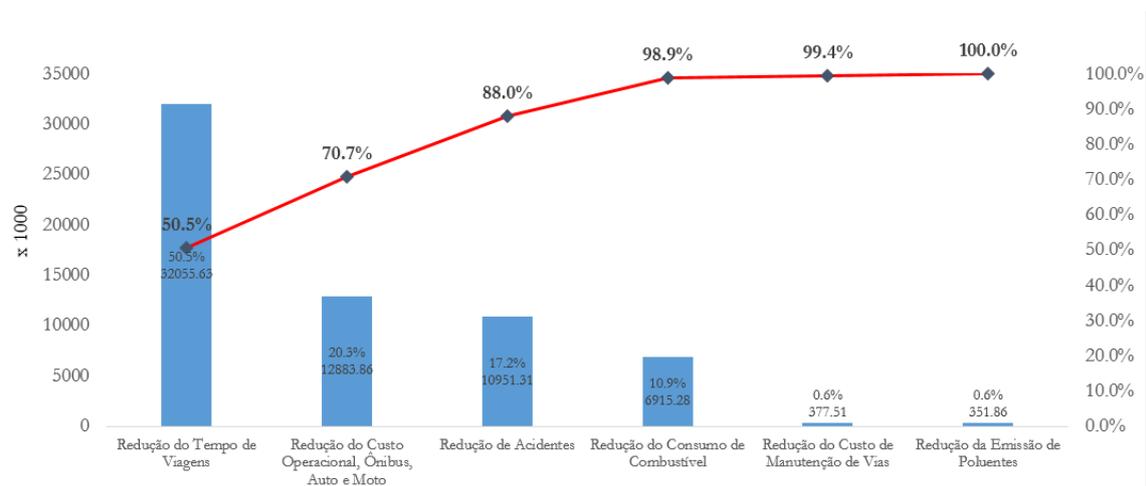


## ATUALIZAÇÃO DOS DADOS PARA 2018 E ESTIMATIVAS FUTURAS

Dado que os valores apresentados até aqui dizem respeito aos benefícios sociais e ambientais relativos aos 12 meses entre setembro 2017 a agosto de 2018, reconhecemos a necessidade de relatar ainda os novos valores de benefícios, tendo como base os dados observados no ano de 2018 para a demanda de transporte metroferroviário da linha sul do Metrofor. Mais ainda, pretendemos apresentar as estimativas para 2019, baseada nas projeções de demanda daquele ano. A seguir, apresentamos as tabelas discriminando os benefícios por setor estudado, bem como os gráficos ilustrativos dos valores.

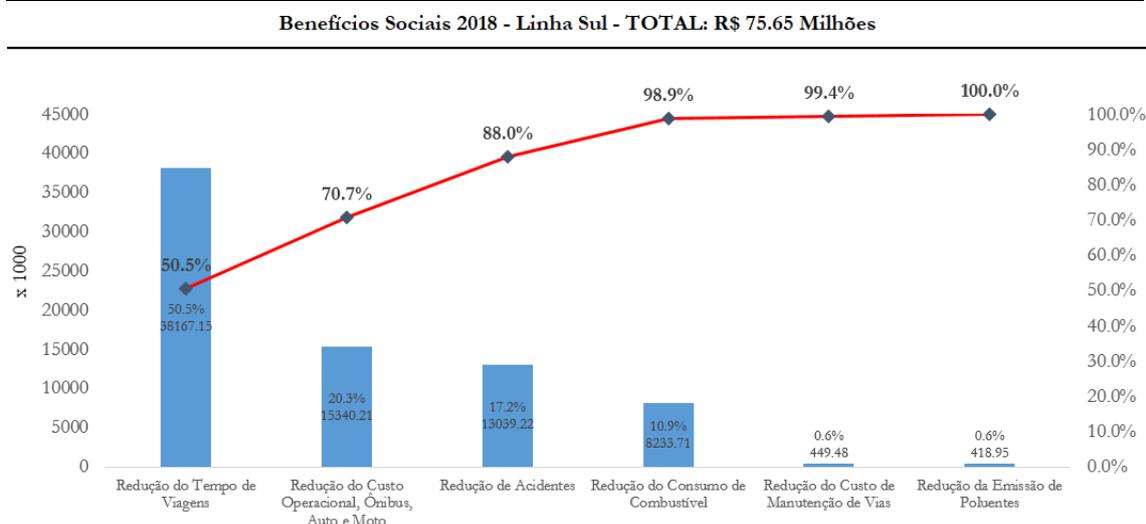
Para o ano de 2018

Resultados (2018) – com base em observações diretas de demanda			
Setores beneficiados	VALOR EM R\$		
	x mil	%	% Acumulada
Redução do Tempo de Viagens	32055.63	50.5%	50.5%
Redução do Custo Operacional, Ônibus, Auto e Moto	12883.86	20.3%	70.7%
Redução de Acidentes	10951.31	17.2%	88.0%
Redução do Consumo de Combustível	6915.28	10.9%	98.9%
Redução do Custo de Manutenção de Vias	377.51	0.6%	99.4%
Redução da Emissão de Poluentes	351.86	0.6%	100.0%
<b>TOTAL</b>	<b>63,535.46</b>		



Para o ano de 2019

Estimativas (2019) – com base em projeções de demanda			
Setores beneficiados	VALOR EM R\$		
	x mil	%	% Acumulada
Redução do Tempo de Viagens	38167.15	50.5%	50.5%
Redução do Custo Operacional, Ônibus, Auto e Moto	15340.21	20.3%	70.7%
Redução de Acidentes	13039.22	17.2%	88.0%
Redução do Consumo de Combustível	8233.71	10.9%	98.9%
Redução do Custo de Manutenção de Vias	449.48	0.6%	99.4%
Redução da Emissão de Poluentes	418.95	0.6%	100.0%
<b>TOTAL</b>	<b>75,648.72</b>		



Benefícios Sociais 2018 - Linha Sul - TOTAL: R\$ 75.65 Milhões

## LIMITAÇÕES DA ABORDAGEM

Acreditamos que a abordagem apresentada até aqui representa um esforço válido de monetização dos benefícios gerados pelo Metro de Fortaleza, em especial a sua linha Sul. Entretanto, reconhecemos que a abordagem adotada é limitada. Sua limitação se dá de duas formas, a primeira (1) é associada às próprias simplificações dos métodos de quantificação adotados, a segunda (2) se dá por ignorarmos alguns benefícios pela impossibilidade de mensuração. Apresentamos a seguir uma pequena amostra de limitações do segundo tipo, compreendendo a redução de custos com manutenção de vias, os custos reais da poluição na forma de degradação ambiental, e os benefícios gerados com a valorização da terra urbana.

### *Redução dos custos com manutenção de vias*

Em trabalhos semelhantes a este relatório, é comum observar-se a inclusão de estimativas de economia com menores custos de manutenção de vias. Na situação de substituição de transporte coletivo por ônibus pelo metro, reconhecemos uma minoração do total de veículos sobre rodas nas ruas da cidade. Esta redução implica em menor utilização da infraestrutura viária por veículos de grande porte, em especial os ônibus. Acreditamos que haja algum benefício associado a esta redução de desgaste. Entretanto, pela dificuldade de se isolar este benefício, decidiu-se não contabilizá-lo.

### *Custos reais da poluição – degradação ambiental*

Além dos benefícios monetizáveis por meio do cálculo de crédito de carbono, acreditamos que a poluição gera outros conjuntos de problemas. Reconhecemos os problemas associados à poluição como causadores de degradação do ambiente, redução da capacidade produtiva (dias não trabalhados) (Upton, 2016), internações hospitalares (Rodrigues, Vormittag, Cavalcante, & Saldiva, 2015), ou mesmo mortes (UNEP, 2015). Estes custos já são monetizáveis e estão expressos em alguns trabalhos acadêmicos e técnicos (Miraglia & Gouveia, 2014).

Segundo Flores e Alencar (2011), além do valor do crédito de carbono, reconhece-se custos associados à emissão de toneladas de vários gases poluentes, presentes no escapamento dos veículos (Tabela 20). Além disto, outros trabalhos tentam quantificar e monetizar as mortes decorrentes da poluição, chegando ao número de 20.050 mortes em 29 regiões metropolitanas brasileiras, e a um custo estimado de US\$ 1,7 bilhão/ano, segundo metodologia DALY (Disability Adjusted Life Years).

*Tabela 18. Custos da emissão de tonelada de gases poluentes (em US\$ de 2006).*

US\$/t em 2006	
CO	\$517,94
HC	\$2.292,62
NO <sub>x</sub>	\$2.650,06
SO <sub>x</sub>	\$10.086,83
MP	\$13.554,21
CO <sub>2</sub>	\$83,24

Fonte: ANTP – IPEA

### *Valorização das terras urbanas*

Além dos benefícios relativos às melhorias causadas pela substituição de sistemas menos eficientes pelo metrô, acreditamos que haja um benefício associado à maior qualidade do serviço prestado sobre trilhos. Os ganhos com melhores níveis de acessibilidade, além de afetarem diretamente os tempos de deslocamento de pessoas, tem efeitos sobre o território. Reconhecemos a grande importância dos níveis de acessibilidade para a valorização do solo e dos imóveis (Lima Neto, 2011). Diante isto buscamos mais alguns argumentos para embasar tal visão.

Segundo o TCRP (1996) existem quatro aspectos relativos aos sistemas de transporte que influenciam as cidades, sendo a variação do valor do solo a primeira delas. As demais são associadas ainda a como e em que intensidade o solo é utilizado, tratando das melhorias urbanas, desenvolvimento socioeconômico e os impactos na estrutura da cidade dados novos usos do território. Alguns trabalhos avançam na tentativa de quantificar essa valorização. A seguir, apresentamos dois exemplos.

Na cidade de Nova Jersey (EUA) verificou-se um incremento de US\$ 149,00 no valor das residências para cada US\$ 1,00 de economia em tempo de viagem (dentro de uma medida de capacitação do ganho da mobilidade) (Boyce, 1972; Lima Neto, 2011). Em Bogotá (Colômbia), devido ao TransMilenio (sistema de transporte de alta capacidade), o valor dos imóveis comerciais e residenciais lindeiros aos terminais do sistema, observou-se aumento entre 5,8% e 17% nos preços dos imóveis residenciais. Atribui-se esta variação à capitalização do incremento de acessibilidade. Para os imóveis comerciais o incremento no preço foi muito maior, variando entre 256% e 365% (Calvo, Mendoza, Baquero-Ruiz, & Mendieta-Lopez, 2007).

## APÊNDICE

Em estudos de previsão de demanda, encomendados pela Companhia Cearense de Transportes Metropolitanos - Metrofor, (Transitar, 2018), um conjunto de cenários futuros forma elaborados. Estes cenários foram estabelecidos levando-se em conta os estágios evolutivos da implementação do metrô. Um cenário base foi estabelecido para o ano de 2017, avaliando o metrô em sua conjuntura presente. Os demais cenários adotaram como critérios os seguintes aspectos do sistema:

- 2020 – Pleno funcionamento comercial do VLT Parangaba-Mucuripe;
- 2022 – Final da implantação da primeira fase da linha Leste (até a estação Papicu);
- 2027 – Final da implantação da segunda fase da linha Leste (até a estação Edson Queiroz);
- 2032 – Final da implantação da terceira fase da linha Leste (estações intermediárias);
- 2042 – Horizonte de maturação do sistema – 10 anos.

Este estudo de previsão de demanda avalia todo o sistema metroferroviário da capital cearense. O atual relatório, no entanto, se restringe ao estudo da linha Sul. Deste modo, adotamos para efeito de previsão de benefícios sociais os números modelados pela Empresa Transitar (2018) relativos ao total de passageiros apenas da linha Sul em duas modalidades, adotando ou não adotando a integração entre outros modos de transporte público.

Foram simulados os benefícios sociais para cada cenário, em um total de 12. É possível identificar um alto potencial no incremento desses valores de acordo com o crescimento da demanda do sistema ao longo do tempo (Gráfico 2). Vale ressaltar que os cenários analisados levaram em consideração apenas alterações na demanda do sistema. Em todos os cálculos envolvidos na quantificação dos benefícios sociais as variáveis outras (que não de demanda por transporte ferroviário) se mantiveram iguais ao cenário atual (2017).

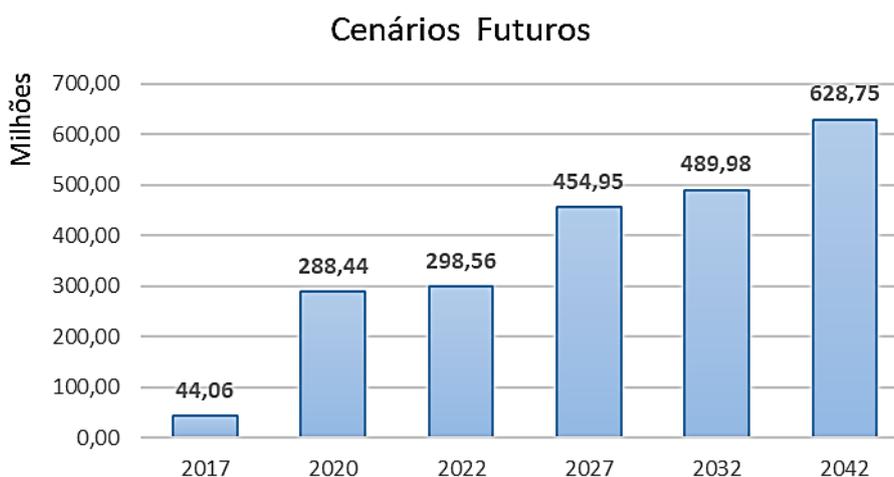


Gráfico 2. Estimativa de benefícios sociais monetizados dados os cenários de previsão de demanda.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar, S. d., Araújo, R. d., Cavalcante, F. S., Bertoincini, B. V., Lima, R. K., & Oliveira, M. L. (2015). Avaliação das emissões de escapamento veicular em condições específicas do motor: partida e marcha-lenta. *Transportes*, 35-43.
- ANTP. (2010). *Custos dos Deslocamentos: Custos para usar ônibus, moto e automóvel*. Sistema de Informação da Mobilidade Urbana.
- ANTP. (2017). *Custos dos serviços de transporte público por ônibus: Método de cálculo*. São Paulo: ANTP.
- Banco Central do Brasil. (s.d.). *Calculadora do Cidadão*. Acesso em 15 de 05 de 2018, disponível em <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/>
- Boyce, D. F. (1972). *Impact of rapid transit on suburban residential property values and land development*. Washington: U.S. Department of transportation.
- Calvo, J. A., Mendoza, C. A., Baquero-Ruiz, A. F., & Mendieta-Lopez, J. C. (2007). *Study of the effect on the transmilenio mass transit project on the value of properties in Bogotá, Comlombia*. Lincoln Institute of Land Policy.
- CNT, C. N. (2009). *Oficina Nacional: transporte e mudança climática*. Brasília.
- ETUFOR. (2015). *Anuário de transporte público de Fortaleza*. Fortaleza: Prefeitura de Fortaleza.
- FENABRAVE. (2018). *Anuário 2017: O desempenho da distribuição automotiva no Brasil*. São Paulo: DTI Fenagrave/Milxtor Arte.
- Flores, R. M., & Alencar, R. S. (2011). Uma análise dos benefícios socioeconômicos gerados pela CPTM para a região metropolitana de São Paulo através do modelo de demanda de quatro etapas. *Revista Brasileira de Economia de Empresas*, 11(1); 79-105.
- Fortaleza. (2016). *Relatório anual de segurança viária de Fortaleza*. Fortaleza: Prefeitura de Fortaleza.
- Fortaleza, P. M. (2016). *Canal Infraestrutura*. Acesso em 15 de 06 de 2018, disponível em <https://infraestrutura.fortaleza.ce.gov.br/2016-10-28-18-07-54.html>
- Futuros, B. d. (2018). *Crédito Carbono Futuros*. Acesso em 02 de 07 de 2018, disponível em <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>
- IPEA. (2011). *Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros*. Brasília: IPEA.
- IPEA. (2015). *Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Kawamoto, E. (1994). Calibração do modelo semi-compensatório de escolha modal. *Transportes RJ*, 31-41.
- Lima Neto, V. C. (2011). *Efeito de investimentos em transporte público no valor dos imóveis: O caso do Distrito Federal*. Brasília: IPEA.

- Miraglia, S. G., & Gouveia, N. (2014). Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. *Ciência & Saúde Coletiva*, 9(10); 4141-4147. doi:10.1590/1413-812320141910.09232014
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.
- Rodrigues, C. G., Vormittag, E. d., Cavalcante, J. A., & Saldiva, P. H. (2015). Projeção da mortalidade e internações. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v.32 no.3, 489-509.
- Silva, D., & Beltrame, N. (2018). *Calculadora de mobilidade urbana - WTS BRA*. Acesso em 18 de 06 de 2018, disponível em <http://infograficos.estadao.com.br/economia/custo-transporte/>
- Sindionibus. (2017). *Numeros do Setor*. Acesso em 17 de 06 de 2018, disponível em <http://www.sindionibus.com.br/>
- Soares, L. H., Alves, B. J., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2009). *Mitigação da emissão de gases efeito estufa pelo uso de etanol de acana de açúcar produzido no Brasil*. EMBRAPA.
- Souza, A. A., & Pereira, A. C. (2013). Critérios que influenciam na escolha de modos de transporte nos deslocamentos ao aeroporto. *Anais do Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, (p. XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte). Santiago.
- TCRP. (1996). *Transit and urban form*. Washington: Transportation Research Board, National Academy Press.
- Transitar. (2018). *Estudo de atualização de demanda: Metrô de Fortaleza*. Pesquisa de demanda, Fortaleza.
- UNEP. (2015). *A Poluição é a maior causa de morte no mundo*. GAHP - Global Alliance on Health and Pollution. Fonte: [www.intertox.com.br/images/UNEP\\_SDG\\_FactSheet\\_March13\\_2015b.pdf](http://www.intertox.com.br/images/UNEP_SDG_FactSheet_March13_2015b.pdf)
- Upton, S. (15 de 08 de 2016). *Air Pollution's True Costs*. Acesso em 14 de 09 de 2018, disponível em Project Syndicate: <https://www.project-syndicate.org/commentary/human-cost-of-air-pollution-by-simon-upton-2016-08?barrier=accesspaylog>