

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL

FABRÍCIO PIETROBELLI

**ÔNIBUS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE PÚBLICO
MUNICIPAL: GEOGRAFIA DAS TRANSIÇÕES
SUSTENTÁVEIS PARA UMA MOBILIDADE DE BAIXO
CARBONO**

Porto Alegre

2020

FABRÍCIO PIETROBELLI

**ÔNIBUS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE PÚBLICO
MUNICIPAL: GEOGRAFIA DAS TRANSIÇÕES
SUSTENTÁVEIS PARA UMA MOBILIDADE DE BAIXO
CARBONO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional.

Área de concentração: Infraestrutura e Planejamento Urbano e Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Júlio Celso Borello Vargas

Porto Alegre

2020

CIP - Catalogação na Publicação

Pietrobelli, Fabrício

Ônibus Elétricos no Transporte Público Municipal:
Geografia das Transições Sustentáveis para uma
Mobilidade de Baixo Carbono / Fabrício Pietrobelli. --
2020.

125 f.

Orientador: Júlio Celso Borello Vargas.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa
de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional,
Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Transições Sustentáveis. 2. Geografia das
Transições. 3. Mobilidade de Baixo Carbono. 4. Ônibus
Elétricos. 5. Transporte Público Municipal. I. Vargas,
Júlio Celso Borello, orient. II. Título.

FABRÍCIO PIETROBELLI

**ÔNIBUS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE PÚBLICO
MUNICIPAL: GEOGRAFIA DAS TRANSIÇÕES
SUSTENTÁVEIS PARA UMA MOBILIDADE DE BAIXO
CARBONO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional e **aprovada** em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Júlio Celso Borello Vargas, PROPUR/UFRGS
Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil
Orientador e Presidente da Banca

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Heleniza Campos, PROPUR/UFRGS
Doutora pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Prof.^a Dr.^a Luciana Inês Gomes Miron, PROPUR/UFRGS
Doutora pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Márcio de Almeida D'Agosto, PET/COPPE/UFRJ
Doutor pela UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil

Porto Alegre, 02 de dezembro de 2020.

*A different world cannot be
built by indifferent people.*

AGRADECIMENTOS

À UFRGS e ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR), pela oportunidade de desenvolver estudos em um Programa da mais alta excelência.

Ao meu orientador, Prof. Júlio Vargas, pelos ensinamentos, orientação e rica troca de conhecimentos ao longo desta jornada.

Aos demais professores do PROPUR, pelas valiosas e marcantes contribuições nas diversas áreas, pela inspiração que me manteve curioso e motivado.

Aos meus pais, princípio de tudo, pela admirável dedicação que sempre tiveram em educar seus filhos e transmitir seus valores e amor incondicional.

Ao meu irmão, pelo apoio fundamental e inigualável, pela inspiração desde cedo, pelas conversas engrandecedoras e pelo conforto nos momentos desafiadores desta jornada.

Às amigas que cultivei em Porto Alegre, por alegrarem a minha jornada, pelas incríveis experiências, pelo apoio essencial, pelo crescimento mútuo e por contribuírem continuamente para eu (re)descobrir a minha melhor versão. Em especial ao Ândrey, ao Gold, ao Bossa, à Fran, à Dani e à Rai. Aos Ohan!

Às amigas que estabeleci a partir do intercâmbio CsF, pelas memórias incríveis, pelas experiências únicas e pelos sonhos compartilhados. Também à CAPES e aos governantes que tornaram a experiência possível, por efetivamente demonstrarem que o conhecimento rompe fronteiras e que o acesso a oportunidades transforma vidas.

Aos colegas do PROPUR, ora amigos, pela brilhante troca de pensamentos, ideias e inquietações, e pela parceria dentro e fora da sala de aula.

A los colegas del Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas, por la confianza y apoyo, por el aprendizaje incomparable y por la oportunidad de contribuir a la transición hacia un futuro más sostenible. ¡Gracias!

RESUMO

O consumo dos combustíveis fósseis como fonte energética associado ao desenvolvimento histórico humano está diretamente relacionado às emissões de gases responsáveis em grande parte pelas mudanças climáticas e pelos poluentes atmosféricos que causam a deterioração da qualidade do ar verificadas hoje no mundo. Para Markard *et al.* (2012), problemas dessa magnitude não podem ser resolvidos por melhorias incrementais – exigem mudanças sistêmicas, conhecidas como **transições sustentáveis**, as quais envolvem alterar padrões de produção e consumo relacionados aos setores de energia e transportes. Eletrificar as frotas de ônibus dos sistemas municipais é considerada uma solução que, integrada a estratégias mais amplas, contribui para atingir uma **mobilidade de baixo carbono**. Essa mudança implica alterar estruturas estáveis existentes atreladas a fatores políticos, econômicos, sociais, culturais e técnicos – o que revela o caráter multidimensional dos processos de transições de sustentabilidade. Essas transições **variam geograficamente** conforme as contingências históricas e espaciais dos territórios nos quais estão inseridas. As interações e conexões entre cultura, ciência, políticas, mercados, entre outros, configuram o que se conhece por **sistemas sociotécnicos**. Estilos de vida, regulamentos e arranjos institucionais estabilizam esses sistemas e são chamados de **regimes sociotécnicos**. Este estudo aprecia as diferenças entre sistemas sociotécnicos de variados contextos espaciais e investiga as associações com os seus respectivos graus de eletrificação de frotas de ônibus municipais – considerado um indicador da transição à mobilidade de baixo carbono. Para isso, desenvolve um estudo de caso comparativo entre **46 municípios do mundo**, explorando relações quantitativas entre **80 atributos** que caracterizam seus sistemas sociotécnicos. A partir de análises estatísticas e de uma abordagem indutiva-dedutiva, **dois perfis territoriais** foram tipificados pelo estudo, explicando 78% dos graus de eletrificação da amostra. Os resultados apontam que as transições tendem a ter maiores oportunidades de desenvolvimento **(i)** em territórios onde os sistemas não estão plenamente consolidados e os seus regimes ainda estão em conformação (territórios “em desenvolvimento”) e **(ii)** em territórios “desenvolvidos” receptivos à mudança e flexíveis na incorporação de padrões de produção e consumo mais sustentáveis em seus regimes sociotécnicos tendencialmente alinhados e consolidados. O primeiro caso parece explicar o grande avanço da China e as várias iniciativas que estão avançando na América Latina atualmente. O segundo caso parece explicar os relevantes graus de eletrificação verificados no Norte Europeu, seguido do resto do continente - justificados por questões culturais, onde o compromisso com a ação climática e o bem-estar social motivam a incorporação de inovações sustentáveis e o avanço na eletrificação dos ônibus municipais. Por outro lado, a América do Norte e a Oceania se assemelham pelo baixo grau de eletrificação e por seus modelos culturais e urbanos: cidades espraiadas e a cultura do automóvel particular consolidada. Os padrões e perfis geográficos identificados mostram, ainda, que não existe um arranjo universal capaz de modificar o regime sociotécnico da mobilidade. O sucesso de uma transição sustentável está vinculado ao reconhecimento das especificidades territoriais de onde ela está inserida e ao desenho de estratégias e soluções particulares que articulem os sistemas e regimes sociotécnicos ali presentes – argumento que contribui para orientar projetos e pesquisas futuras.

Palavras-chave: Transições Sustentáveis; Geografia das Transições; Mobilidade de Baixo Carbono; Ônibus Elétricos; Transporte Público Municipal.

ABSTRACT

The consumption of fossil fuels as an energy source associated with historical human development is directly related to the emissions of pollutants largely responsible for climate change and the deterioration of air quality in the world today. According to Markard *et al.* (2012), problems of this magnitude cannot be solved by incremental improvements - they require systemic changes, known as **sustainable transitions**, which involve changing production and consumption patterns related to the energy and transportation sectors. Electrifying bus fleets from municipal systems is considered a solution that, integrated with broader strategies, contributes to achieving **low-carbon mobility**. This shift implies changing existing stable structures linked to political, economic, social, cultural and technical factors - which reveals the multidimensional nature of the processes of sustainability transitions. These transitions **vary geographically** according to the historical and spatial contingencies of the territories in which they are embedded. The interactions and connections between culture, science, politics, markets, among others, configure what is known as **socio-technical systems**. Lifestyles, regulations and institutional arrangements stabilize these systems and are called **socio-technical regimes**. This study appreciates the differences between socio-technical systems of various spatial contexts and investigates the associations with their respective degrees of electrification of municipal bus fleets - considered an indicator of the transition to low carbon mobility. To do so, it develops a comparative case study among **46 municipalities** in the world, exploring quantitative relationships among **80 attributes** that characterize their socio-technical systems. Based on statistical analyses and an inductive-deductive approach, **two territorial profiles** were typified by the study, explaining 78% of the degrees of electrification of the sample. The results indicate that transitions tend to have greater development opportunities **(i)** in territories where systems are not fully consolidated and their regimes are still being shaped ("developing" territories) and **(ii)** in "developed" territories that are receptive to change and flexible in incorporating more sustainable production and consumption patterns into their sociotechnical regimes that tend to be aligned and consolidated. The first case seems to explain the great advance of China and the various initiatives that are currently advancing in Latin America. The second case seems to explain the relevant degrees of electrification seen in Northern Europe, followed by the rest of the continent - justified by cultural issues, where commitment to climate action and social welfare motivate the incorporation of sustainable innovations and the advance in the electrification of municipal bus fleets. On the other hand, North America and Oceania are similar in their low degree of electrification and their cultural and urban models: sprawling cities and consolidated private car culture. The identified geographical patterns and profiles also show that there is no universal arrangement capable of changing the socio-technical regime of mobility. The success of a sustainable transition is tied to the recognition of the territorial specificities of where it is embedded and the design of particular strategies and solutions that articulate the socio-technical systems and regimes that prevail there - an argument that contributes to guide future projects and research.

Keywords: Sustainability Transitions; Geography of Transitions; Low Carbon Mobility; Electric Buses; Municipal Public Transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução histórica das emissões globais e da concentração atmosférica de CO ₂	13
Figura 2. Consumo final de energia por setor e fonte, países da OECD (2018).....	15
Figura 3. Determinação das variações regionais que condicionam as transições sustentáveis	19
Figura 4. Múltiplos níveis como uma hierarquia aninhada.....	27
Figura 5. Alinhamento de processos em curso em um regime sociotécnico	29
Figura 6. Perspectiva multinível sobre transições (traduzido).....	31
Figura 7. Perspectiva multinível sobre transições (original)	31
Figura 8. Consumo mundial de energia em transportes por tipo de combustível.....	43
Figura 9. Distância média diária de um cidadão norte-americano por modos de transporte...	46
Figura 10. Arranjos tecnológicos dos tipos de veículos elétricos	57
Figura 11. Representação esquemática da metodologia do estudo quantitativo.....	61
Figura 12. Síntese das etapas realizadas para a construção do banco de dados do estudo	66
Figura 13. Distribuição geográfica dos municípios amostrados	67
Figura 14. Histogramas principais do bloco de atributos demográfico	76
Figura 15. Histogramas principais do bloco de atributos físico-espaciais.....	78
Figura 16. Histogramas principais do bloco de atributos político-culturais	79
Figura 17. Histogramas principais de atributos socioeconômicos – atividade econômica.....	81
Figura 18. Histogramas principais de atributos socioeconômicos – emissões de GEE.....	82
Figura 19. Histogramas principais de atributos socioeconômicos – desenvolvimento social .	84
Figura 20. Histogramas principais do bloco de atributos de transportes e mobilidade	85
Figura 21. Agrupamento estatístico dos casos amostrados - Municípios	89
Figura 22. Agrupamento estatístico dos casos amostrados - Países	90
Figura 23. Agrupamento estatístico dos casos amostrados – Continentes.....	90
Figura 24. Histograma do grau de eletrificação da amostra global de municípios.....	92
Figura 25. Gráfico de valores do grau de eletrificação por hemisfério dos municípios	93
Figura 26. Gráfico de valores do grau de eletrificação dos municípios por continentes.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo médio para modos motorizados de transporte de passageiros	44
Tabela 2. Municípios selecionados para as análises do estudo.....	66
Tabela 3. Variáveis selecionadas para as análises do estudo.....	67
Tabela 4. Amostra de municípios por continentes.....	74
Tabela 5. Amostra de municípios por países	74
Tabela 6. Estatísticas descritivas dos atributos demográficos	76
Tabela 7. Estatísticas descritivas dos atributos físico-espaciais	77
Tabela 8. Estatísticas descritivas dos atributos político-culturais.....	79
Tabela 9. Estatísticas descritivas dos atributos socioeconômicos – atividade econômica	81
Tabela 10. Estatísticas descritivas dos atributos socioeconômicos – emissões de GEE	82
Tabela 11. Estatísticas descritivas dos atributos socioeconômicos – desenvolvimento social	83
Tabela 12. Estatísticas descritivas dos atributos de transportes e mobilidade.....	85
Tabela 13. Estatística descritiva do grau de eletrificação, amostra global	91
Tabela 14. Estatística descritiva do grau de eletrificação por hemisfério dos municípios	92
Tabela 15. Estatística descritiva do grau de eletrificação por continente dos municípios.....	93
Tabela 16. Correlações mais relevantes entre as variáveis X e o grau de eletrificação.....	95
Tabela 17. Análise de variância para o grau de eletrificação	96
Tabela 18. Seleção de modelo e validação para o grau de eletrificação.....	96
Tabela 19. Coeficientes da regressão PLS – impacto de variáveis X sobre o grau de eletrificação	98

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA.....	12
1.2 LACUNA DO CONHECIMENTO	17
1.3 BASES TEÓRICAS E CONJECTURAS	18
1.4 OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA	20
1.5 METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO E ESTRUTURA DO DOCUMENTO	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL	22
2.1 TRANSIÇÕES SUSTENTÁVEIS	22
2.1.1 Pesquisas em Transições Sustentáveis.....	22
2.1.2 Enfoques analíticos e conceituais associados aos Estudos de Transições	24
2.1.2.1 Perspectiva Multinível	27
2.2 GEOGRAFIA DAS TRANSIÇÕES SUSTENTÁVEIS	33
2.2.1 A Sustentabilidade nos Estudos Geográficos e nos Estudos de Transições	34
2.2.2 Particularidades Territoriais e as Transições de Sustentabilidade	39
2.3 GEOGRAFIA DA MOBILIDADE E A (IN)SUSTENTABILIDADE	42
2.3.1 Padrões de Mobilidade e seus Impactos	42
2.3.2 Perspectiva Histórica e Variação Geográfica dos Padrões de Mobilidade.....	45
2.3.1.1 América do Norte.....	47
2.3.1.2 América Latina.....	48
2.3.1.3 China e Leste Asiático	50
2.3.1.4 Europa	51
2.3.1.5 Oriente Médio e Norte da África	52
2.3.1.6 África Subsaariana	53
2.3.3 Padrões Sustentáveis de Mobilidade: Baixo Carbono e os Ônibus Elétricos	55
3. ESTUDO EMPÍRICO - METODOLOGIA	60
3.1 ABORDAGEM CONCEITUAL DA MODELAGEM QUANTITATIVA	60
3.2 COLETA E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS	62
3.3 TÉCNICAS ANALÍTICAS	71
4. RESULTADOS	74
4.1 APRESENTANDO OS MUNICÍPIOS	74
4.2 APRESENTANDO OS ATRIBUTOS X – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.....	75
4.2.1 Bloco de atributos demográficos	76
4.2.2 Bloco de atributos físico-espaciais	77

4.2.3 Bloco de atributos político-culturais	79
4.2.4 Bloco de atributos socioeconômicos.....	80
4.2.5 Bloco de atributos de Transportes e Mobilidade	84
4.2.6. Síntese	87
4.3 AGRUPANDO OS MUNICÍPIOS.....	88
4.4 APRESENTANDO O ATRIBUTO Y – VARIÁVEL-RESPOSTA	91
4.5 MODELANDO AS RELAÇÕES ENTRE O GRAU DE ELETRIFICAÇÃO E OS ATRIBUTOS TERRITORIAIS	95
5. DISCUSSÃO.....	108
6. CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS.....	116

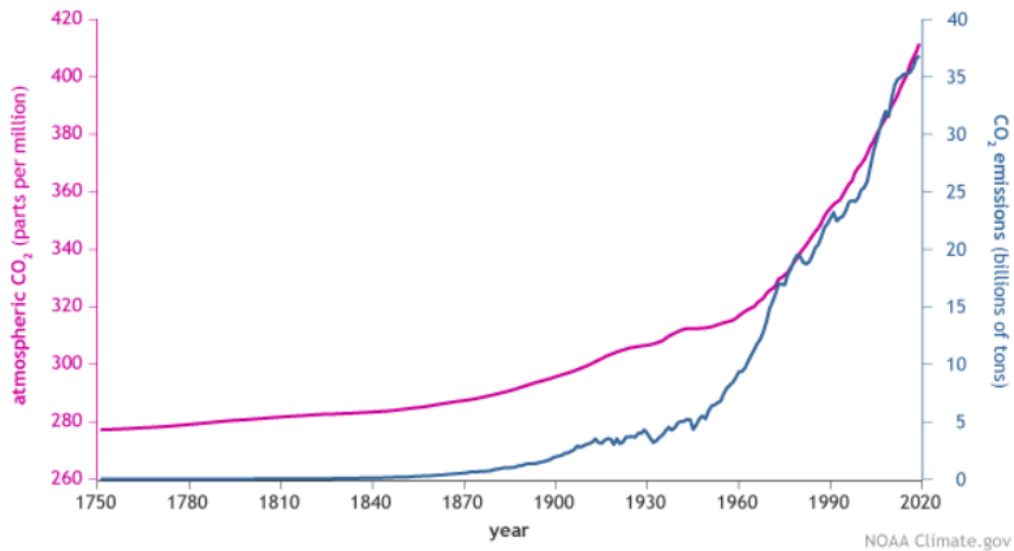
INTRODUÇÃO

Este trabalho trata sobre transições sustentáveis diante dos desafiantes problemas ambientais enfrentados pelas sociedades atuais. Como um desses processos de transição, destaca-se a eletrificação do transporte urbano, através das quais as transições sustentáveis podem contribuir para a implantação de uma mobilidade de baixo carbono. Este capítulo introduz o problema analisado, contextualizando a pesquisa e apresentando os objetivos e a estrutura deste estudo.

1.1 Contextualização e Problema

As sociedades atuais têm se deparado com problemas ambientais desafiantes intensificados pela ação humana. O consumo histórico dos combustíveis fósseis como fonte energética (petróleo e derivados, carvão e gás natural) associado ao desenvolvimento humano está diretamente relacionado às emissões de gases, responsáveis em grande parte pelas mudanças climáticas, e de poluentes atmosféricos, que causam a deterioração da qualidade do ar, verificadas hoje no mundo. O aumento da temperatura média global, a elevação do nível do mar e o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos como tornados e secas são algumas das consequências comprovadamente relacionadas às emissões e ao acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (AMS, 2020). Desde os tempos pré-industriais (1850-2019), a concentração atmosférica de gás carbônico (CO₂, um dos principais GEE relacionados às mudanças climáticas) aumentou em 44,3%, enquanto que a temperatura média global aumentou em mais de um grau Celsius (AMS, 2020; Our World in Data, 2020). A Figura 1, abaixo, mostra a evolução da concentração atmosférica de CO₂ em consonância com as emissões globais de CO₂, de 1750 a 2019.

Figura 1. Evolução histórica das emissões globais e da concentração atmosférica de CO₂



Fonte: NOAA Climate.gov (2020)

Nota de tradução: Eixo vertical à esquerda: concentração atmosférica de CO₂ (em partes por milhão). Eixo vertical à direita: emissões globais de CO₂ (em bilhões de toneladas). Eixo horizontal: anos (de 1750 a 2020).

Além disso, nove em cada dez pessoas no mundo respiram ar com qualidade inferior ao recomendado pela Organização Mundial da Saúde e estima-se que, anualmente, sete milhões de pessoas morrem de doenças causadas pela respiração de ar poluído em todo o planeta (OMS, 2018; UNEA, 2017). A deterioração da qualidade do ar ambiente assim como as mudanças climáticas são intensificadas pelo consumo de fontes energéticas com altas concentrações de carbono – como é o caso dos combustíveis fósseis (energias não renováveis).

Em 1965, 93,8% de toda a energia primária consumida no mundo foi gerada por este tipo de combustível; em 2019, continuou somando 84,9% de toda a energia global – indicando uma dependência ainda atual (Our World in Data, 2020). Nesse sentido, esforços internacionais têm sido realizados para intensificar as ações e investimentos necessários para um futuro sustentável de baixo carbono, buscando combater as mudanças climáticas e o aquecimento global. Em 2015 foi estabelecido o Acordo de Paris, assinado por 194 países e pela União Europeia, que definiu como objetivo limitar o aumento da temperatura média global abaixo de dois graus Celsius com relação aos níveis pré-industriais, buscando cumprir a meta inicial de mantê-lo em 1,5°C (UNFCCC, 2020a; UNEP, 2019). Em 2016, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (adotada por líderes mundiais em setembro de 2015 em uma Cúpula histórica da ONU) entraram oficialmente em vigor, buscando mobilizar esforços para erradicar todas as formas de pobreza, combater as desigualdades e combater as mudanças climáticas, garantindo que

ninguém seja deixado para trás (UN, s.d.[b]). Também em 2016, a Nova Agenda Urbana, adotada no Habitat III em Quito, Equador, apresentou uma mudança de paradigma com base na ciência das cidades e estabeleceu normas e princípios para o planejamento, construção, desenvolvimento, gestão e melhoria de áreas urbanas. A Nova Agenda Urbana destaca as ligações entre a urbanização sustentável e a criação de empregos, oportunidades de subsistência e melhoria da qualidade de vida, e insiste na incorporação de todos esses setores em todo desenvolvimento urbano ou política e estratégia de renovação (UN HABITAT, 2020). Da mesma forma, parcerias internacionais comprometidas com a melhoria da qualidade do ar e a proteção do clima por meio de ações para reduzir as emissões atmosféricas têm sido estabelecidas, a exemplo do *Climate & Clean Air Coalition* (ccacoalition.org).

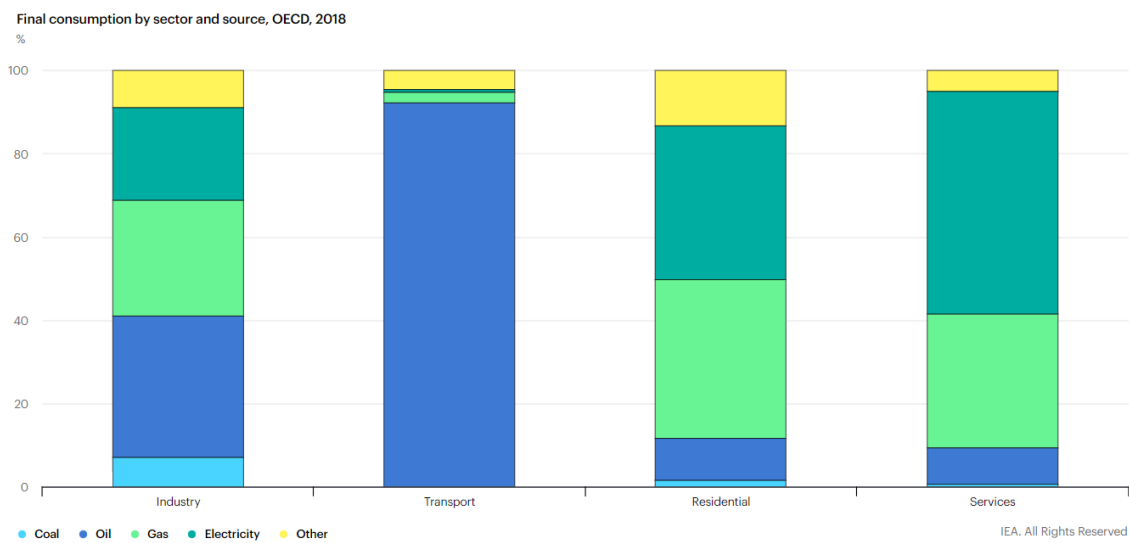
Cabe aqui apresentar o conceito de sustentabilidade considerado para o desenvolvimento deste estudo. Conforme a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 2020b), “sustentabilidade” refere-se à dimensão ambiental do desenvolvimento sustentável. Em 1987 foi criada a Comissão Brundtland com a missão de unir os países para buscar o desenvolvimento sustentável juntos. Neste mesmo ano, foi publicado o Relatório Brundtland (também conhecido como “Nosso Futuro Comum”), tratando do desenvolvimento sustentável e da mudança política necessária para alcançá-lo, como resposta ao conflito entre a ordem nascente que promove o crescimento econômico globalizado e a degradação ecológica acelerada que ocorre em escala global. Com ele, ficou definido o seguinte conceito: “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”.

Ainda, segundo a Rede de Pesquisa em Transições de Sustentabilidade (*Sustainability Transitions Research Network*) (STRN, 2017), enfrentar problemas ambientais como a mudança climática, perda de biodiversidade e o esgotamento de recursos (água potável, florestas e outros) envolve alterar padrões de consumo e produção insustentáveis relacionados aos setores de energia, transportes, saneamento e agro-alimentação. Markard *et al.* (2012) apontam que esses problemas não podem ser resolvidos por melhorias incrementais – são necessárias mudanças sistêmicas, as quais são chamadas de “**transições de sustentabilidade**” ou “**transições sustentáveis**”.

Um desses processos de mudanças sistêmicas necessárias está relacionado ao setor de transportes, que desponta como o setor com maior crescimento do consumo final de energia no

mundo (TheCityFix, 2020). Em 2017, os transportes tiveram uma participação de 28,9% no consumo total de energia, sendo responsáveis por 24,5% das emissões globais totais de CO₂ (IEA, 2020a). Em países pertencentes à OECD, por exemplo, o consumo de petróleo e derivados no setor chegou a 92,3% em 2018, destoando com relação aos demais setores (Figura 2). Ainda, em países analisados pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2020a), 62,5% da energia consumida pelos transportes no ano de 2017 foi utilizada pelo transporte rodoviário de passageiros – o que indica que o transporte urbano tem relevante participação nessas relações.

Figura 2. Consumo final de energia por setor e fonte, países da OECD (2018)



Nota de tradução: Eixo vertical à esquerda: consumo final de energia por setor e fonte (em %). Eixo horizontal: Setores; da esquerda para a direita: Indústria, Transporte, Residencial, Serviços. Legenda de fontes: da esquerda para a direita: carvão, petróleo e derivados, gás, eletricidade, outros.

Portanto, existe uma necessidade e um grande potencial para cidades promoverem mudanças sistêmicas, migrando para padrões de produção e consumo mais sustentáveis, sendo uma delas relacionada à divisão modal do transporte urbano. Em 2019, 55,7% da população mundial residia em áreas urbanas, e a previsão é de que esse número passe para 68% no ano de 2050 (WB, 2018; UN DESA, 2018). Com isso, estima-se que o total de quilômetros percorridos em áreas urbanas deverá triplicar até o ano de 2050 com relação à 2015 (ITF, 2019). Embora o automóvel particular deva continuar sendo o modo preferido para viagens pessoais, prevê-se que o transporte público e a mobilidade compartilhada passarão a ter maior participação nas

viagens urbanas, respondendo por mais de 50% do total de passageiros-quilômetros¹ em 2050 (ITF, 2019).

Dessa forma, é possível conciliar as transformações importantes ao setor de modo a também contribuir para a promoção de uma mobilidade de baixo carbono, onde a visão e a ação sejam baseadas em uma combinação de inovações econômicas, de planejamento e tecnológicas, trabalhando em formas de apoio mútuo (BANISTER, 2008). O autor define a mobilidade de baixo carbono como um paradigma alternativo que considera a complexidade das cidades e fortalece as conexões entre uso do solo e transportes. Como estratégias elementares para a sua efetivação, aponta-se (BANISTER, 2008; GIZ, 2012):

- i. Reduzir a necessidade de viajar;
- ii. Incentivar a transferência modal (medidas de políticas de transportes);
- iii. Reduzir as distâncias de viagens (medidas de políticas de uso do solo); e
- iv. Incentivar maior eficiência no sistema de transportes (através de inovações tecnológicas, por exemplo).

Nesse sentido, a eletrificação do transporte urbano aparece como uma inovação tecnológica alternativa aos combustíveis fósseis, cujo processo de implementação se configura como uma transição sustentável rumo à mobilidade de baixo carbono. Para isso, essa inovação tecnológica deve ser implementada como parte de uma estratégia ampla e integrada que junto com as demais medidas elementares possam promover a transferência modal e a priorização do transporte público, por exemplo.

Com isso, surgem os ônibus elétricos, que apresentam reduções potenciais de 50 a 100% nas emissões de material particulado e 35 a 100% nas emissões de CO₂ por escapamento, dependendo do tipo de tecnologia elétrica, em comparação aos ônibus de combustão interna padrão Euro 5, movidos à diesel (ICCT, 2019). Atualmente, existem mais de 500.000 ônibus elétricos em circulação no mundo, em mais de 200 cidades, e a previsão é de que 67% da frota mundial de ônibus municipais será elétrica até 2040 (BNEF, 2020).

Embora os ônibus elétricos se apresentem como uma eficiente e pragmática forma de reduzir emissões de GEE e contribuir para a melhoria da qualidade do ar, a sua adoção ainda é

¹ Passageiro-quilômetro: Unidade de medida de transporte coletivo utilizada na avaliação do volume de tráfego, equivalente a 1 km percorrido por passageiro (MICHAELIS, s.d.).

limitada e apresenta substanciais variações geográficas, sendo que as cidades que já operam ônibus elétricos em seus sistemas de transporte públicos apresentam diferentes graus de eletrificação – isto é, diferentes níveis de participação de ônibus elétricos no total de ônibus das frotas municipais. Tomando o grau de eletrificação como um indicador do avanço nesta transição sustentável, apontam-se como exemplos: Shenzhen (100%), Shanghai (55,1%), Amsterdã (15,5%), Santiago (6,2%), Madrid (3,9%), Campinas (1,8%), Jerusalém (1,5%), entre outros. Esse aspecto será objeto de investigação, conforme explicado nas próximas seções.

1.2 Lacuna do Conhecimento

De acordo com a Rede de Pesquisa em Transições de Sustentabilidade (STRN, 2017), os estudos de transições sustentáveis buscam “conceituar e explicar como mudanças radicais acontecem na maneira como as funções sociais são cumpridas”. Para Geels (2004), as funções sociais – tal como a mobilidade – são cumpridas através de sistemas sociotécnicos, que representam as interações e conexões entre elementos como cultura, ciência, políticas, mercados, preferências dos usuários, entre outros. Além disso, esses sistemas abrangem a produção, a difusão e o uso das tecnologias e são o resultado das atividades dos atores humanos inseridos em grupos sociais e que compartilham certas características (GEELS, 2004).

Um conjunto de autores aponta para a **falta de sensibilidade territorial nos estudos de transições sustentáveis**, buscando entender a relação entre mudanças sistêmicas ocorridas nessas transições com as configurações espaciais e as dinâmicas das redes dentro das quais as transições evoluem (COENEN *et al.*, 2012; MARKARD *et al.*, 2012; TRUFFER, COENEN, 2012; MARX *et al.*, 2015; HODSON, MARVIN, 2010; RODRIGUEZ, 2018). Ainda, para Truffer e Coenen (2012), faltam estudos que apreciem as diferenças de sistemas sociotécnicos entre contextos espaciais.

Markard (2012) aponta também que trabalhos futuros nesta área poderiam estender a abrangência geográfica dos estudos de transição para além dos países europeus, enriquecendo o campo de pesquisa através de estudos comparativos. Rodriguez (2018), por sua vez, reforça que analisar as transições sustentáveis através de uma perspectiva territorial permitiria **entender os impactos positivos e negativos que um lugar ou território exerce sobre o êxito ou fracasso de um processo de transição**. Ainda, a autora expõe que as características políticas, econômicas, tecnológicas, sociais e culturais não são homogêneas em todo o

território, de modo que não existe um único arranjo dominante que consiga modificar o regime sociotécnico da mobilidade urbana e do transporte público.

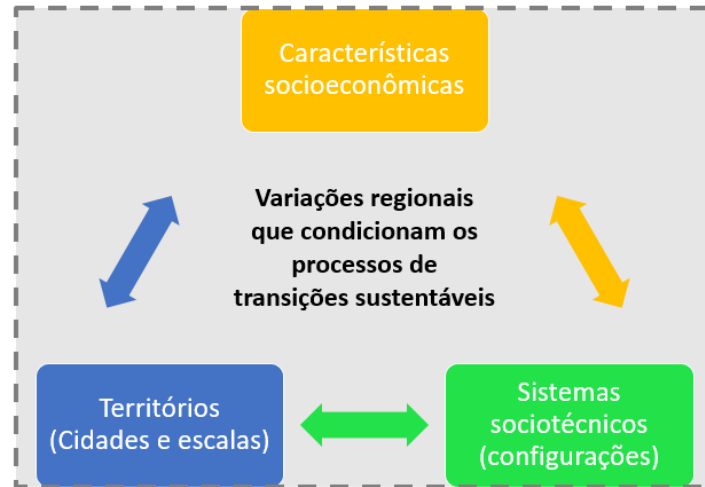
Dessa forma, existe um consenso de que pouca atenção foi dada ao contexto espacial com vista a entender e explicar como as variações geográficas dos sistemas sociotécnicos estão associadas à emergência e ao desenvolvimento de transições sustentáveis. É com vista a essa lacuna do conhecimento que o trabalho irá se desenvolver.

1.3 Bases Teóricas e Conjecturas

Para Coenen e Truffer (2012), um entendimento que foi pouco considerado é de que as transições sustentáveis envolvem diferentes espaços e escalas, e elas (as transições) variam a partir de suas interações com o desenvolvimento regional desigual. Em outro estudo, os autores explicam que o desenvolvimento regional desigual está relacionado ao desenvolvimento socioeconômico e que isto, por sua vez, influencia as configurações dos sistemas sociotécnicos – isto é, influencia as configurações e conexões entre os elementos necessários para cumprir as funções sociais – o que gera variações regionais quanto à viabilidade e promoção de processos de transições sustentáveis (TRUFFER, COENEN, 2012).

Assim, o desenvolvimento regional desigual resultante do desenvolvimento socioeconômico e os sistemas sociotécnicos existentes são fatores interdependentes que determinam as variações regionais – isto é, as circunstâncias com as quais as transições sustentáveis interagem e permitem sua emergência e desenvolvimento. Por isso, nos estudos de transições sustentáveis “esses fatores não devem ser analisados separadamente, visto que eles codeterminam uns aos outros” (COENEN, TRUFFER, 2012). A Figura 3 ilustra essas relações.

Figura 3. Determinação das variações regionais que condicionam as transições sustentáveis



Fonte: elaboração do autor com base em TRUFFER, COENEN (2012).

Como casos práticos de relações que podem ser entendidas como variações geográficas, associadas a escalas regionais mais agregadas, pode-se destacar, por exemplo, a América do Norte e a Oceania, cujos processos de desenvolvimento territorial resultaram em áreas urbanas espraiadas, reforçadas e consolidadas pela cultura do automóvel – o que, por sua vez, influenciou nas suas configurações urbanas, nas infraestruturas implantadas e levou a sistemas de transporte público pouco valorizados. Com algumas semelhanças, a América Latina sofreu processos de urbanização acelerados e descontrolados que, acompanhados por abismos sociais, também culminaram no apelo pelo veículo privado, na falta de priorização do transporte público e consolidaram uma segregação sócio-espacial. Por outro lado, o planejamento urbano aliado à busca pelo desenvolvimento sustentável fez com que cidades mais compactas e eficientes fossem geradas na Europa, levando à implantação de sistemas mais racionais e à busca pelo equilíbrio social, econômico e ambiental – em uma relação de coevolução cultural. Ainda, a China pode ser citada pelas suas particularidades regionais, onde o acelerado êxodo rural, acompanhado por vertiginoso crescimento populacional e econômico nas últimas décadas têm gerado oportunidades para investimentos e desenvolvimento tecnológico, levando a cidades *high-tech* e inúmeras inovações, inclusive na mobilidade urbana.

Nesse sentido, para regiões mais agregadas como os continentes, por exemplo, ficam claras as relações de codeterminação e formação de variações geográficas. O conhecimento de processos históricos permite relacionar o desenvolvimento socioeconômico, a formação dos sistemas sociotécnicos e as manifestações territoriais resultantes em diferentes regiões do planeta, permitindo, inclusive, apontar padrões (ou, ainda, perfis). Entretanto, conforme

apresentado anteriormente (RODRIGUEZ, 2018; TRUFFER, COENEN, 2012), essas características não são homogêneas em todo o território – o que acarreta micro variações entre sistemas sociotécnicos em uma mesma região. Essas variações – que também ocorrem em diferentes escalas espaciais – resultam, portanto, em diferentes oportunidades de emergência e desenvolvimento das transições sustentáveis. Nesse sentido, surgem alguns questionamentos preliminares: duas cidades localizadas em um mesmo país não necessariamente têm o mesmo potencial de sucesso para uma dada transição sustentável, portanto? Como os elementos regionais e os sistemas sociotécnicos variam entre escalas? Eles variam de forma similar? E como essas diferenças resultam em diferentes oportunidades de emergência e desenvolvimento de transições sustentáveis?

1.4 Objetivos e Questão de Pesquisa

Diante do exposto e tomando os ônibus elétricos como objeto temático deste estudo, propõe-se como objetivo principal: investigar associações entre elementos que configuram as variações geográficas onde são operados ônibus elétricos e os respectivos graus de eletrificação das frotas de ônibus que realizam o transporte público municipal – tomando o grau de eletrificação como indicador do avanço desta transição à mobilidade de baixo carbono.

Para isso, foi conduzido um estudo quantitativo buscando identificar e analisar associações estatísticas entre variáveis, de maneira a detectar as relações de influência mútua entre sistemas sociotécnicos, variações regionais e o avanço da eletrificação de frotas de ônibus municipais. As variáveis foram selecionadas e coletadas conforme metodologia definida e apresentada no capítulo 3, a partir de fontes governamentais, estudos técnicos e acadêmicos, notícias midiáticas e demais fontes que atendam aos critérios estabelecidos por esta pesquisa. No total, foram considerados 46 municípios e seus respectivos atributos. Com isso, foi gerado um banco de dados cuja construção, sistematização e equalização das informações também se apresenta como uma contribuição importante à literatura existente, tendo em vista a escassez de dados e análises com relação a este campo de estudo.

Ainda, como etapas intermediárias para atingir o objetivo principal, apontam-se:

- i. Identificar tipologias (perfis) territoriais – a partir de elementos sociais, políticos, ambientais, econômicos, industriais e culturais dos casos de estudo – que permitam relacionar o grau de eletrificação da frota do transporte coletivo;

- ii. Identificar elementos-chave e/ou padrões associados a graus mais avançados de implementação da tecnologia, favorecendo o desenvolvimento desta transição sustentável nos municípios e territórios analisados.

Por fim, define-se como questão de pesquisa: **“Como os diferentes graus de eletrificação de frotas municipais de ônibus do transporte público estão associados às diferentes configurações dos sistemas sociotécnicos?”**.

1.5 Metodologia da Dissertação e Estrutura do Documento

O trabalho inicia introduzindo o tema da pesquisa, justificando sua relevância e apontando para a lacuna do conhecimento. Para atingir os objetivos propostos, o estudo parte de revisões do estado da arte e da prática para fundamentar conceitos e situar a contribuição por ele gerada. Nesse sentido, apresenta-se um capítulo teórico (Capítulo 2) dividido em três seções, onde são fundamentados os seguintes conceitos-chave, necessários para o desenvolvimento da pesquisa: Transições Sustentáveis, Sistemas e Regimes Sociotécnicos, Variações geográficas, Mobilidade de Baixo Carbono e Ônibus Elétricos.

A seguir, o trabalho discorre sobre o estudo empírico realizado e a metodologia desenvolvida (Capítulo 3). São apresentados os objetos de estudo considerados e são descritos os procedimentos realizados para coleta, operacionalização e análise das variáveis. Por fim, são apresentados os resultados encontrados e uma discussão a partir das evidências geradas (Capítulos 4 e 5). O trabalho encerra com um capítulo de conclusões onde são verificados o atendimento aos objetivos propostos, a contribuição à lacuna do conhecimento e a indicação de oportunidades para trabalhos futuros (Capítulo 6).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL

Este capítulo apresenta as teorias e os conceitos fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e está dividido em três seções. A primeira aborda conceitos-chave como Transições Sustentáveis, Sistemas e Regimes Sociotécnicos; a segunda, a Geografia das Transições Sustentáveis; por fim, a Mobilidade de Baixo Carbono e os Ônibus Elétricos.

2.1 TRANSIÇÕES SUSTENTÁVEIS

Nesta seção são apresentados conceitos e teorias desenvolvidos em estudos anteriores no campo das Transições Sustentáveis, buscando fundamentar e estabelecer relações com o presente trabalho.

2.1.1 Pesquisas em Transições Sustentáveis

O ponto de partida para pesquisas de transições sustentáveis é o reconhecimento de que muitos problemas ambientais, como as mudanças climáticas, perda de biodiversidade, esgotamento de recursos (água limpa, petróleo, florestas e outros), são grandes desafios associados a padrões de produção e consumo insustentáveis em sistemas sociotécnicos como eletricidade, aquecimento, edificações, mobilidade e agroalimentação (STRN, 2017). Esses problemas exigem mudanças para novos tipos de sistemas – mudanças que são chamadas de **transições sustentáveis**, ou **transições para a sustentabilidade**.

Rotmans *et al.* (2001, p. 16) definem as transições como:

“Processos de mudança gradual e contínua em que o caráter estrutural de uma sociedade (ou de um subsistema complexo da sociedade) se transforma. As transições não são uniformes, e o processo de transição também não é determinístico: há grandes diferenças na escala da mudança e no período em que ocorrem [...] uma transição pode ser descrita como um conjunto de mudanças conectadas que se reforçam mutuamente, mas ocorrem em diferentes áreas, como tecnologia, economia, instituições, comportamento, cultura, ecologia e sistemas de crenças”.

Desta forma, existem características que tornam essas transições um tópico especial nos debates sobre sustentabilidade e nas ciências sociais de forma mais ampla. De modo geral, são processos: multidimensionais, não-lineares, abertos e incertos, ordenados por múltiplos atores com diferentes recursos e interesses e que podem levar décadas para se desdobrarem (STRN,

2017). Pesquisas neste campo são relativamente recentes, e diferem das outras abordagens de sustentabilidade que se concentram em dimensões únicas ou grupos sociais específicos, que têm uma orientação mais voltada para o curto prazo, que não reconhecem a dimensão sistêmica ou que são excessivamente tecnocráticas (STRN, 2017). A pesquisa em transições de sustentabilidade é, portanto, mais ampla e interdisciplinar do que as abordagens de sustentabilidade existentes.

Nesse sentido, os estudos nesta temática “despertaram entusiasmo e criatividade”, gerando discussões que abordam diferentes aspectos das transições sustentáveis, as quais podem ser agrupadas segundo nove temas principais (STRN, 2017):

1. Compreensão das transições;
2. Poder, agências e políticas nas transições;
3. Governança das transições;
4. Sociedade civil, cultura e movimentos sociais em transições;
5. Organizações e indústrias em transições de sustentabilidade;
6. Transições na vida prática e cotidiana;
7. Geografia das transições: espaços, escalas, lugares;
8. Aspectos éticos das transições: distribuição, justiça, pobreza;
9. Metodologias para pesquisa de transições.

Nas últimas duas décadas foram produzidos diferentes quadros analíticos para investigar os processos de transição de sustentabilidade, sendo a maioria derivados do campo de estudos de inovações, no qual a pesquisa teve o seu início (SMITH *et al.*, 2010). Ainda, as **dimensões espaciais** das transições sustentáveis não haviam sido especificamente exploradas até recentemente, quando, em 2010, um manifesto elaborado pelo STRN sinalizou a importância de investigar este tema (STRN, 2017).

Segundo Coenen *et al.* (2012), os estudos anteriores negligenciaram o espaço onde as transições ocorrem e as relações e dinâmicas socioespaciais nas quais as transições evoluem. Para Markard *et al.* (2012), existe também um viés dos estudos de transição, que se concentram em países desenvolvidos, especialmente na Europa, que está relacionado à origem de seus principais autores. Para superar essa crítica, o número de trabalhos e artigos que tratam de estudos de caso em países em desenvolvimento começou a crescer. Um exemplo disso é a Edição Especial 2018 da Revista “Environmental Science and Policy” intitulada

“Sustainability Transitions in Developing countries”, que apresenta artigos acadêmicos que analisam casos em países em desenvolvimento como a China e o Brasil e que destacam a necessidade de analisar as transições para a sustentabilidade de acordo com condições e contextos socioeconômicos, políticos, históricos e culturais específicos (RODRIGUEZ, 2018).

Este trabalho concentra-se no tema da “Geografia das Transições”, enfocando espaços, escalas e lugares e buscando contribuir à literatura existente através de estudo de casos múltiplos. Nas próximas seções deste capítulo são apresentados os principais quadros analíticos e conceituais deste campo, de modo que os seus conteúdos permitam a exploração empírica e o aprofundamento da discussão sobre o tema.

2.1.2 Enfoques analíticos e conceituais associados aos Estudos de Transições

A partir dos anos de 1980, o número de estudos sobre os processos de formação e transformação tecnológica, por parte das ciências sociais, experimentou um aumento considerável, tendo a **inovação** como elemento central de análise (TRUFFER, COENEN, 2012). Isso porque é através dela (da inovação) que os mecanismos de formação de tecnologias emergem e também pela sua capacidade de gerar novos produtos e serviços, tornando-se historicamente o fator-chave de sucesso para a competitividade de empresas, regiões e nações (MOULAERT, SEKIA, 2003; ASHEIM, GERTLER, 2005; MOKYR, 1990 *apud* TRUFFER, COENEN, 2012). Nas três décadas seguintes, um campo interdisciplinar de estudos surgiu sob o rótulo de “Estudos de Inovação”.

Uma segunda corrente de estudos, enraizada na história da tecnologia (“Estudos de Tecnologia”), argumenta contra o tecnodeterminismo, enfatizando a codeterminação das características sociais, econômicas e tecnológicas do desenvolvimento da tecnologia. Um princípio central dessas abordagens é que a tecnologia e os aspectos institucionais não devem ser analisados separadamente ao tentar entender a inovação. Pelo contrário, ambos aspectos devem ser compreendidos em sua codeterminação ao longo do tempo – o que aponta para os chamados “**Sistemas Sociotécnicos**” como objeto central de análise (TRUFFER, COENEN, 2012).

A formação de sistemas sociotécnicos é concebida como um processo de construção de “configurações que funcionam”, que consistem em artefatos tecnológicos e seus aspectos organizacionais, institucionais, de infraestruturas e relacionados aos usuários (RIP, KEMP;

1998). As fases iniciais da formação desses sistemas receberam atenção considerável, já que, nesse estágio, os componentes principais de uma configuração sociotécnica ainda estão em fluxo: as tecnologias ainda precisam melhorar em desempenho e custos, padrões de uso e preferência do usuário ainda não se estabeleceram e as instituições responsáveis por regular os impactos da tecnologia ainda não estão totalmente desenvolvidos (TRUFFER, COENEN, 2012). Por outro lado, configurações sociotécnicas estabelecidas e maduras podem exibir fortes dependências de trajetória (“*path dependency*”), devido a padrões de uso alinhados e travados, regulações, infraestruturas e/ou estruturas institucionais solidificadas (DAVID, 1985; GRANOVETTER, MACGUIRE, 1998 *apud* TRUFFER, COENEN, 2012) – o que tende a alterar a experiência e o desdobramento das inovações.

Neste sentido, novas abordagens sistêmicas passam a reconhecer o **caráter multidimensional e coevolutivo** da formação de novos sistemas sociotécnicos e considerar as barreiras à transformação dos sistemas já estabelecidos (SMITH *et al.*, 2010). Dentre elas, dois quadros conceituais têm sido dominantes nas análises das dinâmicas de inovações em processos de transição de sustentabilidade: os “Sistemas de Inovação Tecnológica” (TIS) e a “Perspectiva Multinível” (MLP) (MARKARD, *et al.*, 2012). Ambos se basearam em Estudos de Inovação e Estudos de Tecnologia de maneiras diferentes e desenvolveram preferências analíticas e empíricas específicas, de modo que formaram núcleos distintos dentro do campo de pesquisa em transições sustentáveis (COENEN, DIAZ LOPEZ, 2010).

A abordagem de sistemas TIS baseia-se em percepções da pesquisa de inovação ambiental e adota uma perspectiva sistêmica que considera a interação de uma gama de atores potencialmente relevantes, além de diferentes formas de instituições importantes para o sucesso da inovação (por exemplo: governos, organizações não governamentais, institutos de pesquisa, outros) (TRUFFER, COENEN, 2012). O seu conceito foi desenvolvido com o objetivo de orientar as políticas públicas para apoiar algumas tecnologias verdes que prometem contribuir para estruturas de produção mais sustentáveis (como energia eólica, biocombustíveis, digestão de biogás, células fotovoltaicas, entre outras). Com isso, considerável atenção foi dedicada para a identificação de barreiras institucionais no sentido de desenvolvimento e difusão dessas tecnologias. Contudo, trabalhos recentes questionaram esse foco limitado para o lado da *oferta* de tecnologia e, em vez disso, propuseram olhar para sistemas inteiros de *produção e consumo*, que teriam que ser reorganizados a fim de produzir estruturas econômicas mais sustentáveis (TUKKER *et al.*, 2008; WEBER *et al.*, 2004 *apud* TRUFFER, COENEN, 2012).

A segunda corrente de pesquisa que analisa sistemas sociotécnicos, a Perspectiva Multinível (MLP), foi elaborada com base em relatos históricos detalhados de processos de formação de tecnologias e setores. A MLP estrutura o seu quadro analítico combinando diferentes conceitos de: economia evolutiva (trajetórias, regimes, nichos, dependência de trajetória, rotinas), estudos de ciência e tecnologia (admitindo a inovação como um processo social moldado por contextos sociais mais amplos), teoria da estruturação e teoria neoinstitucional (regras e instituições como estruturas profundas que são tanto o contexto quanto o resultado das ações de atores; as ‘regras do jogo’ que estruturam as ações) (GEELS, 2004; GEELS, SCHOT, 2007; 2010; GEELS, 2011). Ainda, a MLP vê as transições como processos não-lineares que resultam da interação de desenvolvimentos em três níveis analíticos: **nichos** (o lócus para inovações radicais), **regimes** sociotécnicos (o lócus de práticas estabelecidas e regras associadas que estabilizam os sistemas existentes) e um **panorama** sociotécnico exógeno (RIP, KEMP, 1998; GEELS, 2002, 2005; GEELS, 2011). Cada nível se refere à uma configuração heterogênea de elementos, sendo mais ou menos estáveis em termos do número de atores e graus de alinhamento entre os elementos. As transições de sustentabilidade são, assim, conceituadas como uma mudança de um regime sociotécnico historicamente predominante para um novo regime por meio da interação de forças atribuídas aos diferentes níveis de *panorama*, *regimes* e *nichos* – dando origem ao termo Perspectiva Multinível (GEELS, 2011; TRUFFER, COENEN, 2012).

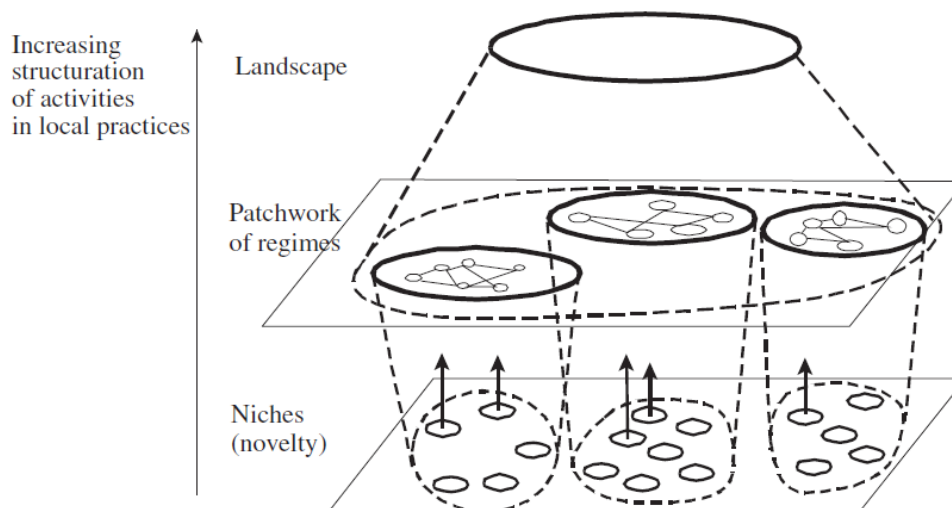
A relação entre as duas abordagens dominantes nas transições de sustentabilidade - TIS e MLP - ainda é uma questão de debate. As duas tradições podem ser diferenciadas por seu escopo de análise e o papel relativo que atribuem ao componente social na conceituação dos sistemas sociotécnicos. As abordagens do TIS desdobram como as novas tecnologias contribuem para processos de transformação social, principalmente voltadas à participação de mercado e implantação comercial. A MLP, no entanto, leva os processos de transformação social para o centro de sua análise, aproximando-se com o objetivo desta pesquisa. Assim, o quadro analítico-conceitual da MLP é brevemente descrito a seguir para conectar conceitos e a proposta deste estudo. Cabe destacar que, tanto uma análise metodológica crítica como uma discussão teórico-conceitual acerca da MLP não são o foco deste trabalho – sendo, portanto, os conceitos apresentados de intuito elucidativo. Espera-se, assim, esclarecer como essa, que é considerada uma das principais abordagens sistêmicas empregadas nos estudos de transições, ajuda a compreender o caráter multidimensional e coevolutivo da formação de novos sistemas

sociotécnicos e a transformação dos sistemas já estabelecidos, cujo processo de alteração de suas configurações pode facilitar a emergência e a consolidação de inovações como, por exemplo, os ônibus elétricos – foco desta pesquisa –, caracterizando, assim, uma transição sustentável.

2.1.2.1 Perspectiva Multinível

A premissa básica da perspectiva multinível (MLP) é que as transições são processos não lineares que resultam da interação de vários desenvolvimentos **dentre** e **entre** três níveis analíticos: os nichos, os regimes sociotécnicos e um panorama sociotécnico exógeno (RIP, KEMP, 1998; GEELS, 2002, 2005, 2011). Esses níveis referem-se a configurações heterogêneas de estabilidade crescente, onde a interação entre eles constitui uma hierarquia aninhada, denominada de Perspectiva Multinível (figura 4). Nesse quadro teórico-conceitual, embora existam níveis micro, meso e macro (diferentes da noção de escalas geográficas), todos têm igual importância e não existem fronteiras fechadas ou rígidas entre eles – pelo contrário, suas interações são fundamentais para analisar processos de transição (RODRIGUEZ, 2018). As relações entre esses níveis de análise indicam diferentes graus de estruturação das práticas locais, onde cada grupo de atores participa de acordo com seus interesses e expectativas.

Figura 4. Múltiplos níveis como uma hierarquia aninhada



Fonte: Geels (2011)

Nota de tradução: Eixo vertical à esquerda: estruturação crescente das atividades nas práticas locais. Eixo horizontal: níveis; de baixo para cima: nichos (inovações); combinações de regimes sociotécnicos; panorama.

Dentro da MLP, as disrupções surgem nos **nichos**, que são "**espaços protegidos**" que **funcionam como "laboratórios**, projetos de demonstração subsidiados ou pequenos nichos de

mercado onde os usuários têm demandas especiais e estão dispostos a apoiar inovações emergentes” (GEELS, 2011). Atores de nicho (como empreendedores e *startups*) trabalham em inovações radicais que se desviam dos regimes existentes. Eles esperam que suas novidades promissoras sejam usadas no regime ou até mesmo possam substituí-lo (GEELS, 2011). Contudo, o regime existente é estabilizado por muitos mecanismos de bloqueio e as inovações de nicho podem ser incompatíveis com as dimensões do regime existente pela falta de infraestrutura adequada, pelos regulamentos ou práticas de consumo existentes, por exemplo. Segundo a literatura, existem três processos principais no desenvolvimento de nichos (KEMP *et al.*, 1998; SCHOT, GEELS, 2008; GEELS, 2011):

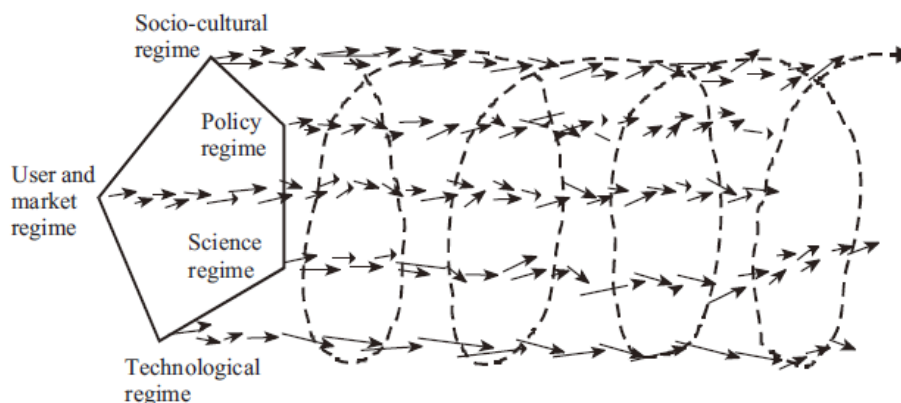
- i. A articulação (e ajuste) de expectativas ou visões, que orientam as atividades de inovação, e visam atrair atenção e financiamento de atores externos;
- ii. A construção de redes sociais e a adesão de mais atores, que ampliam a base de recursos de inovações de nicho;
- iii. Processos de aprendizagem e articulação em várias dimensões, demanda de mercado e preferências dos usuários, requisitos de infraestrutura, questões organizacionais e modelos de negócios, instrumentos de política, significados simbólicos.

Os **nichos** geralmente se desenvolvem através de projetos experimentais ou de demonstração que permitem que seus atores aprendam sobre inovações em circunstâncias da vida real. Além disso, os nichos ganham impulso se as expectativas se tornam mais precisas e mais amplamente aceitas, se o alinhamento de vários processos de aprendizagem resulta em uma configuração estável (“design dominante”), e se as redes se tornam maiores (a participação de atores poderosos política, social ou economicamente pode transmitir legitimidade e recursos para inovações de nicho) (GEELS, 2011). Este último mecanismo esteve em ação no desenvolvimento das tecnologias alternativas de propulsão nos transportes: enquanto as células de combustível e acionamento elétrico à bateria foram inicialmente promovidas por terceiros e *startups*, os grandes fabricantes de automóveis mudaram-se para essas áreas, muitas vezes criando alianças estratégicas com essas pequenas empresas ou assumindo-as (DYERSON, PILKINGTON, 2005).

Já os **regimes sociotécnicos** formam a "estrutura profunda" que explica a estabilidade de um sistema sociotécnico existente (GEELS, 2004). Referem-se ao conjunto mais ou menos

coerente de **regras que orientam e coordenam as atividades dos grupos sociais que reproduzem os diversos elementos dos sistemas sociotécnicos**. Segundo Giddens (1984), estas regras de regime são tanto o meio como o resultado da ação de atores. Exemplos de regras de regime são rotinas cognitivas e crenças compartilhadas, capacidades e competências, estilos de vida e práticas dos usuários, arranjos institucionais e regulamentos favoráveis e contratos juridicamente vinculativos (GEELS, 2011). Como os regimes existentes são caracterizados por dependências de trajetória, a inovação ocorre de forma crescente, com pequenos ajustes que se acumulam em trajetórias estáveis (Figura 5). Essas trajetórias ocorrem não apenas em tecnologia, mas também em dimensões culturais, políticas, científicas, de mercado e industriais. **Enquanto ciência, tecnologia, política, mercados, preferências dos usuários e significados culturais têm suas próprias dinâmicas, coordenadas por diferentes sub-regimes, elas também interpenetram e coevoluem umas com as outras** (GEELS, 2011). O conceito de regime sociotécnico visa captar a meta-coordenação entre esses sub-regimes (GEELS, 2004).

Figura 5. Alinhamento de processos em curso em um regime sociotécnico



Fonte: Geels (2004)

Nota de tradução: Processos: da esquerda para a direita, em sentido horário: Regime de mercado e preferências dos usuários; Regime sociocultural; Regime político; Regime científico; Regime tecnológico.

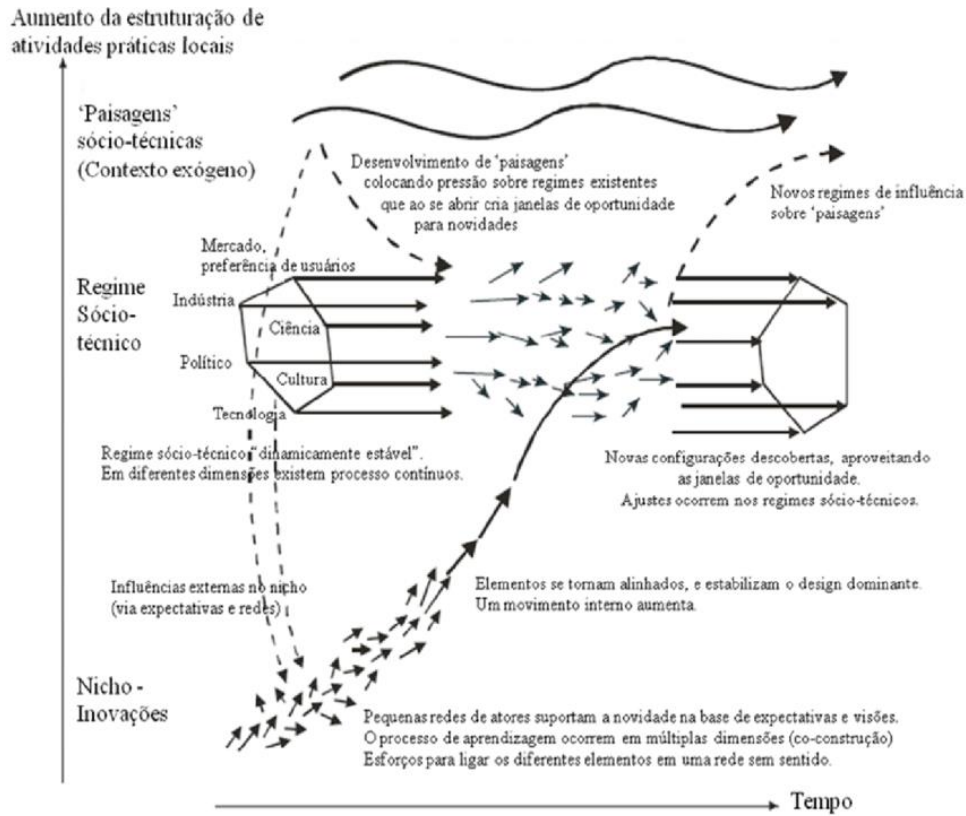
O nível de regime é de especial interesse porque **as transições são definidas como mudanças de um regime para outro**. No caso das transições de sustentabilidade, para regimes mais sustentáveis. Esses regimes podem ser estáveis ao longo de várias décadas, dificultando o surgimento e desenvolvimento de inovações. No entanto, às vezes podem passar por períodos de rápida reconfiguração (GEELS, SCHOT, 2007). Para Geels (2002), essas mudanças são desencadeadas pela rivalidade das configurações sociotécnicas futuras (os nichos) ou também

por pressões desestabilizadoras do contexto social no qual os regimes estão inseridos (chamadas de forças do panorama sociotécnico).

O **panorama sociotécnico** representa o **contexto mais amplo que influencia as dinâmicas de nicho e regime** (RIP, KEMP, 1998; GEELS, 2011). O nível do panorama destaca não apenas o pano de fundo técnico e material que sustenta a sociedade, mas também inclui tendências demográficas, ideologias políticas, valores sociais e padrões macroeconômicos. Este conjunto variado de fatores pode ser combinado dentro de uma única categoria de “panorama”, pois eles formam um contexto externo que os atores em níveis de nicho e regime não podem influenciar a curto prazo (o nível do panorama geralmente muda muito lentamente).

As figuras 6 e 7 fornecem uma representação esquemática de como os três níveis interagem dinamicamente no desdobramento das transições (em português e original, em inglês, respectivamente). Embora cada processo de transição seja único, o padrão dinâmico geral é caracterizado por transições resultantes da interação entre processos em diferentes níveis: **(a) as inovações de nicho criam um impulso interno, (b) as mudanças no nível do panorama criam pressão sobre o regime, e (c) a desestabilização do regime cria janelas de oportunidade para inovações de nicho.** O alinhamento desses processos permite a descoberta de inovações nos principais mercados, onde eles competem em múltiplas dimensões com o regime existente (GEELS, 2011).

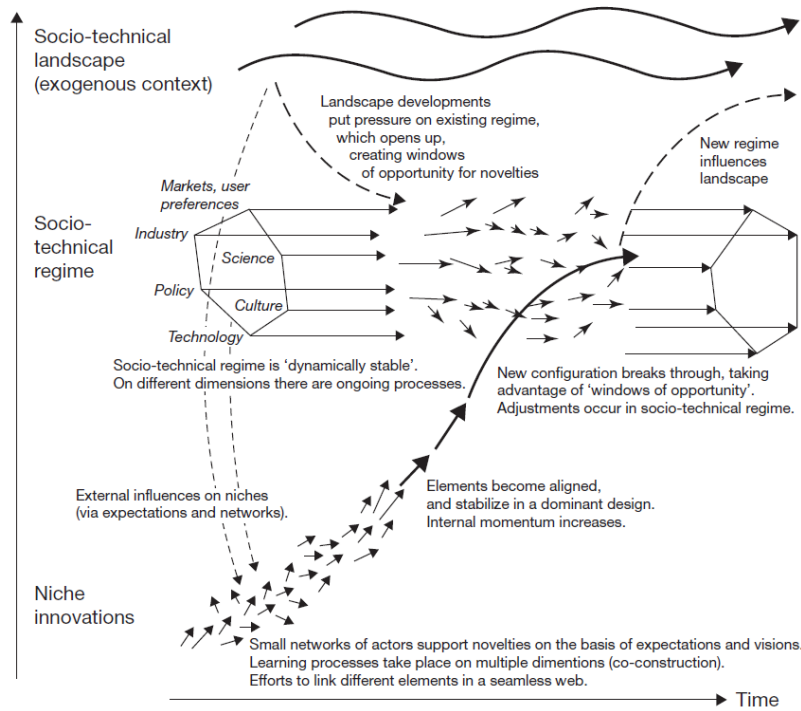
Figura 6. Perspectiva multinível sobre transições (traduzido)



Fonte: traduzido de Geels (2004)

Figura 7. Perspectiva multinível sobre transições (original)

Increasing structuration of activities in local practices



Fonte: Geels (2004)

Uma implicação importante é que o MLP elimina a causalidade simples nas transições. Ou seja, não há uma única causa ou condutor – há processos em múltiplas dimensões e em diferentes níveis que se ligam e se reforçam uns com os outros. É importante destacar que pode haver um conjunto de regimes sociotécnicos que podem interagir entre si – como, por exemplo, os regimes de transporte, energia e infraestruturas. Além disso, existe um conjunto de inovações de nicho associadas a cada regime que também podem ser elementos comuns a outros regimes (RODRIGUEZ, 2018). Para o caso da mobilidade elétrica, por exemplo, isso se aplica aos veículos elétricos que, ao incorporarem baterias para o funcionamento do seu arranjo tecnológico, estimulam o desenvolvimento e investimentos no setor energético, no setor tecnológico, em pesquisa e desenvolvimento (P&D), entre outros. Para além das baterias acopladas aos veículos deste tipo, a logística necessária para viabilizar o abastecimento (isto é, a recarga das baterias) envolve também a disponibilidade de postos de recarga (eletropostos) bem como infraestruturas projetadas para geração e distribuição da eletricidade, observando a compatibilidade entre a rede elétrica e os diferentes padrões de tomadas, por exemplo.

Durante todo o processo de transição, as redes de interação e colaboração entre os atores heterogêneos, que atuam tanto ao nível das inovações de nicho como do regime sociotécnico, permitem redefinir o sistema sociotécnico. Os atores podem até ser os mesmos, mas desempenham papéis diferentes de acordo com suas expectativas e interesses. Assim, os processos de interação entre os diferentes níveis são aqueles que permitem o sucesso de uma tecnologia e a transição da inovação de nicho até a modificação do regime sociotécnico estabelecido. No longo prazo, esse processo de transformação também modifica as características do panorama sociotécnico (GEELS, 2011).

Desta forma, a **MLP** torna-se um importante arcabouço analítico-conceitual para compreender o processo coevolutivo de transição de uma tecnologia, que envolve aspectos políticos, econômicos, sociais e culturais e a participação de atores heterogêneos em todos os níveis. A sua principal contribuição reside na abordagem complexa, multidisciplinar, integrada e não linear do processo de transição sociotécnica de uma tecnologia ou conjunto de tecnologias, principalmente com foco na sustentabilidade e que propõem transformações nessas várias dimensões. Além disso, a Perspectiva Multinível assume em todas as suas análises a questão da governança, o que implica a participação e interação de atores heterogêneos e seus interesses particulares, essenciais para gerar processos de transição (GEELS, 2011).

Por outro lado, algumas das principais críticas aos estudos de transição e, especificamente, à MLP foram compiladas no trabalho de Markard *et al.* (2012), que, a partir da revisão de um conjunto de artigos científicos, coloca a necessidade de desenvolver quadros conceituais e metodológicos mais elaborados e precisos, considerando melhorar a análise das particularidades do território onde ocorrem as transições e as possíveis variações geográficas entre os contextos socioeconômicos. Nesse sentido, a busca por incorporar uma perspectiva territorial, relacionada ao lugar onde se produzem as transições, suas configurações espaciais e a dinâmica das redes dentro das quais as transições evoluem, deram origem à uma nova linha de pesquisa, chamada de “Geografia das Transições de Sustentabilidade”, apresentada a seguir.

2.2 GEOGRAFIA DAS TRANSIÇÕES SUSTENTÁVEIS

A literatura sobre transições de sustentabilidade tem um foco explícito na formação de sistemas sociotécnicos e mantém, até o momento, uma conceitualização limitada de espaço, escala e territórios. Conforme Hansen e Coenen (2014), **as transições de sustentabilidade são processos geográficos que acontecem em espaços reais**, os quais podem ocorrer desde uma cidade pequena até um continente, tendo particularidades específicas e únicas. Nesse sentido, a área de estudo de Geografia das Transições Sustentáveis surge da falta de atenção dedicada à análise territorial dos processos de transições sustentáveis, buscando entender os impactos (positivos e negativos) que um lugar ou território exerce sobre o êxito ou fracasso destes processos (RODRIGUEZ, 2018).

Segundo a STRN (2017), a partir do seu manifesto elaborado em 2010, foram identificados dois desafios principais. Primeiro, que as análises baseadas predominantemente em estudos de caso únicos ou comparativos não conseguiram explicar *se e como* os contextos espaciais são importantes. O documento aponta a **necessidade de uma perspectiva geográfica explícita para revelar as contingências e particularidades dos vários contextos onde evoluem os percursos de transição, a fim de desenvolver uma melhor compreensão dos fatores que possibilitam ou impedem esses processos**. Em segundo lugar, a falta de escala nas análises de transição existentes foi criticado e, em particular, a ausência de territorialidade escalar concreta nos níveis de transições (“o global sendo ubiquamente lá fora e acessível”; STRN, 2017). Isso sugere que as transições podem ocorrer em qualquer lugar, negligenciando as vantagens, conflitos e tensões das realidades espaciais nas quais os processos de transição

estão inseridos. Com isso, diferentes debates acerca de espaço, território e escala em processos de transição têm surgido, buscando relacioná-los às teorias econômica, institucional e evolutiva da geografia das transições (STRN, 2017).

Nesta seção são apresentados os conceitos de espaço, escala e território pertinentes à linha de pesquisa de transições de sustentabilidade, estabelecendo conexões com as demais áreas de geografia. Ainda, é descrito o processo de formação territorial que geram as suas especificidades, buscando apontar, também, como as relações entre diferentes escalas impactam no desenvolvimento de processos de transições de sustentabilidade.

2.2.1 A Sustentabilidade nos Estudos Geográficos e nos Estudos de Transições

Transições de sustentabilidade e pesquisas de estudos regionais compartilham uma ênfase na **inserção institucional** como uma condição central para processos de inovação e transformação bem-sucedidos. As duas tradições diferem, no entanto, no que diz respeito aos locais específicos onde esperam encontrar coerências institucionais essenciais: a primeira concentra-se em arranjos institucionais que se desenvolvem em apoio a uma tecnologia considerando o ambiente tecnológico ou setorial mais amplo, enquanto a outra enfatiza as interdependências entre configurações institucionais em **lugares específicos** (TRUFFER, COENEN, 2012). Esses contextos institucionais sociotécnicos e socioespaciais podem apresentar um grau substancial de conjunção: o desenvolvimento de novos projetos de produtos pode acontecer concentrado dentro dos limites de uma região específica em combinação com estruturas de produção, estruturas de apoio institucional e perfis de usuários. Uma vez que a configuração sociotécnica tenha amadurecido, ela é adotada de forma mais ampla por outros atores em todo o mundo. De maneira mais geral, entretanto, os elementos das configurações sociotécnicas tendem a divergir no espaço e, com isso, criam tensões e barreiras para o desenvolvimento tecnológico ou regional das inovações de nicho (TRUFFER, COENEN, 2012).

A literatura atual sobre transições pode, entretanto, ter negligenciado diferenças importantes entre países e regiões específicos nas formas como esses regimes atuam (TRUFFER, COENEN, 2012). Os regimes sociotécnicos podem exibir variações geográficas consideráveis. Isso pode ser devido a variações nas condições do contexto institucional mais amplo e nas economias políticas, nas quais uma estrutura de regime sociotécnico específica está inserida. Isso abre espaço para que os atores acomodem a configuração básica aos seus

interesses específicos. Os regimes podem estar, portanto, sujeitos a trajetórias de transformação diferenciadas regionalmente devido à variada suscetibilidade às pressões do panorama e à variação de recursos para lidar com essas pressões. Consequentemente, **as pré-condições estabilizadoras e potencialmente inibidoras para as transições sustentáveis podem ser distribuídas de forma bastante desigual no espaço** (TRUFFER, COENEN, 2012).

As configurações de regime podem ser observadas através da avaliação das instituições dominantes, estratégias de atores e tecnologias em um momento específico, enquanto as configurações emergentes são muito mais fluidas (CALLON, 1998). Como consequência, a identificação de potenciais de desenvolvimento, trajetórias emergentes ou projetos dominantes em potencial é mais especulativa. A interação entre diferentes tipos de atores, incluindo empresas, institutos de pesquisa, intermediários, formuladores de políticas, grupos de usuários e grupos da sociedade civil, em situações onde não existem produtos ou soluções competitivas, deve ser analisada a fim de compreender a construção de novas “configurações que funcionam” (DAVIES e MULLIN, 2010). Estas englobam não apenas inovações clássicas de produtos e processos, mas também inovações na organização da cadeia de valor, a criação de novos padrões de uso e perfis de usuários, bem como a construção e adaptação de estruturas institucionais (TRUFFER, COENEN, 2012).

A experimentação sociotécnica permite a adaptação institucional, a construção de constituintes, a articulação de expectativas e visões e a formação de redes. Ao mesmo tempo, o alinhamento das configurações sociotécnicas emergentes estará exposto (mesmo que moderadamente) a pressões seletivas e será ativamente moldado por elas (TRUFFER, COENEN, 2014). Num contexto regional, vantagens de proximidade ou configurações institucionais locais específicas podem desempenhar um papel decisivo neste processo (BOSCHMA, 2005; COENEN et al., 2010). **A consideração desta dimensão permitirá identificar as condições de transferência de lições de casos bem-sucedidos de uma região para outra.**

Para identificar e avaliar as potenciais transições de sustentabilidade, devem ser abordados simultaneamente o efeito dos processos de formação de novas configurações sociotécnicas, a sua inter-relação com as estratégias de estabilização e os ajustes nas configurações sociotécnicas existentes. **Um modelo de transição espacialmente fundamentado e coevolucionário se estabeleceria a partir do reconhecimento de que**

novos nichos sustentáveis e, conseqüentemente, novos regimes surgem de um processo inerentemente assimétrico de desenvolvimento regional (TRUFFER, COENEN, 2012). O desenvolvimento de uma melhor compreensão teórica dos fatores que possibilitam ou impedem esses processos requer uma investigação mais aprofundada sobre as contingências e particularidades dos contextos espaciais em que as transições de sustentabilidade evoluem e ocorrem (ASHEIM, 2006). Em outras palavras, **requer uma compreensão dos espaços da transição**, ou seja, uma síntese de contextos localmente situados de eventos, objetos e ações acoplados ao contexto sociopolítico, institucional e cultural mais amplo (TRUFFER, COENEN, 2012). Essa compreensão reconhece porque certas instâncias transformadoras de interações inovadoras e institucionais ocorrem, onde ocorrem e por que razão.

Além disso, gerir economias de escala na produção e no consumo é importante para manter a vantagem competitiva de uma região e, portanto, as economias de escala estão intimamente ligadas à expansão dos mercados em diferentes escalas geográficas (TRUFFER, COENEN, 2012). Isso exige uma conceituação relacional de atores, redes e instituições, a fim de compreender os processos críticos na formação e transformação das indústrias. Um tópico central para uma investigação mais próxima diz respeito à existência de efeitos de **complementaridade** e **acoplamento estratégico** entre ativos localizados, tais como tecnologia, atores, recursos e instituições, por um lado, e atividades, necessidades e interesses de atores translocais, por outro lado.

Uma visão relacional sobre coerências institucionais, processos de formação e estratégias de manutenção acrescentaria, além disso, uma especificação fortemente necessária de imersão institucional. Os regimes sociotécnicos podem ser estabilizados em contextos espaciais específicos por atores que afirmam que essas configurações correspondem a um padrão global de “melhores práticas” (TRUFFER, COENEN, 2012). Por exemplo, as economias emergentes que experimentam atualmente um forte crescimento urbano podem estar inclinadas a copiar infraestruturas aparentemente superiores em países industrializados. Isso acontece apesar de a superioridade do respectivo regime sociotécnico ser cada vez mais questionada nos próprios países industrializados, além de negligenciar as condições específicas de contexto nas economias emergentes (ibid).

Em relação aos conceitos de “dinâmica de transição”, é notável que a literatura sobre transições de sustentabilidade tenha até agora praticamente ignorado o problema de escala e

focado principalmente em processos de inovação dentro das fronteiras de países ou regiões específicas (COENEN et al., 2011; CARLSSON, 2006). Isso parece estar em desacordo com a própria noção de que as transições de sustentabilidade, por definição, implicam uma dimensão global para avaliar o desenvolvimento em relação a um conjunto de metas planetárias de sustentabilidade (TRUFFER, COENEN, 2012). A literatura empírica recente mostrou que a geografia das tecnologias emergentes pode exibir padrões espaciais de desenvolvimento altamente distribuídos. Um exemplo neste sentido é a discussão sobre os potenciais de avanço tecnológico em economias emergentes, e também os modelos de negócios e estilos de vida em desenvolvimento no Sul Global (BINZ et al., 2012; ROCK et al., 2009; LAWHON e MURPHY, 2011; BERKHOUT et al., 2009 *apud* TRUFFER, COENEN, 2012).

Uma perspectiva relacional sobre escala já foi trazida à prática em grande parte da literatura de estudos regionais, conceituando o desenvolvimento regional não como desenvolvimento *em* uma região, mas sim como desenvolvimento *de* uma região (TRUFFER, COENEN, 2012). No entanto, seria benéfico para esta discussão também incorporar noções de **configurações sociotécnicas fluidas e arraigadas** para compreender melhor os desafios específicos implícitos nos processos de transformação regional à luz das questões de sustentabilidade. Da mesma forma, noções de nicho e regime são conceitos potencialmente engenhosos no enquadramento das possibilidades e limitações para que os *clusters* de tecnologia verde surjam e se desenvolvam em regiões específicas (*ibid*). Em uma perspectiva multiescalar, isso abre questões sobre a distribuição espacial da inovação, produção e consumo nessas indústrias e a localização das aglomerações de atividade industrial sustentável.

Uma segunda linha de pesquisa se relaciona com as questões de poder. As transições de sustentabilidade são, por natureza, **projetos políticos**. Eles dizem respeito às condições de vida futuras das sociedades, respeitando os limites dos sistemas naturais (TRUFFER, COENEN, 2012). Todas essas dimensões são intrinsecamente carregadas de valores. Isso implica que as questões normativas devem ser abordadas explicitamente: o poder de moldar os processos de transformação de acordo com os interesses de grupos de atores específicos, bem como o impacto diferencial que transformações específicas podem ter em diferentes segmentos da sociedade. Ainda, a autonomia de atores regionais específicos dependerá crucialmente de sua posição em relação a outras regiões ou a jurisdições de nível superior.

Os conceitos centrais da abordagem “Regulacionista”, ou seja, o modo de produção, o regime de acumulação econômica e o modo de regulação social, podem ser interpretados como formando o pano de fundo no qual se desenvolvem regimes sociotécnicos específicos (TRUFFER, COENEN, 2012). A formação dessas configurações (ou, ainda, desses sistemas e regimes sociotécnicos) será impregnada por relações mais amplas de produção e consumo prevalentes em períodos históricos específicos das sociedades capitalistas (*ibid*). Até agora, a estrutura do MLP conceituou essas condições de contexto mais amplas com referência às forças do panorama sociotécnico. No entanto, os regimes sociotécnicos não devem ser vistos como meras subestruturas de configurações de poder social mais amplas. O grau de autonomia ou maleabilidade de um regime sociotécnico específico em um dado período histórico deve ser determinado empiricamente. **Dependendo do tipo específico de configuração sociotécnica em análise, do estágio de maturação de um campo tecnológico e do escopo da transformação prevista, certos aspectos do núcleo ou extensões particulares serão mais prevalentes do que outros** (TRUFFER, COENEN, 2012).

Por fim, a literatura dos Estudos Geográficos muitas vezes não é suficientemente sensível para analisar a amplitude dos processos de transformação implicados pelas transições de sustentabilidade. O que está em jogo, entretanto, é acelerar a política e a prática de um nicho inicial para uma transformação em larga escala que substitua as práticas dominantes (insustentáveis) (GEELS *et al.*, 2008). A literatura sobre transições de sustentabilidade, por outro lado, tem um foco explícito na formação de sistemas sociotécnicos, mas até o momento tem uma concepção escassa de espaço, escala e poder.

Dado o interesse compartilhado e o foco em abordagens evolucionárias no desenvolvimento regional e industrial, existe uma oportunidade considerável para a convergência e complementariedade entre os estudos regionais e os estudos de transições sustentáveis. Embora os estudos de transição demonstrem que esses processos podem inibir as mudanças do sistema em direção a padrões de produção e consumo mais sustentáveis, é fundamental considerar que tais resistências e dependências de trajetória podem apresentar uma variação regional considerável e, portanto, as regiões são confrontadas com potenciais diferentes para transformações sustentáveis. Ao mesmo tempo, **o foco dos estudos de transição nas fases formativas das configurações sociotécnicas pode ser uma contribuição importante aos estudos regionais para entender o quanto a criação de variedade dessas configurações pode facilitar os processos de transformação sustentável**. O que permanece

essencial nas pesquisas futuras integradas é a necessidade de ser sensível às **contingências históricas e espaciais** que se apresentam quando se examinam os esforços e iniciativas que buscam apoiar configurações mais sustentáveis na produção e no consumo (TRUFFER, COENEN, 2012).

Nesse sentido, o que chamarei aqui de a *Geografia das Transições de Sustentabilidade investiga a distribuição de diferentes processos de transição no espaço*. Entendendo que as transições são constituídas espacialmente, a análise detalhada dessa configuração permite compreender melhor os processos subjacentes que dão origem a esses padrões. Para tal, é necessário considerar a análise dos ambientes específicos (espaços/territórios) nos quais as transições estão inseridas e evoluem, ao mesmo tempo em que se observam as conexões e interações geográficas (relações espaciais) dentro e entre territórios. As definições de espaço apresentadas nesta seção enfatizam diferentes especificidades e dão atenção às relações em escalas diferentes. Na próxima seção é apresentada a importância das particularidades territoriais nos processos de transições sustentáveis e é explorado o papel das relações espaciais nestas transições.

2.2.2 Particularidades Territoriais e as Transições de Sustentabilidade

Tradicionalmente, a literatura de transições de sustentabilidade tem dado pouca atenção à especificidade das transições em territórios particulares. Seguindo a ênfase dada pela geografia econômica institucional nos papéis centrais das instituições formais e informais como fatores constitutivos do espaço, uma série de contribuições à literatura sobre geografia das transições de sustentabilidade enfocam, em primeiro lugar, visões e políticas urbanas e regionais e, em segundo lugar, instituições informais localizadas (HANSEN, COENEN, 2014).

Um grande número de estudos examina o papel central das visões e políticas urbanas e regionais (BULKELEY *et al.*, 2011). Embora essas contribuições tenham um foco principal nos níveis urbano e regional, a importância das conexões com outros níveis de política é evidente, com alguns autores assumindo uma perspectiva de governança explicitamente multinível (HODSON, MARVIN, 2010, 2012; SPÄTH, ROHRACHER, 2010, 2012; UYARRA, GEE, 2013). Por exemplo, Hodson e Marvin (2009) destacam que as visões promovidas pelo governo de uma cidade podem ser desenvolvidas por atores exógenos, como empresas multinacionais, que buscam deliberadamente locais específicos para testá-las na vida real. Isso pode ser observado como prática recorrente em testes-piloto de ônibus elétricos onde,

através de arranjos de atores e manifestações de interesses privados e/ou públicos, veículos com esta tecnologia são destinados a operar em rotas pré-determinadas para avaliar aspectos de autonomia, eficiência, viabilidade e custos na operação do serviço. Da mesma forma, é comum as empresas fabricantes (multinacionais) contatarem governos e operadores, oportunizando o acesso ao teste, uso e adoção desta inovação. Com isso, essa conexão direta entre um governo urbano e um ator exógeno, como as empresas globais fabricantes dos ônibus elétricos, estabelece um canal facilitado para a implementação da inovação e contribui com oportunidades para o desenvolvimento de processos de transições sustentáveis.

A interação entre os diferentes níveis de política não é apenas um processo de cima para baixo, e Faller (2014) observa que os discursos estratégicos urbanos também podem influenciar políticas em níveis mais elevados, portanto, pelo contrário, **a relação entre os níveis de política deve ser entendida como uma influência de mão dupla.**

As visões e políticas urbanas e regionais explicitam a necessidade de mobilizar o grupo heterogêneo de atores locais relevantes para as transições de sustentabilidade. Isso aponta para o papel de atores intermediários, ou seja, organizações que trabalham entre diferentes interesses sociais, para produzir resultados que não teriam sido realizados sem seu envolvimento (HODSON, MARVIN, 2010). Por exemplo, os **planejadores urbanos** de uma localidade podem realizar essa intermediação, pois são atores centrais no processo de estabelecer prioridades de sustentabilidade e envolver as partes interessadas locais. Como a governança das transições de sustentabilidade deve abranger várias áreas políticas, elas são contestadas e negociadas entre vários atores públicos e privados. Assim, ao contrário da ênfase na gestão de transição sobre consenso e alinhamento, as contribuições sobre políticas e visões urbanas e regionais destacam as lutas e conflitos associados à governança de transições de sustentabilidade.

Contribuindo para essa formulação está a estreita conexão entre as transições de sustentabilidade e a infraestrutura física. Essa infraestrutura foi em muitos casos privatizada ou concedida e, portanto, a governança das transições de sustentabilidade cada vez mais se torna um esforço colaborativo envolvendo atores públicos e privados com interesses e incentivos variados. Isso resulta em processos altamente complexos com competição direta entre visões, que podem não apenas discordar em termos de tecnologias e nível de ambição, mas também incluir discordâncias pela escala geográfica ideal para desenvolver iniciativas que promovam transições de sustentabilidade (HODSON, MARVIN, 2012). Ainda, coalizões de atores fortes

podem levar à exclusão de aspectos centrais das visões e estratégias urbanas e regionais (SPÄTH, ROHRACHER, 2010). Isso destaca a natureza política fundamental dos processos de transição de sustentabilidade. Bulkeley e CastánBroto (2013) argumentam que uma maneira importante pela qual esse poder é exercido é por meio de experimentos de mudança no ambiente urbano e eles mostram que as constelações de atores por trás desses experimentos **variam consideravelmente entre diferentes partes do mundo**. Por exemplo, o setor privado é particularmente ativo em experimentos asiáticos de mudança climática, enquanto que na Europa, é comum as iniciativas partirem de atores públicos decididamente comprometidos com a ação climática.

Outra característica das políticas de transição de sustentabilidade urbana e regional é que elas são tipicamente destinadas a combinar metas ecológicas com competitividade econômica, muitas vezes denominadas “crescimento verde” ou “crescimento limpo”. Uma das principais formas de materializar esse duplo foco é por meio de políticas destinadas a estimular o desenvolvimento das indústrias de tecnologia limpa. Conforme observado por Smith (2007a), esta é uma área em que o nível regional tem influência para agir, mapeando e apoiando clusters de tecnologia limpa através de apoio à pesquisa e ao desenvolvimento, programas de treinamento e assistência com pedidos de financiamento, por exemplo. Isso reflete a sugestão da literatura sobre **política regional de inovação** na qual os atores regionais são mais capazes de projetar políticas de sucesso do que os atores nacionais, devido ao seu conhecimento quanto as condições específicas do local e sua capacidade de sintonizar as políticas. O argumento é que quase todas as regiões têm potencial inovador, mas que a natureza desse potencial inovador difere devido às especializações industriais e tecnológicas, e que as políticas devem levar isso em consideração. Da mesma forma, pode-se argumentar que o potencial para as transições de sustentabilidade difere qualitativamente entre as regiões e que as políticas devem refletir isso.

Embora as políticas governamentais possam ser consideradas um componente principal do ambiente institucional de um espaço/território, as instituições informais localizadas, entendidas como normas, valores e práticas territorialmente vinculadas, são um fator igualmente importante para as transições de sustentabilidade. A relação entre políticas governamentais e instituições informais localizadas é estreita, conforme observado por vários autores em análises que vão do nível nacional ao regional e local (FALLER, 2014; SPÄTH E ROHRACHER, 2012). Em outras palavras, **as normas e valores específicos do lugar têm**

influências importantes no panorama geograficamente desigual das transições de sustentabilidade, pois condicionam o potencial para diferentes configurações sociotécnicas.

2.3 GEOGRAFIA DA MOBILIDADE E A (IN)SUSTENTABILIDADE

A evolução dos sistemas de transporte tem levado a configurações muito variadas em todo o mundo, dependendo de diferentes estratégias relacionadas ao desenvolvimento econômico, limitações geográficas e aspectos culturais, políticos e sociais. Esta seção apresenta uma fundamentação conceitual e uma revisão histórico-geográfica da evolução dos transportes, das demandas por mobilidade nas cidades e dos impactos ambientais provocados pelos padrões dominantes de produção e consumo do setor. Finalmente, é introduzido o conceito de **mobilidade de baixo carbono** e serão discutidas as possibilidades de soluções no transporte urbano de passageiros com vistas a mitigar os seus impactos ambientais, assumindo a eletrificação das frotas municipais de ônibus do transporte público como uma das medidas possíveis para esta transição sustentável.

2.3.1 Padrões de Mobilidade e seus Impactos

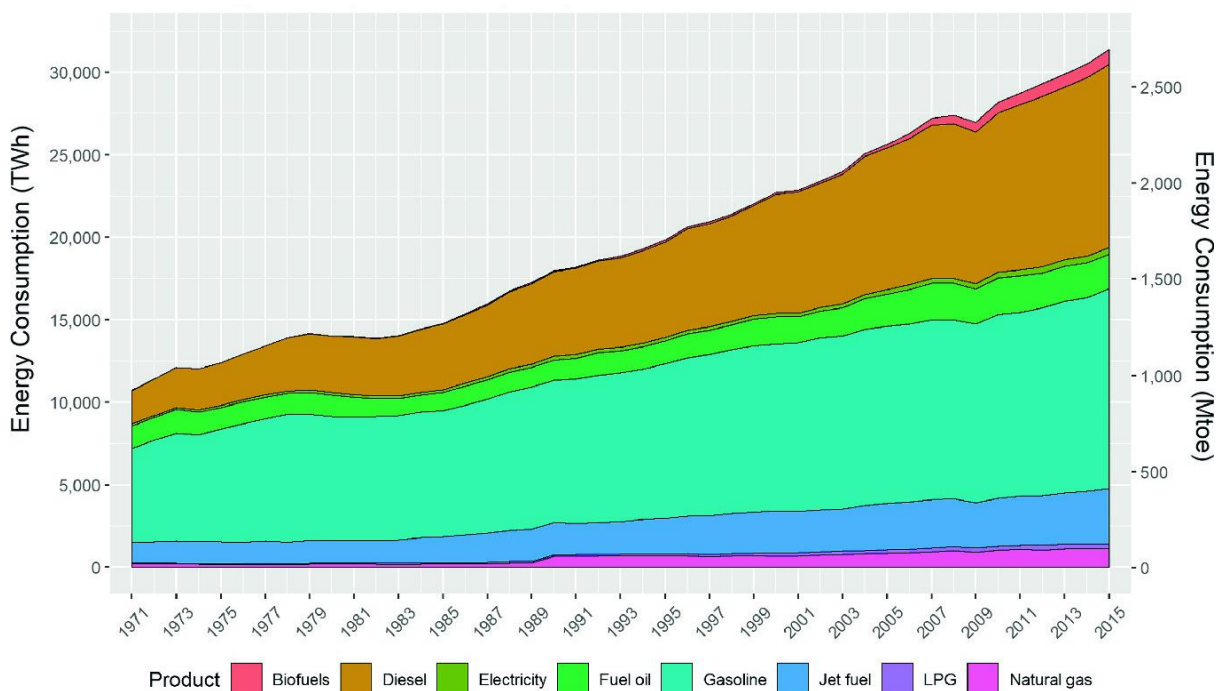
O consumo de energia necessário para o transporte de passageiros rodoviários pode apresentar uma variação significativa com base em vários parâmetros, incluindo o tipo de veículo, a sua tecnologia e idade, a velocidade média e o tipo de condução, entre outros. Contudo, nenhum desses parâmetros é suficiente para evitar os impactos ambientais gerados pelo setor – o consumo dos combustíveis fósseis como fonte energética nos transportes está diretamente relacionado às emissões de gases responsáveis em grande parte pelas mudanças climáticas e pelos poluentes atmosféricos que causam a deterioração da qualidade do ar verificadas hoje no mundo.

O setor de transportes responde atualmente por quase 30% do consumo final mundial de energia (IEA, 2020), com um aumento de 43% em relação ao ano de 2000. Naquele ano, o petróleo representava quase 97% da matriz energética dos transportes e hoje, diminuiu ligeiramente para 92% devido a uma maior penetração da eletricidade, biocombustíveis e gás natural. Ainda assim, o setor de transporte permanece hoje pouco diversificado e, portanto, há

esforços crescentes para tentar aprimorar o uso de alternativas de baixo carbono aos derivados de petróleo (NOUSSAN *et al.*, 2020).

Um olhar mais atento sobre a evolução do consumo de energia nos transportes nas últimas décadas revela o seu aumento contínuo (Figura 8), com um consumo praticamente três vezes maior em 2015 em relação à 1971. O gráfico mostra também o relevante aumento da participação do diesel ao longo do tempo, que vai atingindo a gasolina na participação do consumo por combustível.

Figura 8. Consumo mundial de energia em transportes por tipo de combustível



Fonte: IEA (2017)

Nota de tradução: Eixo vertical à esquerda: Consumo de energia (em TWh). Eixo vertical à direita: Consumo de energia (em Mtoe). Eixo horizontal: anos (de 1971 a 2015). Legenda de cores, da esquerda para a direita: tipos de combustíveis: biocombustíveis, diesel, eletricidade, óleo combustível, gasolina, combustível para aviação, gás liquefeito de petróleo, gás natural.

Atualmente, as emissões de CO₂ relacionadas ao setor de transportes giram em torno de 8,2 giga toneladas, incluindo as emissões causadas pela geração da eletricidade consumida no transporte. Isso corresponde a aproximadamente 25% das emissões globais totais de CO₂ (IEA, 2020). Em algumas cidades latino-americanas, as emissões de GEE geradas pelos transportes podem chegar a 79% em relação ao total de emissões de GEE municipais, com valores variando de 61% em São Paulo, 71% na Cidade do México e 79% em Santiago do Chile (C40, 2017). É importante destacar, ainda, que os ônibus a diesel geram um impacto

expressivo em emissões de carbono negro (também chamado de “*negro de fumo*” ou “*black carbon*”, em inglês) – outro poluente associado ao aquecimento global, que tem um impacto de aquecimento de 900 a 3.200 vezes maior que o dióxido de carbono (ICCT, 2017). Isso significa dizer, em outras palavras, que 1 kg de carbono negro na atmosfera tem um potencial de acumular calor equivalente a 900-3.200 kg de CO₂. Estima-se que os ônibus a diesel sejam responsáveis por 25% do carbono negro gerado em cidades (*ibid*).

A evolução futura dessas emissões resultará da combinação de um expressivo aumento esperado da demanda de mobilidade de pessoas e bens, um aumento previsível na eficiência energética de diferentes modos de transporte e uma possível mudança em direção a fontes de energia de baixo carbono para veículos motorizados. Ainda assim, estima-se que o transporte continuará sendo responsável por 28-37% das emissões totais em 2040 e continuará entre os setores mais difíceis de descarbonizar (NOUSSAN *et al.*, 2020).

No que diz respeito ao consumo de energia, os modos de transporte de passageiros podem ser comparados considerando seu consumo médio específico de energia, que pode ser parametrizado em passageiros-km (pkm). A Tabela 1 mostra alguns valores médios para o consumo de energia de diferentes modos de transporte, juntamente com sua faixa de variação. Esses valores devem ser considerados com cautela, pois são afetados por muitos parâmetros, incluindo tipo de combustível, condições do veículo, carga do veículo, entre outros.

Tabela 1. Consumo médio para modos motorizados de transporte de passageiros

Modos	Consumo médio (kWh/pkm)	Faixa de variação (kWh/pkm)
Carros grandes ¹	0,75	0,28 – 1,01
Aviação	0,50	0,29 – 0,85
Carros	0,50	0,23 – 0,85
Ônibus e microônibus	0,16	0,10 – 0,32
Motociclos	0,12	0,10 – 0,21
Ferroviário	0,05	0,02 – 0,22

Fonte: elaboração do autor com base em IEA (2019).

¹ “Carros grandes” é uma classe de tamanho de veículo que se originou nos Estados Unidos e é usada para carros maiores do que carros de tamanho médio; segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos (US Fuel Economy Guide, 2016), veículos deste segmento possuem um índice de volume interior de passageiros e carga combinados maior ou igual à 3.400 litros. São exemplos: Kia Cadenza, Toyota Avalon, Chevrolet Impala, Nissan Maxima, Chrysler 300, entre outros.

Os valores apresentados revelam evidências interessantes: os carros permanecem entre os modos de transporte de pior desempenho para transporte de passageiros, enquanto o modo

de melhor desempenho tende a ser o ferroviário. Os carros grandes têm maior consumo específico de energia por passageiros-km do que a aviação, e é geralmente referido como o modo de transporte com os maiores impactos ambientais. O bom desempenho do transporte ferroviário se justifica em grande parte pela sua alta capacidade de passageiros e pela sua eletrificação, mas está atrelado à fonte de energia a partir da qual é gerada a eletricidade.

Além do consumo de energia, cada modo de transporte tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha de um modo em relação a outro pelos usuários pode ser causada por diferentes motivos. O setor de transporte é uma mistura complexa de diferentes modos, e se consolida através de estilos de vida, crenças compartilhadas, condições socioeconômicas, político-culturais e outras tantas variáveis. Alterar esses padrões (**sistemas e regimes sociotécnicos**) implica promover mudanças sistêmicas, as quais se deparam com diferentes potenciais e resistências conforme o território em questão – como apresentado anteriormente. A seção seguinte explora uma perspectiva histórica do processo de formação desses padrões em diferentes regiões do planeta, apresentando suas variações geográficas em termos de mobilidade.

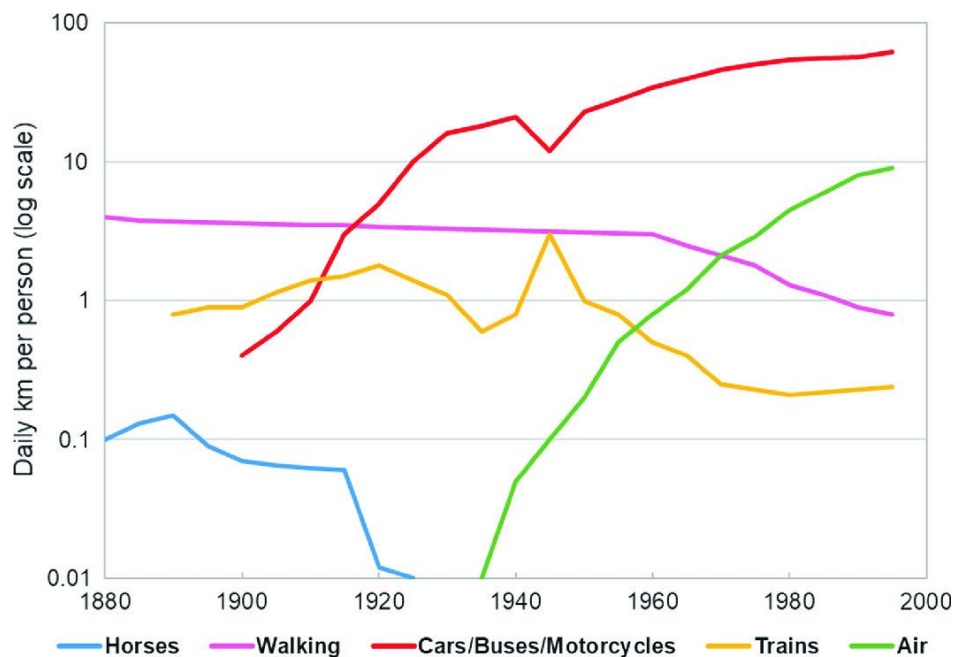
2.3.2 Perspectiva Histórica e Variação Geográfica dos Padrões de Mobilidade

A história dos transportes teve uma evolução significativa ao longo dos séculos. Tanto o transporte de passageiros quanto de carga são a base de um **desenvolvimento efetivo de países e sociedades**, e a sustentabilidade do transporte tem se tornado cada vez mais necessária devido aos congestionamentos em várias cidades, à poluição local e às mudanças climáticas – intensificadas pela atividade do setor. Existem diferenças significativas nos padrões de mobilidade entre as regiões do mundo, sendo que os aspectos culturais, econômicos, sociais, históricos, políticos e geográficos são determinantes tanto nas causas da procura pela mobilidade quanto nos modos de transporte disponíveis e na implementação das infraestruturas urbanas (NOUSSAN *et al.*, 2020).

A demanda pela mobilidade é especialmente relacionada à necessidade de acessar oportunidades de trabalho, serviços, compras ou lazer, com variações que dependem do contexto histórico e cultural específico e que mudam com o tempo. Um exemplo da evolução dos modos de transporte de passageiros pode ser visto na Figura 9, que mostra a distância média diária percorrida por um cidadão norte-americano no século passado. Nota-se como a

disponibilidade de diferentes tecnologias gerou um aumento significativo e contínuo da distância média percorrida neste caso, levando a um aumento da área a que as pessoas podem acessar no seu dia a dia. Esse incremento da acessibilidade espacial através de serviços de mobilidade faz com que as cidades, em todo o mundo, expandam e continuem a atrair mais pessoas – o que gera uma **tendência de urbanização na qual o transporte se estabelece cada vez mais fundamental** (NOUSSAN *et al.*, 2020).

Figura 9. Distância média diária de um cidadão norte-americano por modos de transporte



Fonte: NOUSSAN *et al.*, 2020, com base em AUSUBEL *et al.*, 1998.

Nota de tradução: Eixo vertical à esquerda: quilometragem diária percorrida por pessoa (em escala logarítmica). Eixo horizontal: anos (de 1880 a 2000). Legenda de cores: modos de transporte; da esquerda para a direita: cavalo, peatonal, carro/ônibus/motocicleta, trem, aéreo.

Neste sentido, a evolução do transporte está intimamente relacionada à tendência de urbanização em todo o mundo, sendo que a evolução da demanda por transporte está também associada a variáveis demográficas, ao PIB e a decisões políticas, bem como a estilos de vida e crenças compartilhadas culturalmente. Para a maioria das viagens de passageiros existem modos alternativos potenciais que podem ser escolhidos, considerando aspectos como preço, tempo de viagem, conforto e segurança. Essas escolhas consolidam os padrões de mobilidade presentes nos territórios e reforçam os sistemas e regimes sociotécnicos que ali se estabelecem, através da conjugação de diferentes atores, interesses, instituições e sistemas sociotécnicos locais.

2.3.1.1 América do Norte

A América do Norte é um subcontinente grande com uma população relativamente baixa, com consequências nos modos de transporte de passageiros e carga. Os EUA e o Canadá têm uma grande rede de rodovias conectando as principais cidades, mas algumas grandes áreas rurais ainda contam com estradas não pavimentadas. Como resultado do desenvolvimento mais recente deste subcontinente em comparação com a Europa ou a Ásia, muitos planos de cidades foram desenvolvidos com base no uso do **carro particular** como o principal modo de mobilidade, levando a cidades espalhadas e com **baixas densidades**. Devido às grandes distâncias entre as cidades, a **aviação doméstica** ganhou uma forte importância nas últimas décadas para o transporte de passageiros.

O domínio do automóvel no século passado moldou a sociedade e a atual infraestrutura dos EUA, de modo que seriam necessários investimentos expressivos para mudar os regimes para modos alternativos como o transporte público ou modos ativos – além da forte resistência sociocultural que isso implicaria. O transporte rodoviário também tem sido fortemente apoiado por regulamentações federais e estaduais, bem como pela redução de impostos sobre combustíveis para transporte em comparação a outros países desenvolvidos (NOUSSAN *et al.*, 2020). O apoio federal para projetos rodoviários nos EUA é maior do que para o transporte público; para o transporte ferroviário de passageiros, os estados não contam com recursos federais, o que resulta em consequências significativas na competição modal (RODRIGUE, 2017).

No entanto, muitas cidades estão testando soluções inovadoras para lidar com os crescentes problemas relacionados ao congestionamento, poluição local e uso do espaço nos centros das cidades. O compartilhamento de viagens, a “mobilidade como serviço” (*Mobility-as-a-Service, MaaS*²), o uso de veículos autônomos e outras tecnologias digitais estão sendo lançadas por *startups*, especialmente na Califórnia e em outras grandes cidades do país (NOUSSAN *et al.*, 2020). Os EUA viram o surgimento da Uber e da Lyft, duas empresas de

² *Mobility-as-a-Service* (MaaS) é um serviço ofertado por meio de um canal digital integrado que permite que os usuários planejem, reservem e paguem por vários tipos de serviços de mobilidade (incluindo transporte público, carona, carro ou bicicleta compartilhada, aluguel de carro ou combinações) com uma única conta (<https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/>).

compartilhamento de viagens que atingiram dezenas de bilhões de capitalização de mercado e juntas entregaram mais de 5,6 bilhões de viagens em 2018 (TREFIS TEAM, 2019).

Outra tendência importante, embora com forte diferença entre os estados dos EUA, é o aumento da adoção de veículos elétricos, especialmente na Califórnia, Havaí e Washington. Em 2018, os EUA foram o segundo país em vendas de VEs no mundo, atingindo 360 mil unidades, 17% das vendas globais (IEA, 2019). Além disso, a empresa norte-americana Tesla, uma das empresas originárias nesta tendência recente de adoção de VEs, tornou-se o fabricante de VEs mais vendido do mundo em 2018, com 245 mil unidades, comercializado principalmente no mercado interno. No entanto, a Tesla ainda não gerou lucro para o ano inteiro ao longo de sua história de 15 anos, embora seu desempenho tenha melhorado nos últimos anos (DEMANDT, 2019).

2.3.1.2 América Latina

As Américas Central e do Sul são caracterizadas por uma grande variedade territorial, com as maiores cidades concentradas nas costas oriental e ocidental, e com grandes regiões rurais no interior. A rede de estradas principais interliga as maiores cidades do continente, mas existem enormes disparidades com as condições das áreas rurais, onde muitas vezes as estradas não são pavimentadas. Apesar da baixa integração entre os países, especialmente entre os de origem hispânica e o Brasil, diferentes projetos foram desenvolvidos no passado para garantir interconexão das rodovias nacionais, incluindo pontes ligando Argentina, Uruguai, Paraguai e Brasil.

O forte desenvolvimento das estradas fez com que as ferrovias perdessem sua posição dominante a partir da década de 1960, resultando em uma diminuição da qualidade do serviço, causada por problemas operacionais e envelhecimento dos equipamentos. Além disso, a maioria das linhas é de via única e os diferentes padrões de bitola implantados **dificulta uma interconexão eficiente entre as redes ferroviárias**. Até a década de 1980, praticamente todas as ferrovias eram de propriedade do Estado. Desde então, os governos, como parte de seus esforços gerais para privatizar suas economias nacionais, desfizeram-se de grande parte das ferrovias de propriedade pública, o que levou à redução de muitas rotas de passageiros e de carga (KNAPP *et al.*, 2019).

O transporte **marítimo** tem sido significativo na história da maioria dos países sul-americanos, uma vez que a maior parte das importações e exportações do continente dependem do transporte marítimo. Existem algumas vias navegáveis interiores importantes, mas o tráfego de carga é geralmente limitado e com baixo potencial de expansão futura. Por outro lado, o **transporte aéreo doméstico** desenvolveu-se fortemente nas últimas décadas, em grande parte pelas vantagens significativas de acessar cidades distantes e com longas estradas que as ligam.

Quanto ao **transporte urbano**, a América do Sul teve um forte desenvolvimento de *Bus Rapid Transit Systems* (BRTs), hoje presentes em 56 cidades da América Central e do Sul, transportando mais de 20,8 milhões de passageiros por dia (BRT Data, 2020). A principal lógica dos sistemas de BRT é combinar as vantagens de alta capacidade e velocidade geralmente proporcionadas pelos sistemas de transporte rápido sobre trilhos, com a flexibilidade e o menor custo de capital dos sistemas de ônibus. Contudo, a superlotação e a má qualidade do serviço (não apenas dos BRTs) são as principais preocupações em muitas cidades. Os **longos tempos de espera e o baixo conforto** das viagens resultaram na mudança modal de muitos usuários em direção a carros particulares e motocicletas na última década (NOUSSAN *et al.*, 2020).

Para reverter essa tendência, diversas cidades latino-americanas (como Bogotá, Santiago, Panamá, entre outras) têm promovido iniciativas de reestruturação contratual dos sistemas de transporte público, aproveitando a oportunidade para incluir critérios de *desempenho, qualidade, eficiência e sustentabilidade*. Ainda, os ônibus elétricos têm sido adotados como parte da solução, pois além de atraírem novos atores e, com isso, gerar maior competitividade neste subsetor, oferecem, em muitos casos, reduções de custos operacionais e de manutenção quando comparados aos ônibus movidos por combustão interna. Santiago do Chile, por exemplo, conta atualmente com **a maior frota de ônibus elétricos** no transporte público municipal fora da China, com 413 veículos deste tipo³ (SUSTAINABLE BUS, 2020). Cabe destacar, também, a importância e a relevância de iniciativas regionais que estão acontecendo na América Latina, tal como a plataforma MOVE (<https://movelatam.org/>), implementada pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas. Essa iniciativa busca construir um ecossistema propício nos países e cidades da América Latina e Caribe para acelerar sua transição para a mobilidade elétrica, proporcionando assistência técnica, acesso a

³ Dado referente à maio de 2020, coletado na plataforma “<https://www.ebusradar.org/>”, e considerado nas análises deste trabalho. A título de comparação, em janeiro de 2021, Santiago do Chile já conta com 776 ônibus elétricos.

financiamentos e capacitação através de uma plataforma regional líder. Atualmente, a plataforma atua em pelo menos 14 países da região, com uma equipe de especialistas na área.

2.3.1.3 China e Leste Asiático

O transporte internacional tem desempenhado um papel crucial no apoio ao **forte desenvolvimento econômico** dos países asiáticos nas últimas décadas. Na China, em especial, a construção de portos marítimos e infraestruturas de transporte têm possibilitado o desenvolvimento de cadeias produtivas de manufatura de bens para o mercado global. No entanto, o aumento das taxas de bem-estar e urbanização resultou em **grande aumento da demanda de mobilidade** para deslocamento e acesso a serviços, a qual não foi acompanhada por suficiente implantação de sistemas de transporte coletivos. Com isso, carros particulares e outros veículos motorizados estão criando congestionamentos crescentes e poluição local nas grandes cidades. Os países asiáticos, especialmente no sudeste da Ásia, também são caracterizados pelo **uso maciço de veículos de duas e três rodas** nas cidades, com impactos significativos nos congestionamentos e na segurança no trânsito.

Em nível regional, o desafio de desenvolver programas de transporte que garantam a inclusão e a segurança ainda é um grande obstáculo, especialmente para áreas rurais que carecem de conexões com redes sociais e econômicas (RAKHMATOV *et al.*, 2017). Segundo o autor, uma melhoria do transporte rural é necessária para aprimorar vários aspectos, incluindo desenvolvimento econômico, emprego, acesso a instalações de saúde e educação, bem como redução da pobreza e conexão entre produtores e consumidores. Existem diferenças significativas de um país para outro, dependendo do nível de desenvolvimento e de questões culturais, históricas e políticas.

Como em outros setores, os programas de transporte na China têm um impacto significativo em escala global, dada a sua grande população, seu forte desenvolvimento econômico e suas grandes áreas urbanas em crescimento. Os níveis intoleráveis de poluição atmosférica local nos últimos anos levaram o governo a pressionar pela eletrificação do transporte de passageiros, com as maiores cidades implantando políticas “agressivas” para apoiar o uso de carros e ônibus elétricos. Algumas cidades estão inclusive limitando o número de carros novos movidos a combustível fóssil que podem ser vendidos a cada ano, leiloando um número limitado de placas. Não obstante, o desenvolvimento de VEs também é visto como

uma ação estratégica do governo para desenvolver a indústria nacional e competir com outros países que possuem um forte *know-how* (conhecimentos técnicos e práticos) no setor automotivo tradicional baseado em motores de combustão interna.

Problemas semelhantes **de poluição e congestionamento** estão sendo enfrentados por outros países asiáticos, incluindo a Índia, cuja população provavelmente ultrapassará a da China, tornando a Índia o país mais populoso do mundo (NOUSSAN *et al.*, 2020). As redes rodoviária e ferroviária estão significativamente desenvolvidas e o transporte público continua a ser a única opção para a maioria dos cidadãos, embora os carros particulares e os veículos de duas e três rodas estejam aumentando, gerando consequências negativas para a segurança rodoviária e para a poluição local. Nas grandes cidades, os aplicativos de compartilhamento de viagens estão oferecendo soluções baratas em alternativa aos táxis tradicionais, proporcionando a um maior número de cidadãos a possibilidade de se deslocar de carro sob demanda. No entanto, a infraestrutura atual não é capaz de atender ao forte aumento da demanda e a falta de investimentos está reduzindo o crescimento econômico, especialmente nas áreas rurais. A atividade ferroviária na Índia deve crescer mais do que em qualquer outro país nos próximos anos, com os movimentos de passageiros na Índia alcançando 40% da atividade global (*ibid*). **O transporte ferroviário** ainda é o principal modo de transporte que conecta várias cidades e regiões, e o transporte de passageiros está atrás apenas da China atualmente (IEA, 2019).

A demanda por transporte na Ásia deve apresentar forte aumento nas próximas décadas, tanto de passageiros quanto de carga, e deve enfrentar as restrições relacionadas aos acordos internacionais de descarbonização. Em particular, o transporte de carga está apoiando o aumento da riqueza da população do continente, mas uma parcela significativa também está relacionada ao comércio global. Como resultado, um aspecto crucial nos acordos internacionais de sustentabilidade será a mudança de uma alocação de impactos baseada na produção para uma lógica baseada no consumo, permitindo a implementação de políticas de descarbonização eficazes (GOLINUCCI *et al.*, 2019).

2.3.1.4 Europa

Na Europa, o transporte de passageiros e mercadorias tem aumentado continuamente desde a revolução industrial e os países europeus têm cooperado principalmente no desenvolvimento e manutenção de redes de transporte compatíveis. Essa região está conectada

por uma rede capilar de estradas, ferrovias e vias navegáveis interiores, bem como por portos marítimos e aeroportos. Graças ao desenvolvimento de múltiplas infraestruturas os cidadãos europeus podem frequentemente escolher entre **diferentes modos para qualquer viagem**, especialmente em contextos urbanos. No entanto, existem diferenças significativas entre alguns países, tanto entre o Norte e o Sul da Europa como entre a Europa Ocidental e a Europa Oriental (devido a processos históricos de desenvolvimento econômico). Embora a União Europeia esteja desenvolvendo regulamentos e estratégias integradas, as políticas nacionais ao longo dos levaram à consolidação dos diferentes paradigmas específicos de mobilidade.

A maioria dos países europeus tem **altas taxas de uso de transporte público**, tanto em nível intraurbano quanto entre cidades. Graças à rede rodoviária e ferroviária difusa, trens e ônibus são uma solução conveniente e acessível para os passageiros. Ainda, alguns países nórdicos, especialmente Holanda, Dinamarca e Alemanha, têm uma penetração significativa do uso da **bicicleta** para deslocamentos, graças aos hábitos culturais, políticas dedicadas e conformação espacial da maioria das cidades. O uso de bicicletas em várias cidades europeias também tem sido apoiado pelo desenvolvimento de sistemas de compartilhamento ao longo da última década, com o objetivo de fornecer aos usuários um modo de transporte para a primeira e a “última milha” a ser acoplado ao transporte público para diminuir o uso de carros particulares em cidades densamente povoadas (NOUSSAN *et al.*, 2020).

Além disso, a União Europeia está desenvolvendo **políticas climáticas e energéticas** visando diminuir as emissões de gases e poluentes atmosféricos, bem como apoiar a utilização de energias renováveis. As diretrizes da UE também estabelecem metas específicas para o uso de combustíveis renováveis nos transportes, especialmente biocombustíveis e eletricidade proveniente de fontes renováveis de energia. Nos últimos anos, a adoção de veículos elétricos (VE) está aumentando, embora com grande variabilidade de um país para outro.

2.3.1.5 Oriente Médio e Norte da África

A demanda por mobilidade na região aumentou rapidamente desde a década de 1970, acompanhando o aumento da população, juntamente com uma das maiores taxas de urbanização do mundo. O mau planejamento urbano e a falta de um transporte público de qualidade levaram ao **aumento do uso de automóveis**, também apoiado pelo aumento da renda em algumas áreas. No entanto, as áreas rurais e os cidadãos urbanos com rendimentos mais

baixos seguem usando veículos não motorizados ou sistemas baseados em microônibus, invariavelmente superlotados (THE ECONOMIST, 2016).

O aumento vertiginoso dos carros particulares, também favorecido pelos preços baratos dos combustíveis nos países produtores de petróleo, não tem sido apoiado por um planejamento adequado e por implantação de infraestruturas apropriadas, resultando em grandes **congestionamentos**, especialmente nas grandes cidades. Juntamente com as questões de **segurança no trânsito**, os padrões insustentáveis de mobilidade estão também impactando significativamente o PIB de alguns países devido à falta de acesso às oportunidades para os cidadãos e às limitações ao comércio. Além disso, as dificuldades de deslocamento impulsionam ainda mais a urbanização e densificação, levando, em alguns casos, a graves problemas na prestação de serviços aos cidadãos em áreas altamente povoadas (THE ECONOMIST, 2016).

No entanto, os problemas de **congestionamento** têm despertado o interesse em desenvolver sistemas de transporte público nas cidades maiores e mais ricas, a começar pelo sistema de transporte de massa inaugurado em Dubai em 2009, um dos mais longos do mundo **totalmente automatizados** (HASHEM, 2016). Novos projetos de metrô, incluindo o enorme sistema rápido que está sendo implantado em Riyad, exploram os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos para enfrentar as **condições climáticas adversas** na região, tanto para a potencial intrusão de areia nos veículos quanto para as temperaturas extremas que exigem sistemas de refrigeração dedicados.

Além disso, graças à disponibilidade de financiamento, as cidades dos Emirados Árabes Unidos estão se tornando locais de teste de várias **inovações em transporte** (NOUSSAN *et al.*, 2020). Em particular, Dubai pretende fornecer um quarto de todas as viagens de veículos por **carros autônomos** até 2030, e os táxis sem motorista já estão sendo testados na cidade. Além disso, a inovação está sendo levada ainda mais longe, uma vez que **táxis voadores autônomos** movidos a eletricidade estão sendo considerados para teste na cidade.

2.3.1.6 África Subsaariana

A história das infraestruturas de transporte na África Subsaariana foi fortemente afetada pela presença duradoura das potências coloniais europeias. Embora tenham existido redes de

transporte altamente desenvolvidas em muitas partes da África na época pré-colonial, durante a era colonial essas infraestruturas foram adotadas para conectar os portos marítimos às áreas internas ricas em recursos, com o único objetivo de servir os interesses dos poderes externos (KRÖNER *et al.*, 2019). Isso aconteceu tanto com as rodovias quanto com as ferrovias, sendo as ferrovias também afetadas pelo desenvolvimento descoordenado de diferentes bitolas, dificultando as interconexões entre países. Tudo isso foi ainda mais complicado pelas **vastas áreas despovoadas entre os principais centros**.

Esta é a única região onde se espera grande aumento populacional nas próximas décadas, o que, juntamente com as altas taxas de urbanização, exigirá sistemas de transporte confiáveis e eficazes para melhorar o acesso às oportunidades e serviços. Isso será necessário para promover padrões de vida mais elevados em comparação com a situação atual no continente. Embora as questões de acesso à energia estejam no centro de várias discussões, o acesso a oportunidades apoiadas pela mobilidade sustentável é quase completamente subestimado. Em comparação com outros continentes, **caminhar** ainda é o meio de transporte mais comum na maioria dos países africanos. E ainda assim este e outros modais de transporte não motorizado não recebem a atenção necessária para tornar as cidades mais amigáveis aos pedestres (NOUSSAN *et al.*, 2020).

A maioria das cidades africanas está em uma trajetória de desenvolvimento de **aumento do uso de carros particulares e transporte público informal**, que pode evoluir para padrões de mobilidade insustentáveis sem o simultâneo desenvolvimento de políticas adequadas. A demanda por sistemas de transporte eficientes e acessíveis é muito alta, já que grande parte da renda e do tempo das pessoas é gasta em seu deslocamento diário. Soluções de transporte urbano sustentável serão, portanto, cruciais para mitigar o crescente congestionamento, os problemas de segurança no trânsito e a poluição nos extensos centros urbanos da região (SSATP, 2018).

O que é comum entre todos os países e regiões do mundo é que a esmagadora maioria dos veículos de transporte rodoviário dependem fortemente de **combustíveis derivados de petróleo**, especialmente gasolina e diesel. Enquanto o diesel é comumente a opção mais difundida para veículos pesados (caminhões e ônibus), existe maior diferença entre os veículos leves, especialmente entre os países europeus. Os carros norte-americanos movem-se quase totalmente a gasolina, enquanto que em países na América do Sul, há participação também dos

biocombustíveis, em função do potencial regional de produção deste combustível e das regulamentações ali presentes. **Combustíveis alternativos** como gás natural, GLP e biocombustíveis, estão sendo usados em alguns países, mas ainda representam uma parcela ínfima do consumo total de energia do transporte de passageiros.

2.3.3 Padrões Sustentáveis de Mobilidade: Baixo Carbono e os Ônibus Elétricos

Como visto neste capítulo, economicamente, socialmente e ambientalmente, o transporte motorizado baseado em combustíveis fósseis não é sustentável. Para Banister (2008), existem quatro estratégias elementares para promover padrões sustentáveis de mobilidade, levando à “*mobilidade de baixo carbono*”:

- i. Reduzir a necessidade de viajar;
- ii. Incentivar a transferência modal (medidas de políticas de transportes);
- iii. Reduzir as distâncias de viagens (medidas de políticas de uso do solo); e
- iv. **Incentivar maior eficiência no sistema de transportes (através de inovações tecnológicas, por exemplo).**

Nesse sentido, características do paradigma da mobilidade sustentável incluem a redução da necessidade de viajar (através da promoção do tele trabalho, por exemplo), minimização do tempo de viagem, consideração do transporte como uma atividade valorizada ao invés de uma demanda derivada, promover uma transferência modal (especialmente para o transporte a pé e de bicicleta), **menores níveis de poluição e ruído do transporte e maior eficiência energética através de inovações tecnológicas**, além do uso eficiente das infraestruturas (com maior ocupação veicular e gerenciamento da demanda) e aumento da qualidade de lugares e espaços (BANISTER, 2008; GIZ, 2012).

Banister (2008) aponta que a mudança de paradigma para atingir a mobilidade urbana sustentável requer a implementação de esquemas inovadores, a necessidade de ganhar a confiança e a aceitabilidade públicas de forma que exista um engajamento ativo da população e novas formas de comunicação possam ser estabelecidas. Segundo o autor, a **aceitação pública** é essencial para implementar mudanças radicais com sucesso, sendo necessário engajar a comunidade e os principais atores envolvidos nos processos de discussão, decisão e implementação. Ainda, aponta como princípio para a promoção da mobilidade urbana

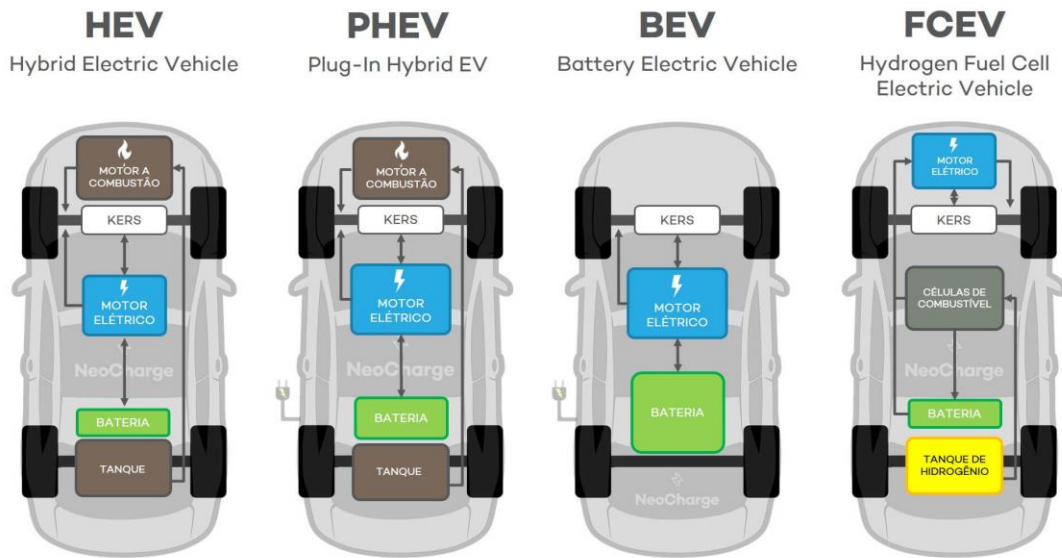
sustentável a adoção de **veículos mais eficientes**, investimentos em **novas tecnologias** e o direcionamento das indústrias quanto às prioridades (como, por exemplo, investir em eficiência veicular e de combustíveis).

Nesse sentido, **a eletrificação do transporte** urbano aparece como uma inovação tecnológica alternativa aos combustíveis fósseis, cujo processo de implementação implica mudanças sistêmicas nos padrões de produção e consumo, configurando-se como uma transição sustentável rumo à mobilidade de baixo carbono. Para tal, essa inovação tecnológica deve ser implementada como parte de uma **estratégia ampla e integrada**, que junto com as demais medidas elementares possam promover a transferência modal e a priorização do transporte público, por exemplo.

Melhorias no sistema de transporte público podem induzir essa transferência modal e levar ao aumento da eficiência energética do setor. Um bom sistema de transporte público deve ser atraente, acessível e confiável. Ainda, expandir a rede de transporte público, aumentando a frequência dos serviços e melhorando sua operação é importante para promover o seu uso (GIZ, 2012). De forma a potencializar essas melhorias, os **ônibus elétricos** surgem como uma opção vantajosa, sendo uma eficiente e pragmática forma de reduzir emissões de GEE, contribuir para a melhoria da qualidade do ar, além de incentivar a transferência modal, aumentar a eficiência energética e o conforto do serviço de transporte público por ônibus.

Cabe, portanto, apresentar e caracterizar o que são os **veículos elétricos**. Veículos elétricos são veículos movidos por um motor elétrico, alimentado por eletricidade. Existem três tipos básicos de veículos elétricos: *os totalmente elétricos*, *os híbridos (HEV)* e *os híbridos plug-in (PHEV)*. Dentro dos totalmente elétricos, existem os veículos elétricos à bateria (BEV) e os veículos elétricos a célula de combustível (FCEV). A figura 10 ilustra os diferentes arranjos tecnológicos de cada tipo de veículo elétrico.

Figura 10. Arranjos tecnológicos dos tipos de veículos elétricos



Fonte: NeoCharge (s.d.).

Os veículos híbridos (HEV) utilizam gasolina, álcool ou diesel como principal forma de alimentar o motor a combustão interna. Além de usar o motor a combustão, que é reabastecido normalmente como qualquer outro carro de motor a combustão interna, os híbridos também possuem um motor elétrico e uma bateria. A adição do motor elétrico alimentado por uma bateria melhora a eficiência do uso do combustível nos veículos híbridos, mas pode ser entendido como um “sistema secundário”, “complementar”. A bateria fornece energia para o ar condicionado e outros acessórios enquanto o carro fica parado no semáforo ou no trânsito, e o motor elétrico pode ligar o carro novamente para iniciar o movimento. Desta forma, os veículos deste tipo continuam dependentes dos combustíveis fósseis, contribuindo com emissões de gases e poluentes atmosféricos ao setor.

Já os veículos híbridos *plug-in* (PHEV) combinam o motor a combustão interna alimentado por gasolina, álcool ou diesel com um motor elétrico e um banco de bateria que pode ser recarregado por uma fonte externa (*plug-in*). Diferentemente dos híbridos convencionais, os *plug-in* podem ter sua bateria recarregada tanto via frenagem regenerativa (“kers”) – que é a conversão de parte da energia perdida no momento da frenagem em eletricidade – quanto por cabo, sendo alimentado por uma fonte externa, como a rede elétrica. Neste arranjo tecnológico, o motor elétrico é o principal propulsor do veículo, sendo que quando a carga da bateria acaba, o motor a combustão interna é acionado, passando a funcionar como um veículo convencional de combustão. Esse tipo de veículo elétrico emite

consideravelmente menos gases e poluentes atmosféricos que um veículo de motor a combustão, pois não gera emissões quando está funcionando com o motor elétrico. Entretanto, assim como os HEV, os PHEV também não são eliminam o problema das emissões.

Os veículos elétricos a bateria (BEV) são veículos puramente elétricos e usam a eletricidade armazenada na bateria para “alimentar” o motor elétrico e tracionar as rodas. A bateria é recarregada quando conectada à rede elétrica, através de tomadas específicas, e, em menor escala, através da frenagem regenerativa. Os BEVs não geram nenhuma emissão direta como resultado de seu funcionamento – daí o termo “veículos limpos”. Entretanto, a geração da eletricidade utilizada para propulsionar os BEVs pode estar associada a uma matriz energética (fonte) poluente, que produza a eletricidade a partir da queima de carvão mineral ou gás natural, por exemplo. Isso acaba por reduzir os benefícios “globais” da tecnologia. Ou seja, embora os veículos puramente elétricos não emitam gases ou poluentes atmosféricos com a sua operação local, a demanda por eletricidade pode fazer com que fontes poluentes (altas em carbono) sejam utilizadas para atender a essa necessidade, gerando emissões que devem ser consideradas em análises holísticas de viabilidade e impacto. Nesse sentido, reitera-se a importância de integrar os setores de transportes e energia, de forma que o desenvolvimento de projetos e tecnologias considere as necessidades, oportunidades e complementariedades entre esses setores – alinhando esforços em prol da descarbonização e sustentabilidade global.

Por fim, os veículos elétricos à célula de combustível (FCEV) possuem arranjos tecnológicos que utilizam células de combustível – podendo ser em combinação com uma bateria ou um supercapacitor – para alimentar o motor elétrico do veículo. As células de combustível dos veículos geralmente combinam oxigênio do ar com hidrogênio comprimido para produzir a eletricidade que alimentará o motor elétrico. Neste caso, o gás hidrogênio fica armazenado em um tanque acoplado ao veículo, sendo a principal fonte de energia do sistema. Assim como os BEVs, os veículos com células de combustível também são classificados como “veículos limpos” (zero emissões), pois geram apenas água e calor como resultado do seu funcionamento. Contudo, a produção do gás hidrogênio pode ser um processo poluente, já que é comumente derivado do gás natural (combustível fóssil).

Conectando a tecnologia veicular elétrica aos ônibus, tem-se que os ônibus elétricos, de modo geral, apresentam reduções potenciais de 50 a 100% nas emissões de material particulado (poluente local) e 35 a 100% nas emissões de CO₂ por escapamento (poluente global),

dependendo do tipo de tecnologia elétrica, em comparação aos ônibus de combustão interna padrão Euro 5 movidos à diesel (ICCT, 2019). Especificamente para os ônibus elétricos movidos puramente à bateria (foco deste estudo), as reduções de gases e poluentes atmosféricos por escapamento são totais (tanto para poluentes locais como globais), sendo as emissões relativas à geração da eletricidade as consideradas na avaliação dos seus benefícios holísticos. Esse tema, ainda que relevante, é complexo e abre oportunidades para muitas discussões e avaliações, não sendo tratado neste trabalho.

A introdução desta tecnologia nos sistemas de transporte públicos (como uma das inovações de nicho) para mitigar o impacto do transporte terrestre no meio ambiente e reduzir os problemas de mobilidade nas cidades não é apenas um problema de natureza tecnológica, econômica ou de mercado. Ao contrário, está associada a uma série de elementos políticos, sociais e culturais, que devem ser analisados em conjunto para que uma transição para a mobilidade de baixo carbono seja efetivamente realizada (RODRIGUEZ, 2018; FEITELSON, SALOMON, 2004). Ainda, Geels e Kemp (2012) apontam que, para introduzir inovações radicais com maior nível de sustentabilidade, é necessário **alterar regimes** – aproveitando-se de oportunidades para alterações maiores nos sistemas. Os autores destacam, ainda, que as transições requerem o desenvolvimento de novas perspectivas e **alterações em dimensões mais amplas como cultura, governança, regulações, comportamento de viagens, planejamento espacial, gerenciamento de tráfego e infraestrutura** (GEELS, KEMP, 2012).

Nesse sentido, **as particularidades de cada contexto são definitivas para compreender as diferentes possibilidades ou caminhos que um processo de transição sustentável pode ter**, variando de acordo com as contingências históricas e espaciais regionais. Para além de analisar a influência dos contextos locais em moldar a coevolução de tecnologias, atores e instituições (que permitem o avanço das transições sustentáveis), avaliar como esses elementos e dimensões estão distribuídos espacialmente contribui para detectar variações geográficas que podem facilitar o avanço e o sucesso dessas transições. Em suma, (re)conhecer os sistemas e regimes sociotécnicos dominantes, detectar como se distribuem e variam geograficamente, e entender quais elementos e/ou arranjos são mais decisivos para o sucesso de transições sustentáveis permite também compreender o potencial de desenvolvimento das inovações de nicho e definir pela melhor estratégia rumo à mobilidade de baixo carbono em cada território.

3. ESTUDO EMPÍRICO - METODOLOGIA

Este é um estudo de caso comparativo entre cidades⁴ do mundo, explorando relações quantitativas entre suas características socioeconômicas, político-culturais e físico-espaciais e destas com o grau de eletrificação de suas frotas municipais de transporte público por ônibus.

O grau de eletrificação – calculado como **percentual da frota que utiliza tração elétrica em relação ao total** – é um indicador de avanço rumo à mobilidade de baixo carbono, indicando o estado dessa transição sustentável. Portanto, conhecer a magnitude e a significância das associações entre as configurações sociotécnicas que conferem às cidades os seus **perfis (tipologias) territoriais** e seu status transicional permite estabelecer conexões com a emergência e o desenvolvimento da tecnologia, revelando como esta transição se desenvolve e se molda a partir de cada contexto local. A identificação de fatores-chave e padrões comuns associados ao avanço da eletrificação pode ser generalizada e contribuir com o processo em outras cidades e territórios.

3.1 ABORDAGEM CONCEITUAL DA MODELAGEM QUANTITATIVA

A metodologia adotada para identificar associações entre (i) as configurações sociotécnicas que configuram o que aqui chamarei de perfis territoriais, (ii) possíveis padrões regionais a partir dessas configurações (descritas e mensuradas através de atributos territoriais) e (iii) os graus de eletrificação das frotas municipais de ônibus do transporte público está representada na Figura 11, a seguir.

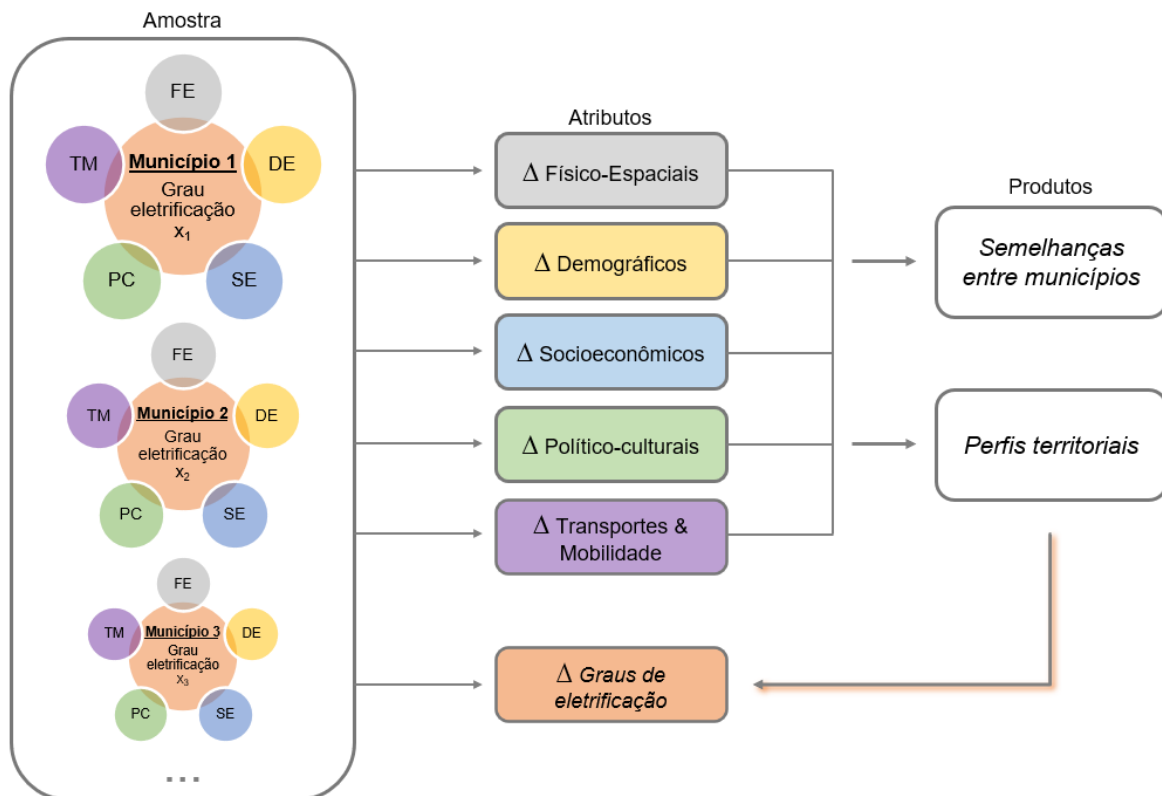
Este estudo não busca estimar com precisão o grau de eletrificação a partir dos atributos das cidades e dos territórios nos quais as transições ocorrem. Seria irreal propor uma equação exata com a “fórmula” do grau de eletrificação que permitisse extrapolações e previsões certas para novos dados ou cidades, dado a multiplicidade de fatores, atores e variáveis – nem sempre identificáveis ou previsíveis. Assim, o grau de eletrificação de frotas de ônibus municipais não deve ser pensado como o resultado preciso da combinação matemática das variáveis propostas – o que configuraria uma espécie de determinismo quantitativo, que não

⁴ Apesar de serem referidas como “cidades”, o trabalho buscou considerar como unidade comum para a amostra e análise de dados os “municípios” – também pelo transporte público ser *municipal*, via de regra. Por existirem variações geográficas quanto à definição do termo “município”, buscou-se considerar como conceito comum: região político-administrativa com uma mesma prefeitura, incluindo zonas rurais e urbanas.

faz parte das pretensões desse trabalho. Pelo contrário, este estudo propõe **explorar as relações entre os atributos e os territórios, em uma abordagem mista de caráter dedutivo-indutivo**.

O trabalho parte das conjecturas apresentadas na seção “1.3 Bases Teóricas e Conjecturas”, onde são apontadas as relações e interações entre sistemas sociotécnicos *dentro de e entre* territórios que geram as variações regionais – e que, por sua vez, condicionam a emergência e o desenvolvimento das transições sustentáveis. O reconhecimento da codeterminação destes elementos e processos inseridos nos territórios permite orientar o estudo através de uma compreensão teórica e conceitual. Não obstante, para proceder com as etapas analíticas da investigação, propõem-se como passos iniciais uma ampla exploração do banco de dados, permitindo compreendê-los melhor e detectar aspectos relevantes – de forma que eles “guiem” a direção dos passos seguintes de verificação das conjecturas.

Figura 11. Representação esquemática da metodologia do estudo quantitativo



Fonte: elaboração do autor.

A partir do estudo comparativo entre municípios, buscou-se encontrar semelhanças entre os casos analisados, com base em seus atributos territoriais. Estes atributos devem ser capazes de caracterizar os sistemas sociotécnicos do território onde está inserida a transição,

permitindo comparação entre os municípios que compõem a amostra. A partir destas variáveis, deseja-se detectar perfis territoriais que definam, de forma resumida, os tipos de cidades investigadas, a partir de atributos individuais ou de uma combinação deles. Por fim, o estudo propõe relacionar os graus de eletrificação da amostra com esses perfis, buscando relevar como o avanço desta transição à mobilidade de baixo carbono está associado às variações geográficas, configuradas por seus sistemas sociotécnicos.

3.2 COLETA E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS

A coleta de dados para a construção do banco de dados da pesquisa iniciou com a definição de algumas diretrizes fundamentais. Uma vez que a pesquisa foca no avanço da eletrificação de frotas de ônibus municipais como forma de avaliar o avanço desta transição rumo à mobilidade de baixo carbono, estabeleceu-se que fariam parte das análises apenas **cidades que já operam esta tecnologia** em seus sistemas de transporte público. Além disso, para garantir maior qualidade da investigação, buscou-se assegurar uma ampla variedade geográfica da amostra, diferentes em seus perfis territoriais e graus de eletrificação.

Um recorte tecnológico também foi definido a fim de limitar o tipo de ônibus elétrico e possibilitar a comparação da mesma tecnologia envolvida nos processos de transição em análise. Para este estudo serão considerados apenas os **ônibus elétricos movidos puramente à bateria**. Conforme apontado na seção 2.3.3, os veículos elétricos podem contar com um sistema de tração híbrido, híbrido *plug-in*, exclusivamente à bateria ou com células de combustível. Para o caso dos híbridos, considera-se que não representam uma mudança sistêmica nos padrões de produção e consumo dos transportes, pois contam com motores à combustão interna em seus arranjos tecnológicos. Embora reduzam a emissão de gases e poluentes atmosféricos em função de sua operação parcial com o sistema elétrico, ainda assim dependem dos combustíveis fósseis para seu pleno funcionamento. Com relação às células de combustível, é uma tecnologia que ainda está em desenvolvimento, não conta com capacidade de produção comercial atualmente e apresenta limitados casos de implantação – o que também não representa uma mudança sistêmica nos sistema e regime sociotécnicos da mobilidade.

Cabe lembrar que, para o caso dos ônibus, outra tecnologia disponível e presente em um número considerável de cidades (sobretudo europeias e americanas) são os trólebus. Este

tipo de ônibus envolve uma lógica diferente para sua operação e não será incorporado nas análises deste trabalho. Por serem abastecidos via catenárias (cabos energizados que se conectam aos ônibus através de hastes instaladas nos veículos), é necessária uma infraestrutura urbana compatível que atenda a esses veículos em rotas pré-determinadas – o que enrijece a flexibilidade de um sistema de transporte público. Este estudo entende que a implantação de trólebus pode ser uma opção a ser avaliada em cidades que já possuam tais infraestruturas implantadas, mas que iniciar processos (transições) de eletrificação de frotas de ônibus municipais com esta tecnologia, atualmente, pode não ser a solução mais conveniente.

Além disso, **a etapa de coleta de dados encerrou em maio de 2020, sendo os dados referentes ao grau de eletrificação os mais recentes encontrados até aquele momento.** Isso cabe ser destacado, pois rápidos avanços na eletrificação de frotas de ônibus municipais são observados – podendo, assim, existir divergências quando da oportunidade de apreciação deste trabalho. Neste sentido, destaca-se que as análises aqui desenvolvidas representam um *snapshot* deste momento específico do processo de transição, não englobando a trajetória das alterações sistêmicas ocorridas temporalmente (isto é, antes ou depois deste momento).

A exploração do estado da arte mostrou não haver uma organização sistemática com monitoramento e atualização contínua dos dados de interesse para este estudo – tanto com relação aos ônibus elétricos movidos à bateria quanto aos atributos territoriais, sobretudo em escala municipal e de abrangência global. Portanto, a coleta de informações se deu majoritariamente de forma manual através de buscas pontuais em sites de governos, revistas e jornais eletrônicos, base de dados e estudos de organizações não-governamentais, estudos acadêmicos, reportes técnicos de operadores de ônibus, sites de fabricantes dos veículos, entre outros. Essa pulverização das informações revelou a necessidade de estabelecer critérios para o levantamento e a seleção dos casos de estudo, de forma a garantir maior coesão.

Para compor a amostra da pesquisa, determinou-se que as cidades levantadas deveriam atender à três critérios básicos para serem selecionadas preliminarmente, a saber:

1. **Compatibilidade** com a tecnologia definida: a cidade deveria estar operando comercialmente ao menos um ônibus elétrico puramente à bateria em seu sistema de transporte público municipal;

2. **Disponibilidade** de dados da frota de ônibus: a cidade deveria dispor de informações sobre o tamanho da frota elétrica em operação bem como o tamanho da sua frota total de ônibus municipais;
3. **Atualidade**: os dados acessados referentes à implantação dos ônibus elétricos movidos à bateria deveriam datar de até 6 meses. Isso porque muitas fontes noticiavam a realização de testes-piloto da tecnologia e não comentavam sobre a incorporação e/ou evolução das frotas elétricas; ou comentavam sobre as projeções de crescimento das frotas constantes em planos, sem informar a real adoção da tecnologia; ou publicavam contratos de compra de ônibus elétricos, sem dar continuidade ao respectivo processo de aquisição e implantação. Desta forma, buscou-se filtrar e incluir dados precisos capazes de refletir o verdadeiro grau de eletrificação dos municípios.

Com isso, chegou-se a uma amostra inicial de mais de 80 municípios. A seguir, buscou-se levantar as variáveis que pudessem caracterizar esses municípios e os seus sistemas sociotécnicos, nos diferentes âmbitos aqui destacados. Para isso, foi elaborada uma lista de atributos territoriais com base em indicadores e informações disponibilizadas em plataformas de dados abertos, contemplando as seguintes áreas:

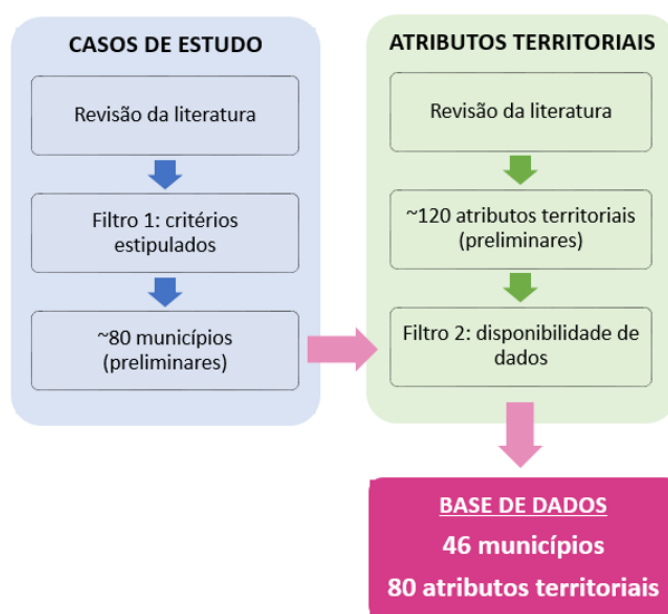
1. Demografia;
2. Ambiente físico-espacial;
3. Aspectos socioeconômicos;
4. Aspectos político-culturais; e
5. Transportes e mobilidade.

As variáveis levantadas incluem dados tanto em escala municipal quanto em escala nacional. Além da maior disponibilidade de dados atualizados para o nível nacional, algumas configurações de sistemas sociotécnicos que configuram os regimes dominantes podem ser derivados e/ou inferidos a partir de outras escalas geográficas que não apenas do município, de forma limitada ou exclusiva. Esta ainda é uma questão pouco analisada neste campo de estudo: **faltam pesquisas que explorem as relações entre os múltiplos níveis, processos e atores envolvidos nas transições sustentáveis e a noção de escalas geográficas**. Ainda assim, entende-se que incorporar dados agregados para países também contribui para a caracterização do perfil territorial analisado.

Parece relevante, aqui, antecipar alguns exemplos de conhecimentos gerados a partir da base de dados desta pesquisa que sustentam este argumento: identificou-se que os preços das tarifas municipais de transporte público por ônibus têm elevada correlação linear com os níveis de corrupção daquele mesmo país ($R^2 = 0,87$). Ainda, encontrou-se que quanto menor a exposição pessoal ao material particulado 2.5 em microrregiões (poluente atmosférico comprovadamente danoso à saúde), maior a expectativa de vida ao nascer naquele país ($R^2 = -0,64$). Embora diferentes em escalas geográficas, essas informações revelam relações que podem ser inferidas e assumidas como verdadeira para as cidades que compõem aquele país, com certo nível de similaridade (correlação linear). Outra relação que pode reforçar a contribuição dos atributos territoriais em nível nacional na detecção de perfis territoriais, ainda que tendo municípios como caso de estudo, é que o número de mulheres que ocupam posições no parlamento de um governo nacional também está associado a uma maior expectativa de vida naquele país ($R^2 = 0,61$). Isso demonstra que as inter-relações não devem ser interpretadas como diretas, limitadas e independentes – pelo contrário, assim como apontado anteriormente, é importante assumir a **codeterminação destes elementos, inclusive em múltiplas escalas**, e investigar os reflexos que isso gera na expressão das variações geográficas e no progresso de uma transição sustentável – como será detalhado e discutido mais à frente.

Com isso, considerando atributos territoriais municipais e nacionais, chegou-se à uma lista preliminar de aproximadamente 120 variáveis, através dos quais as cidades e os territórios poderiam ser descritos, caracterizados, comparados entre si e relacionados aos seus respectivos graus de eletrificação de frotas de ônibus municipais. As principais fontes utilizadas para o levantamento dos dados foram as seguintes: Organização da Nações Unidas, Banco Mundial, União Europeia, OECD, *Our World in Data*, Knoema, *City Population*, entre outras.

A indisponibilidade de informações para várias municípios selecionados, bem como para vários atributos elencados, fez com que fosse necessária uma filtragem dos casos de estudo e variáveis, eliminando as linhas e colunas que apresentassem muitos dados faltantes (**requisito**: mínimo de 90% de células preenchidas). Assim, obteve-se o banco de dados operacional composto por **46 municípios e 80 atributos territoriais, abrangendo 26 países**. A figura 12 traz uma síntese das etapas realizadas para a construção do banco de dados. A seguir, estão apresentados os municípios considerados para a análise bem como os atributos definidos (Tabelas 2 e 3). A figura 13 ilustra a localização geográfica dos municípios amostrados, em um mapa mundi.

Figura 12. Síntese das etapas realizadas para a construção do banco de dados do estudo

Fonte: elaboração do autor.

Tabela 2. Municípios selecionados para as análises do estudo

Município	País	Município	País
Berlim	Alemanha	Nova Iorque	EUA
Colônia	Alemanha	Seattle	EUA
Heidelberg	Alemanha	Paris	França
Buenos Aires	Argentina	Amsterdã	Holanda
Melbourne	Austrália	Eindhoven	Holanda
Sydney	Austrália	Groningen	Holanda
Belo Horizonte	Brasil	Budapeste	Hungria
Campinas	Brasil	Ahmedabad	Índia
São Paulo	Brasil	Jakarta	Indonésia
Toronto	Canadá	Jerusalém	Israel
Santiago	Chile	Tel Aviv	Israel
Guangzhou	China	Milão	Itália
Shanghai	China	Torino	Itália
Shenzhen	China	Cidade do México	México
Bogotá	Colômbia	Oslo	Noruega
Cali	Colômbia	Auckland	Nova Zelândia
Medellín	Colômbia	Cracóvia	Polônia
Cairo	Egito	Varsóvia	Polônia
Guayaquil	Equador	Glasgow	Reino Unido
Quito	Equador	Londres	Reino Unido
Barcelona	Espanha	Moscou	Rússia
Madri	Espanha	Singapura	Singapura
Filadélfia	EUA	Gothenburg	Suécia
Los Angeles	EUA		

Fonte: elaboração do autor.

Figura 13. Distribuição geográfica dos municípios amostrados



Fonte: elaboração do autor.

Tabela 3. Variáveis selecionadas para as análises do estudo

Categoria	Significado	Tipo de variável	Escala
Descrição do objeto de estudo	Nome do Município	Descritiva	-
Descrição do objeto de estudo	País em que está localizado o Município	Descritiva	-
Descrição do objeto de estudo	Continente em que está localizado o Município	Descritiva	-
Descrição do objeto de estudo	Hemisfério em que está localizado o Município	Descritiva	-
Demográfico	Idade média da população (em anos)	Contínua	Nacional
Demográfico	Taxa nacional de fertilidade (nascidos vivos por mulher)	Contínua	Nacional
Demográfico	Taxa nacional de mortalidade infantil (por 1.000 nascidos vivos)	Contínua	Nacional
Demográfico	Expectativa de vida feminina ao nascer (em anos)	Contínua	Nacional
Demográfico	Expectativa de vida masculina ao nascer (em anos)	Contínua	Nacional
Demográfico	Parcela de adultos obesos (2016)	Contínua	Nacional
Demográfico	Taxa de crescimento da população nacional (% média anual, 2019)	Contínua	Nacional
Demográfico	Proporção entre os sexos (m por 100 f)	Contínua	Nacional
Demográfico	Taxa de população urbana no país (%)	Contínua	Nacional
Demográfico	Taxa de crescimento da população urbana nacional (% média anual) (2019)	Contínua	Nacional
Demográfico	Taxa média anual de variação da percentagem da população urbana nacional (%) (2015-2020)	Contínua	Nacional
Demográfico	População total municipal	Contínua	Municipal
Físico-espacial	Concentração atmosférica média anual do poluente material particulado 2.5 (2017)	Contínua	Municipal
Físico-espacial	Área total do município (km ²)	Contínua	Municipal
Físico-espacial	Classificação conceitual/estatística de urbanização (ONU)	Nominal	Municipal
Físico-espacial	Densidade populacional municipal	Contínua	Municipal
Físico-espacial	Área total do país	Contínua	Nacional
Físico-espacial	Índice de risco climático (2018)	Contínua	Nacional
Físico-espacial	Área florestal (% da área terrestre)	Contínua	Nacional
Físico-espacial	Número total de municípios no país	Discreta	Nacional
Físico-espacial	Área média de um município no país	Contínua	Nacional
Físico-espacial	Fragmentação territorial (número de municípios a cada 1000 km ² no país)	Contínua	Nacional
Político-cultural	Índice de percepções de corrupção (2019)	Contínua	Nacional
Político-cultural	Parcela de assentos ocupados por mulheres nos parlamentos nacionais (%)	Contínua	Nacional
Político-cultural	Tipo de governo (país) [geral]	Nominal	Nacional
Político-cultural	Tipo de governo (país) [República, Monarquia]	Nominal	Nacional
Político-cultural	Tipo de governo (país) [Presidencialista, Parlamentarista, Semi-Presidencialista]	Nominal	Nacional
Político-cultural	Preço médio nacional do diesel, em USD (2020)	Contínua	Nacional
Político-cultural	Preços nacionais da eletricidade para residências (USD / kWh) (2019)	Contínua	Nacional
Político-cultural	Preço médio nacional da gasolina, em USD (2020)	Contínua	Nacional
Político-cultural	Parcela da eletricidade gerada por fontes renováveis	Contínua	Nacional
Político-cultural	Parcela do Consumo de energia renovável em relação ao consumo total (2015)	Contínua	Nacional

Político-cultural	Pesquisadores por milhão de habitantes (em FTE, <i>Full Time Equivalent</i>)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	IDH do Município (2018)	Contínua	Municipal
Socioeconômico	Índice de Liberdade Econômica (2020)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Tolerância LGBT	Contínua	Municipal
Socioeconômico	Qualidade de vida	Contínua	Municipal
Socioeconômico	Custo de bem-estar associado à mortes prematuras por exposição ao material particulado ambiental, (% equivalente ao PIB, 2017)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Economia: Agricultura (% do Valor Agregado Bruto)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Economia: Indústria (% do Valor Agregado Bruto)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Economia: Serviços e outras atividades (% do Valor Agregado Bruto)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Investimentos do governo em Educação (% do PIB)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Emprego: Agricultura (% dos empregados)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Emprego: Indústria (% dos empregados)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Emprego: Serviços (% dos empregados)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Taxa de crescimento do PIB (% anual)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	PIB per capita, PPC (julho de 2020)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Agricultura	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Edifícios	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Aviação e navegação	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Eletricidade	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Emissões fugitivas	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Indústrias	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Construção & manufatura	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Queima de outros combustíveis	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Média anual de emissões de GEE per capita	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Média anual de emissões de GEE por Transportes per capita	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Transportes	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Resíduos	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Coefficiente de Gini	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Investimentos do governo em Saúde (% do PIB)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Velocidade média da internet no país	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Indivíduos que usam a Internet (a cada 100 habitantes)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Qualidade da infraestrutura portuária	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Investimentos do governo em Pesquisa & Desenvolvimento (% do PIB)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Total anual de chegadas de visitantes nas fronteiras nacionais	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Taxa de desemprego no país (%)	Contínua	Nacional
Socioeconômico	Taxa de desemprego feminino no país (%)	Contínua	Nacional

Transporte / Mobilidade	Grau de eletrificação (participação de ônibus elétricos no total da frota municipal de transporte público)	Contínua	Municipal
Transporte / Mobilidade	Número total de ônibus elétricos na frota municipal de transporte público	Discreta	Municipal
Transporte / Mobilidade	Número total de ônibus na frota municipal de transporte público	Discreta	Municipal
Transporte / Mobilidade	Taxa de motorização: número de veículos motorizados a cada 1.000 pessoas (2014)	Contínua	Nacional
Transporte / Mobilidade	Densidade ferroviária: comprimento da rede ferroviária por área do país (km/km ²)	Contínua	Nacional
Transporte / Mobilidade	Densidade rodoviária: comprimento da rede rodoviária por área do país (km/100 km ²)	Contínua	Nacional
Transporte / Mobilidade	Parcela do Transporte Não Motorizado na divisão modal do município	Contínua	Municipal
Transporte / Mobilidade	Tarifa de ônibus (USD) (<i>single ticket</i>)	Contínua	Municipal
Transporte / Mobilidade	Parcela do Transporte Público na divisão modal do município	Contínua	Municipal
Transporte / Mobilidade	Parcela do Transporte Privado na divisão modal do município	Contínua	Municipal

3.3 TÉCNICAS ANALÍTICAS

Com o banco de dados pronto, o primeiro passo efetivamente analítico do estudo foi **descrever as variáveis**, observando com atenção sua variação através das cidades e suas distribuições estatísticas, dependentes do tipo de dado de cada uma delas. A maioria das variáveis é do tipo **numérica contínua**, expressando tanto quantidades absolutas (contagens de população, frota de ônibus, área territorial, entre outras) como proporções e taxas. Quantidades, em geral, não tem limite superior, iniciando em zero e podendo ir até, teoricamente, infinito, como no caso das populações que têm um mínimo de 160.000 em Heidelberg, na Holanda e 20.850.000 em Shanghai, China. As taxas, por sua vez, são expressas em **percentuais**, sendo quase sempre limitadas a 100% (como no caso dos *share* – participação de cada setor da economia nas emissões de CO₂ totais do país ou do próprio **grau de eletrificação da frota de ônibus**). As **proporções**, por outro lado, são relações entre grandezas, como a relação entre população e área chamada de densidade populacional. Existem ainda os **índices** compostos (IDH, qualidade de vida) e algumas variáveis **nominais** que dividem os dados em **categorias** não numéricas como o continente em que se localiza a cidade ou o tipo de governo do país.

Essa variedade de dados requer atenção quanto ao tipo de análise quantitativa a utilizar, especialmente quando o banco tem uma **amostra pequena de municípios** (46 linhas) e **muitos atributos** para cada um deles (80 colunas). Isso é ainda mais importante quando os atributos apresentam forte **colinearidade**, ou seja, existe alto grau de correlação (linear) entre muitas variáveis.

Assim, as técnicas conhecidas como **multivariadas** se apresentam como um bom caminho analítico, pois trabalham com a ideia de “redução dimensional” das matrizes (tabelas do banco de dados), buscando semelhanças para gerar **agrupamentos** ou explicitar as **estruturas latentes** existentes nos dados, as quais podem representar e/ou substituir as muitas variáveis originais. Esse tipo de técnica estatística basicamente se divide em dois grupos: de **dependência** ou de **interdependência**. No primeiro caso existe um (ou mais) “Y”, ou seja, tem-se a **variável dependente** para a qual procura-se uma explicação a partir das **variáveis independentes** (TRIOLA, 2017; HAIR *et al.*, 2009).

Com as técnicas de interdependência, por outro lado, não se procura a explicação para uma variável a partir das demais, mas sim encontrar a estrutura interna de **relacionamento das**

variáveis entre si, suas possíveis combinações e agrupamentos. Para análise da estrutura interna, destacam-se a **Análise de Componentes Principais (PCA**, em inglês) e a **Análise Fatorial (FA)** como as técnicas recomendadas, pois elas resumem a estrutura de covariância dos dados em um número pequeno de componentes ou fatores que explicam a maior parte da variação, sem perda de informação relevante (HAIR *et al.*, 2009).

Por sua vez, as técnicas de **agrupamento** (“*clustering*”), bastante populares por sua simplicidade e poder explicativo, também prescindem do “Y”, pois basicamente detectam os dados mais próximos entre si e os reúnem, explicitando grupos ou discriminando os dados em **categorias**. É possível agrupar tanto as variáveis (atributos ou colunas da tabela) quanto as observações (casos ou linhas da tabela). No primeiro caso, o resultado é novamente uma redução da quantidade de colunas da matriz de dados, pois os agrupamentos mostram as **variáveis que medem a “mesma coisa”** ou coisas muito semelhantes, permitindo eliminá-las, selecionar apenas uma para representar todo o conjunto de medições ou modelar eventuais relações de dependência utilizando somente esses *constructos* e não o banco inteiro. Já o agrupamento de observações produz uma **tipologia** de casos, ou seja, agrupa os objetos (municípios, neste caso) em função de suas características (todas ou algumas), mostrando os municípios parecidos entre si.

Nas ciências sociais e aplicadas, há certa preferência pelas técnicas de dependência tradicionais, notadamente as **regressões**. A conhecida **regressão linear múltipla** é amplamente utilizada na área, e se apoia na técnica dos mínimos quadrados ordinários (MQO) para estimar seus coeficientes e interpretar e/ou prever valores da variável dependente (resposta) por meio de um conjunto de variáveis independentes (preditoras). No entanto, exatamente por se tratar de uma amostra pequena com muitos atributos com forte colinearidade, essa técnica não é recomendável para o presente estudo.

Para solucionar esses problemas e viabilizar uma análise que simultaneamente extraia componentes dentre os “X” e modele as relações deles com o “Y”, recorre-se à **Regressão PLS – Partial Least Squares – Mínimos Quadrados Parciais**. Essa técnica não é exatamente nova, mas, nos últimos anos, vem se tornando uma ferramenta bastante utilizada em diversas áreas para a modelagem de relações lineares entre medições multivariadas (WOLD *et al.*, 2001; LEWIS-BECK *et al.*, 2004; SAWATSKY *et al.*, 2015).

Assim, os seguintes caminhos foram adotados no estudo quantitativo deste trabalho:

- i. Técnica de agrupamento para visualizar os **municípios semelhantes entre em si** em função de suas características demográficas, socioeconômicas, político-culturais, físico-espaciais, de transportes e mobilidade;
- ii. Correlações e agrupamentos para detectar a colinearidade e a **redundância entre as variáveis**, encontrando as similaridades básicas entre atributos;
- iii. Regressão PLS para modelar a relação de dependência entre o grau de eletrificação (“Y”) e as variáveis, encontrando simultaneamente as **estruturas latentes** que podem ser entendidas como os perfis territoriais.

4. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados gerados a partir do banco de dados construído e dos procedimentos metodológicos apresentados no capítulo 3.

4.1 APRESENTANDO OS MUNICÍPIOS

A partir da coleta e sistematização dos dados, foram selecionadas para o estudo 46 municípios localizados em 26 países. Esta amostra contempla 5 continentes, sendo que a maior participação é de cidades europeias, seguidas de latinas e asiáticas, conforme mostra a tabela 4. A tabela 5, a seguir, apresenta detalhados os números de municípios por países considerados nas análises.

Tabela 4. Amostra de municípios por continentes

Continente	Número de municípios por continente	%
Oceania	3	6,5
América do Norte	5	10,9
Ásia	8	17,4
América Latina	11	23,9
Europa	19	41,3

Fonte: elaboração do autor.

Tabela 5. Amostra de municípios por países

País	Número de municípios por país	Percentual em relação ao total da amostra
Argentina	1	2,2
Canada	1	2,2
Chile	1	2,2
França	1	2,2
Hungria	1	2,2
Índia	1	2,2
Indonésia	1	2,2
México	1	2,2
Noruega	1	2,2
Nova Zelândia	1	2,2
Rússia	1	2,2
Singapura	1	2,2
Suécia	1	2,2
Austrália	2	4,4
Equador	2	4,4

Espanha	2	4,4
Israel	2	4,4
Itália	2	4,4
Polônia	2	4,4
Reino Unido	2	4,4
Alemanha	3	6,5
Brasil	3	6,5
China	3	6,5
Colômbia	3	6,5
Holanda	3	6,5
EUA	4	8,7

Fonte: elaboração do autor.

Cabe reforçar que o número de municípios por país não tem peso direto sobre as análises estatísticas geradas – isto é, o fato de quatro municípios norte-americanos comporem a amostra do estudo não envies as análises ou exerce maior peso sobre os resultados do que um município mexicano ou um chileno. A variação regional dos casos de estudo é o que está sob investigação, sendo apreciadas as diferentes configurações dos sistemas sociotécnicos que predominam neste ou naquele território.

4.2 APRESENTANDO OS ATRIBUTOS X – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

As variáveis selecionadas para compor o banco de dados da pesquisa foram agrupadas em cinco categorias, relacionadas aos seguintes temas:

- i. Atributos demográficos;
- ii. Atributos físico-espaciais;
- iii. Atributos político-culturais;
- iv. Atributos socioeconômicos;
- v. Transportes e mobilidade.

Essa divisão por blocos permitiu conduzir explorações estatísticas iniciais que levaram a um entendimento mais claro sobre o que as informações revelam a partir de suas variações geográficas. Assim, antes de buscar identificar padrões entre cidades ou associações entre as variáveis explicativas e o grau de eletrificação (variável-resultado deste estudo), esta seção apresenta de que forma variam os atributos quantitativamente entre os municípios da amostra.

4.2.1 Bloco de atributos demográficos

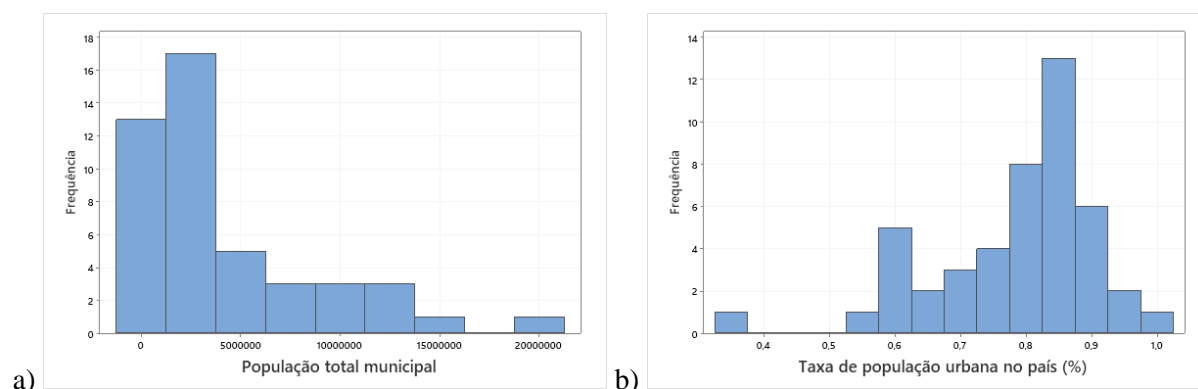
Neste bloco são apresentados atributos referentes a características **demográficas** dos casos de estudo analisados. A partir deles, busca-se caracterizar e comparar os sistemas sociotécnicos estabelecidos nos territórios em termos de tamanho e crescimento da população, parcela de cidadãos que reside em áreas urbanas, entre outros.

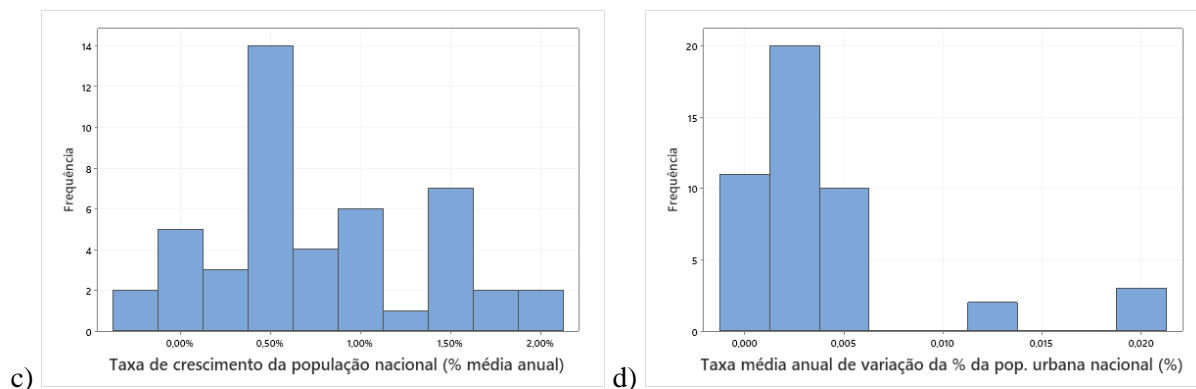
Tabela 6. Estatísticas descritivas dos atributos demográficos

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Idade média da população (em anos)	38,10	5,70	27,90	38,40	47,30
Taxa nacional de fertilidade (nascidos vivos por mulher)	1,83	0,43	1,20	1,80	3,00
Taxa nacional de mortalidade infantil (por 1.000 nascidos vivos)	8,18	7,18	2,10	4,50	39,10
Expectativa de vida feminina ao nascer (em anos)	81,00	3,48	69,00	81,70	85,30
Expectativa de vida masculina ao nascer (em anos)	75,79	4,13	64,60	76,50	80,30
Parcela de adultos obesos (%) (2016)	0,23	0,08	0,04	0,22	0,36
Taxa de crescimento da população nacional (% média anual, 2019)	0,01	0,01	-0,00	0,01	0,02
Proporção entre os sexos (m por 100 f)	98,18	4,07	86,40	97,60	109,80
Taxa de população urbana no país (%)	0,79	0,13	0,34	0,81	1,00
Taxa de crescimento da população urbana nacional (média anual, 2019)	0,01	0,01	-0,00	0,01	0,03
Taxa média anual de variação da porcentagem da população urbana nacional (%) (2015-2020)	0,00	0,01	-0,00	0,00	0,02
População total municipal	4.321.478	4.624.270	161.000	2.506.035	20.850.000

Fonte: elaboração do autor.

Figura 14. Histogramas principais do bloco de atributos demográfico





Fonte: elaboração do autor.

Na Figura 14, observa-se que a **população total dos municípios** amostradas (a) segue uma distribuição altamente assimétrica, com muitos valores pequenos e poucos valores muito grandes – curva genericamente conhecida como *powerlaw* (“lei de potência”), semelhante às conhecidas “distribuição de Pareto” e a “Lei de Zipf”. Já a **taxa de população urbana** (b) dos países analisados revela valores elevados e com menor variação entre a amostra - em média, 79% da população total dos países selecionados residem em áreas urbanas.

As taxas de **crescimento populacional nacionais** (c) são praticamente normais, com média em torno de 0,8% para o ano de 2019 (a taxa de crescimento anual da população para o ano 2019 é a taxa exponencial de crescimento da população no meio do ano de 2018 até 2019, expressa como uma porcentagem; WB, 2020). Já o **crescimento da população urbana** (d) também apresenta muitos valores pequenos e poucos valores muito grandes, com média de variação da porcentagem da população urbana nacional entre os anos de 2015 a 2020 de 0,4%.

4.2.2 Bloco de atributos físico-espaciais

Neste bloco são apresentados atributos referentes a características **físico-espaciais** dos casos de estudo analisados. A partir deles, busca-se caracterizar e comparar os sistemas sociotécnicos estabelecidos nos territórios em termos de área, densidade populacional, fragmentação territorial, entre outros.

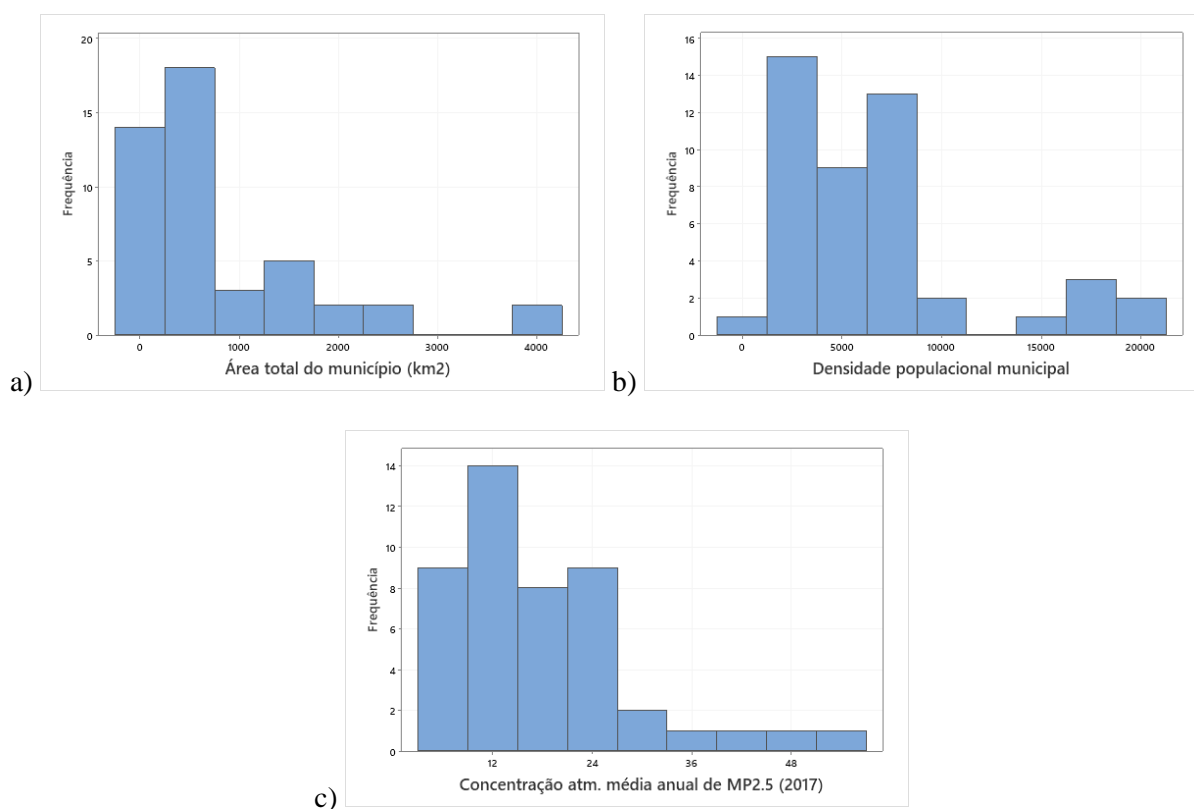
Tabela 7. Estatísticas descritivas dos atributos físico-espaciais

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Área total do município (km ²)	825	930	78	494	4000
Densidade populacional municipal	6686	5016	252	5551,14	20754
Área total do país	3330366	4351925	710,00	576253	17098242
Índice de risco climático (2018)	57,41	27,25	13,83	51,34	125,00

Concentração atmosférica de material particulado 2.5 (média anual, 2017)	17,88	10,93	4,90	14,95	54,90
Área florestal (% da área terrestre)	0,32	0,16	0,08	0,33	0,69
Número total de municípios no país	6293	10907	24	1102	35879
Área média de um município no país	3956	8630	18	670	33129
Fragmentação territorial (número de municípios a cada 1000 km ² no país)	8,83	12,83	0,03	1,50	54,58

Fonte: elaboração do autor.

Figura 15. Histogramas principais do bloco de atributos físico-espaciais



Fonte: elaboração do autor.

As **áreas municipais** da amostra apresentam uma distribuição assimétrica, com a maioria das cidades tendo áreas de até 750 km² e outras chegando a 4.000 km² (a). A distribuição dos valores de **densidade municipal** também não é uniforme, uma vez que um grande grupo de cidades registra valores entre 2.500 e 7.500 hab/km², enquanto outro grupo menor apresenta valores de 18.000 hab/km², aproximadamente. Isso atribui à amostra selecionada uma variabilidade relevante em termos de configurações físico-espaciais.

A **concentração atmosférica de material particulado 2.5** (c) apresenta variação razoavelmente uniforme entre as cidades analisadas, até cerca de 30 µg/m³. Grande parte dos casos de estudo possui médias anuais de concentração deste poluente que variam entre 5 e 25

$\mu\text{g}/\text{m}^3$. Não obstante, há cidades com valores acima de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - o que aponta para diferentes condições ambientais entre as cidades investigadas.

4.2.3 Bloco de atributos político-culturais

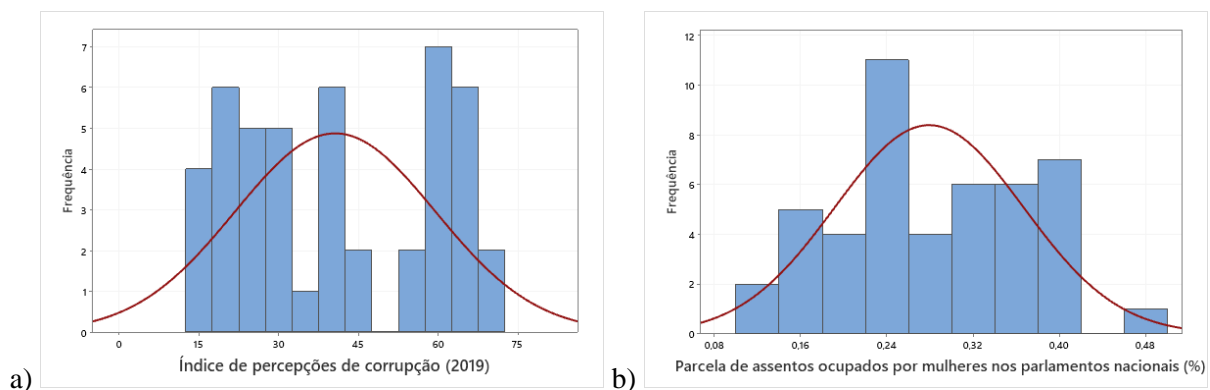
Neste bloco são apresentados atributos referentes a características **político-culturais** dos casos de estudo analisados. A partir deles, busca-se caracterizar e comparar os sistemas sociotécnicos estabelecidos nos territórios em termos de índices de corrupção, preços de combustíveis e energia praticados, participação de energias renováveis, entre outros.

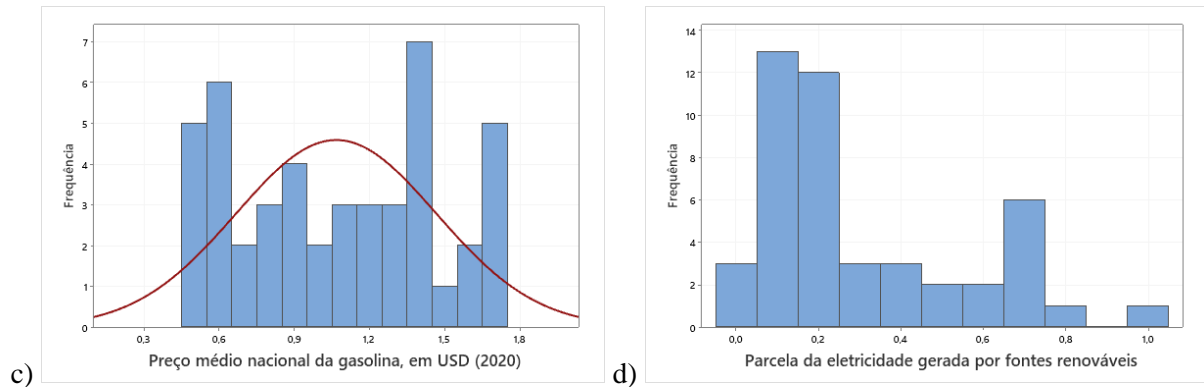
Tabela 8. Estatísticas descritivas dos atributos político-culturais

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Índice de percepções de corrupção (2019)	40,61	18,82	13,00	39,00	72,00
Parcela de assentos ocupados por mulheres nos parlamentos nacionais (%)	0,28	0,09	0,12	0,28	0,48
Preço médio nacional do diesel, em USD (2020)	0,97	0,37	0,27	0,84	1,58
Preços nacionais da eletricidade para residências (USD / kWh) (2019)	0,17	0,07	0,06	0,16	0,35
Preço médio nacional da gasolina, em USD (2020)	1,07	0,40	0,49	1,06	1,72
Parcela da eletricidade gerada por fontes renováveis	0,32	0,25	0,02	0,24	0,98
Parcela do Consumo de energia renovável em relação ao consumo total (2015)	0,18	0,14	0,01	0,14	0,58
Pesquisadores por milhão de habitantes (em FTE, <i>Full Time Equivalent</i>)	2961	2232	89	2876	8255

Fonte: elaboração do autor.

Figura 16. Histogramas principais do bloco de atributos político-culturais





Fonte: elaboração do autor.

Observa-se que, via de regra, a distribuição dos atributos político-culturais para os territórios amostrados apresenta certa simetria, com casos relativamente bem distribuídos entre o intervalo de valores registrados. Isso reforça a variabilidade geográfica dos contextos territoriais selecionados para análise – princípio inicialmente proposto por esta pesquisa.

Para o **índice de percepções de corrupção** (a) nota-se que um grande número de casos se concentra em valores baixos (que variam entre 12 e 42) e outro grupo de cidades aparece próximo à um valor médio de 62. Quanto à **parcela de assentos ocupados por mulheres nos parlamentos nacionais** (b), a distribuição dos casos também é razoavelmente uniforme, indicando que a amostra é variada entre si – e, portanto, variável geograficamente.

O **preço médio nacional da gasolina** (c) segue uma distribuição altamente simétrica, com valores que variam entre 0,49 e 1,72 dólares americanos (USD), e com média de 1,07 USD. Já a **parcela da eletricidade gerada por fontes renováveis** (d) lembra uma curva de distribuição do tipo normal, mais achatada, com valor médio de 32% para a amostra analisada. Apesar de um pico ser observado para o valor de 15%, o restante dos casos encontra-se bem distribuído no intervalo de valores.

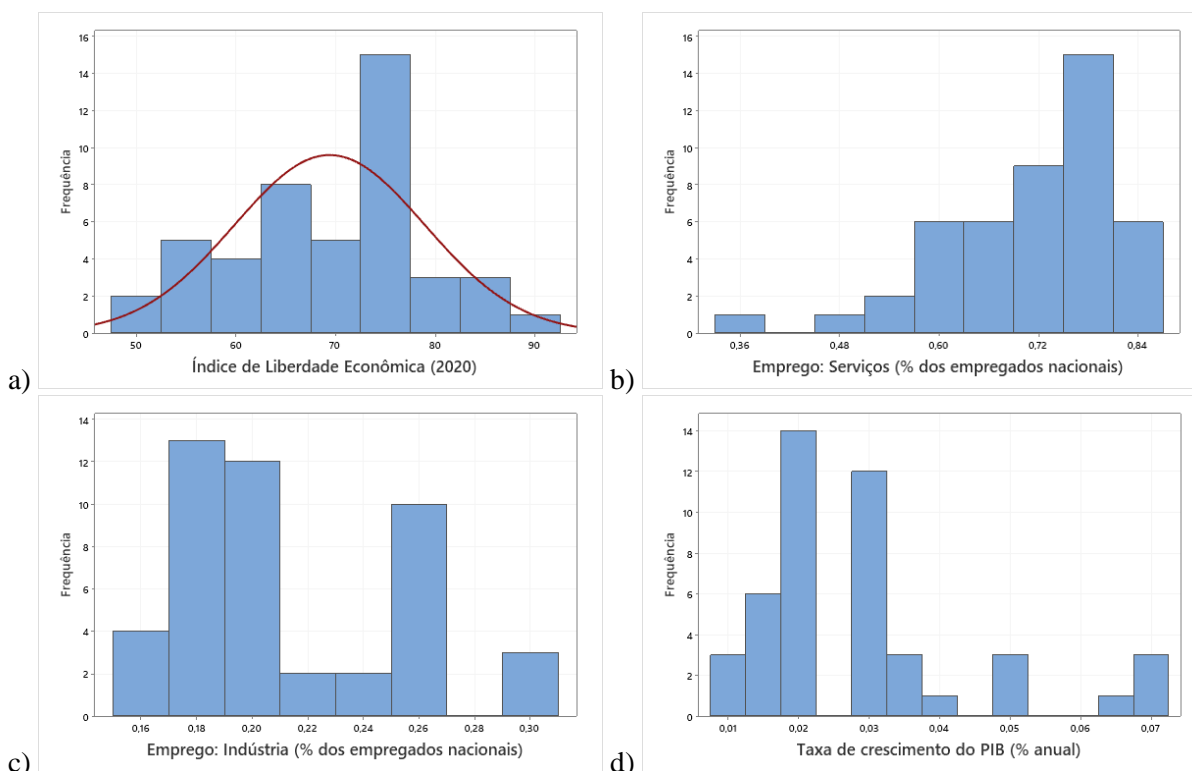
4.2.4 Bloco de atributos socioeconômicos

Neste bloco são apresentados atributos referentes a características **socioeconômicas** dos casos de estudo analisados. A partir deles, busca-se caracterizar e comparar os sistemas sociotécnicos estabelecidos nos territórios em termos de atividade econômica, desenvolvimento, riqueza e desigualdade, além de emissões de gases de efeito estufa, entre outros. Devido ao grande número de variáveis deste bloco, as análises apresentam-se divididas em três subgrupos: atividade econômica, emissões de GEE e desenvolvimento social.

Tabela 9. Estatísticas descritivas dos atributos socioeconômicos – atividade econômica

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Índice de Liberdade Econômica (2020)	69,39	9,56	51,30	69,20	89,40
Economia: Agricultura (% do Valor Agregado Bruto)	0,04	0,04	0,00	0,03	0,17
Economia: Indústria (% do Valor Agregado Bruto)	0,27	0,07	0,18	0,25	0,41
Economia: Serviços e outras atividades (% do Valor Agregado Bruto)	0,69	0,09	0,45	0,72	0,81
Emprego: Agricultura (% dos empregados)	0,08	0,09	0,00	0,04	0,41
Emprego: Indústria (% dos empregados)	0,21	0,04	0,16	0,19	0,31
Emprego: Serviços (% dos empregados)	0,71	0,11	0,35	0,72	0,84
Taxa de desemprego no país (%)	0,09	0,05	0,02	0,09	0,23
Taxa de desemprego feminino no país (%)	1,11	0,25	0,78	1,04	1,66
Taxa de crescimento do PIB (% anual)	0,03	0,02	0,01	0,03	0,07
PIB per capita, PPC (julho de 2020)	38071	20023	7763	39919	101531
Qualidade da infraestrutura portuária	4,89	0,97	3,10	4,80	6,80
Total anual de chegadas de visitantes nas fronteiras nacionais (*1000)	29.184	27.794	39,3	17.924	86.861

Fonte: elaboração do autor.

Figura 17. Histogramas principais de atributos socioeconômicos – atividade econômica

Fonte: elaboração do autor.

Para o **índice de liberdade econômica** (a), nota-se uma curva de distribuição relativamente simétrica, sendo que um terço dos casos estão concentrados no valor de 75. A média geral de valor 69,4 para esse atributo aponta que a amostra, via de regra, tem elevada liberdade econômica. Além disso, os casos investigados apresentam elevada **participação de**

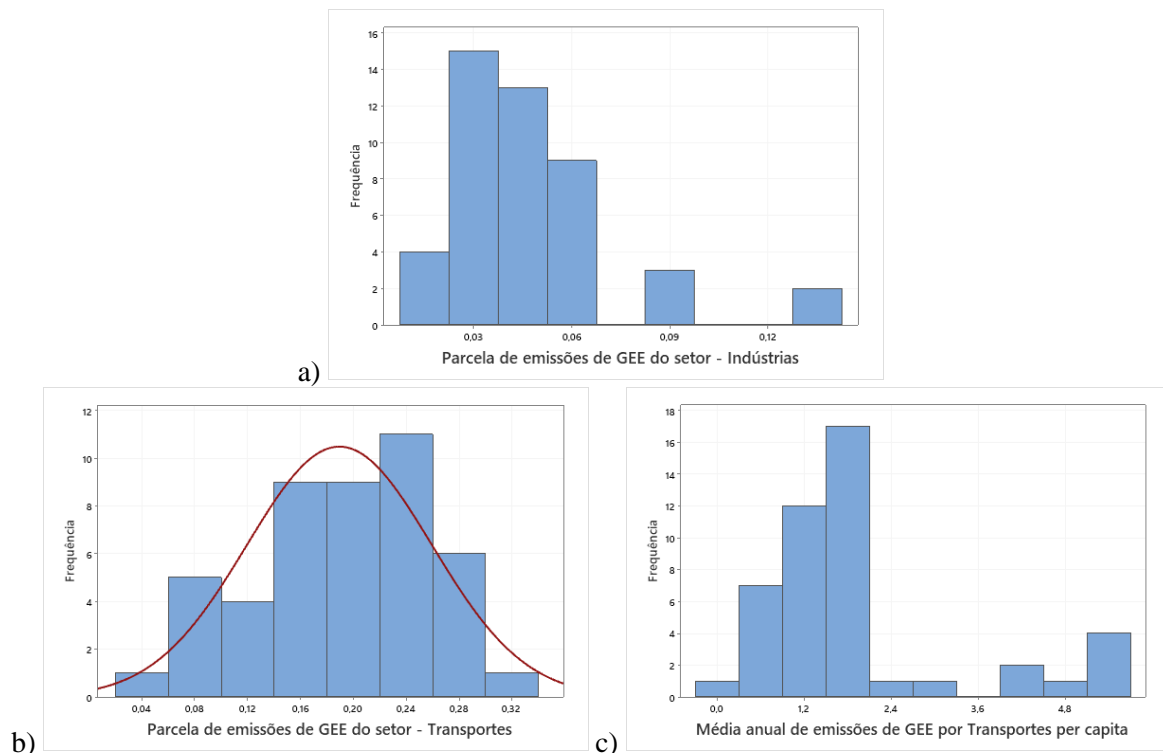
empregos no setor de serviços (b), em média 71% dos empregos registrados nos países analisados. Em contraste, a **participação do setor industrial no valor agregado bruto total** dos países (c) registra média de 27%, com a maioria dos casos concentrados em valores entre 18 e 24%. A **taxa de crescimento do PIB** (d) segue uma distribuição assimétrica, com muitos valores pequenos que variam entre 1,5 e 3%, e poucos valores muito grandes, de aproximadamente 7%.

Tabela 10. Estatísticas descritivas dos atributos socioeconômicos – emissões de GEE

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país:					
Agricultura	0,15	0,13	<0,01	0,10	0,51
Edifícios	0,07	0,05	<0,01	0,06	0,17
Aviação e navegação	0,06	0,12	<0,01	0,03	0,73
Eletricidade	0,28	0,11	0,07	0,29	0,43
Emissões fugitivas	0,04	0,05	<0,01	0,02	0,29
Indústrias	0,05	0,03	0,02	0,04	0,14
Construção & manufatura	0,09	0,04	0,05	0,08	0,24
Queima de outros combustíveis	0,03	0,01	<0,01	0,03	0,05
Transportes	0,19	0,07	0,03	0,19	0,34
Resíduos	0,05	0,04	0,01	0,03	0,17
Média anual de emissões de GEE per capita (tonCO ₂ /hab)	10,82	7,43	2,36	8,66	42,44
Média anual de emissões de GEE por Transportes per capita	1,95	1,39	0,20	1,72	5,30

Fonte: elaboração do autor.

Figura 18. Histogramas principais de atributos socioeconômicos – emissões de GEE



Fonte: elaboração do autor.

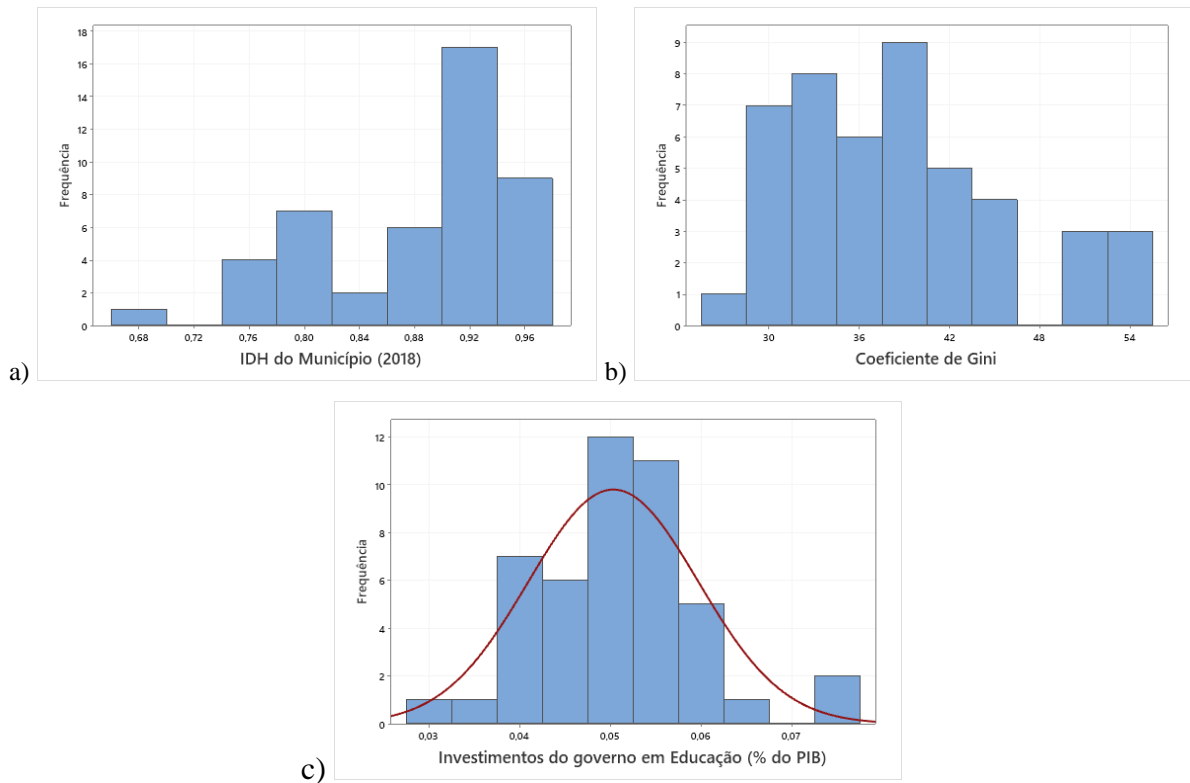
Aqui é interessante observar que, embora a participação do setor industrial no valor agregado bruto total dos países registra média de 27%, o histograma da **parcela de emissões de GEE do setor de indústria em relação ao total do país** (a) revela baixos valores entre a amostra considerada, com participação média de 5% no total de emissões de GEE geradas pelos países. Embora alguns casos registrem 9 e 14%, não há muita variação entre a amostra.

Quanto a **parcela de emissões de GEE do setor de transportes em relação ao total do país** (b), a distribuição é relativamente simétrica, com valores bem distribuídos e com participação média de 19% no total de emissões de GEE geradas pelos países. É interessante observar como, apesar da amostra apresentar valores próximos e consideravelmente regulares para esse atributo (histograma b), **as médias anuais de emissões de GEE por transportes per capita** (c) estão distribuídas assimetricamente, com a maior parte da amostra concentrada em um valor médio de 1,7 toneladas de CO_{2eq} por habitante, mas também com alguns casos registrando cerca de 5 tonCO_{2eq}/hab. Esse comportamento está diretamente relacionado aos padrões de mobilidade (sistemas e regimes sociotécnicos) estabelecidos em cada território (infraestruturas existentes, tecnologias implementadas, políticas estabelecidas), bem como o tamanho da sua população, seu nível de desenvolvimento socioeconômico e sua cultura (costumes, crenças e estilos de vida).

Tabela 11. Estatísticas descritivas dos atributos socioeconômicos – desenvolvimento social

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
IDH do Município (2018)	0,88	0,07	0,67	0,91	0,97
Tolerância LGBT	7,11	2,33	2,70	7,75	10,00
Qualidade de vida	8,10	1,15	4,40	8,35	9,80
Custo de bem-estar associado a mortes prematuras por exposição ao material particulado ambiental, (% equivalente ao PIB, 2017)	0,03	0,02	0,01	0,03	0,07
Coeficiente de Gini	38,10	7,36	27,00	37,65	53,90
Investimentos do governo em Educação (% do PIB)	0,05	0,01	0,03	0,05	0,08
Investimentos do governo em Saúde (% do PIB)	0,09	0,03	0,03	0,09	0,17
Investimentos do governo em Pesquisa & Desenvolvimento (% do PIB)	0,06	0,11	<0,01	0,02	0,50
Velocidade média da internet no país	12.490	5.126	5.523	12.610	23.539
Indivíduos que usam a Internet (a cada 100 habitantes)	0,77	0,15	0,34	0,82	0,96

Fonte: elaboração do autor.

Figura 19. Histogramas principais de atributos socioeconômicos – desenvolvimento social

Fonte: elaboração do autor.

Os histogramas principais do bloco de atributos socioeconômicos relativos ao desenvolvimento social revelam que as cidades analisadas apresentam elevados valores de **Índice de Desenvolvimento Humano** (a), com média de 0,88, sendo que a maioria dos casos se concentra no intervalo de valores entre 0,88 e 0,97. O **Coeficiente de Gini** (b) apresenta uma distribuição relativamente bem distribuída, com a maioria dos valores variando entre 30 e 40 – o que indica, em geral, baixa desigualdade na distribuição de renda nos casos da amostra. Alinhado a esses resultados, os **Investimentos dos governos em Educação (parcela do PIB)** (c) apresenta pouca variação em relação ao valor médio (de 5%), revelando que 89% da amostra investe entre 4 e 6% do seu PIB na Educação.

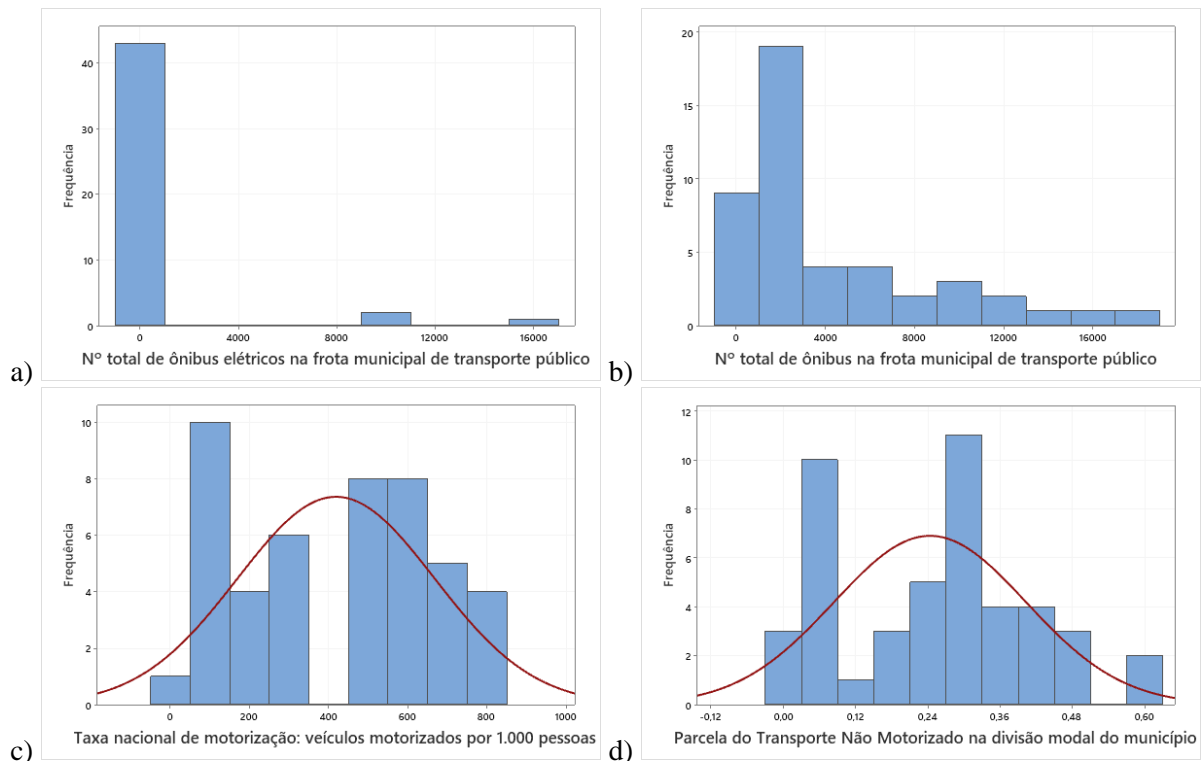
4.2.5 Bloco de atributos de Transportes e Mobilidade

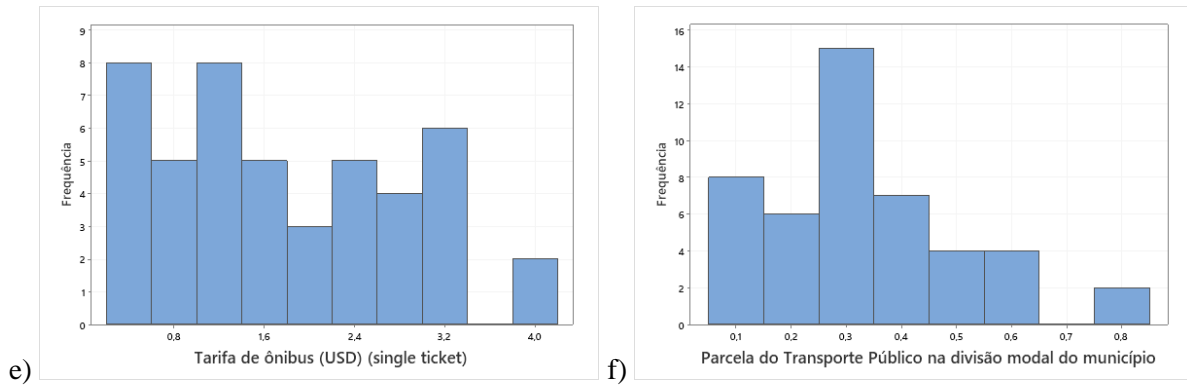
Neste bloco são apresentados atributos referentes aos **transportes e mobilidade** dos casos de estudo analisados. A partir deles, busca-se caracterizar e comparar os sistemas societécnicos estabelecidos nos territórios em termos de frotas veiculares, infraestruturas existentes, divisão modal municipal, entre outros.

Tabela 12. Estatísticas descritivas dos atributos de transportes e mobilidade

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Número total de ônibus elétricos na frota municipal de transporte público	846	3102	1	23	16359
Número total de ônibus na frota municipal de transporte público	4140	4528	197	1955	17000
Taxa de motorização: número de veículos motorizados a cada 1.000 pessoas (2014)	418,7	249,2	18	519,5	797
Densidade ferroviária: comprimento da rede ferroviária por área do país (km/km ²)	0,04	0,05	0,00	0,02	0,32
Densidade rodoviária: comprimento da rede rodoviária por área do país (km/100 km ²)	103,7	106,3	6,4	66,7	480,6
Parcela do Transporte Não Motorizado na divisão modal do município	0,24	0,16	0,01	0,27	0,61
Tarifa municipal de ônibus (USD) (<i>single ticket</i>)	1,70	1,07	0,26	1,60	3,90
Parcela do Transporte Público na divisão modal do município	0,32	0,18	0,05	0,29	0,83
Parcela do Transporte Privado na divisão modal do município	0,42	0,20	0,16	0,34	0,85

Fonte: elaboração do autor.

Figura 20. Histogramas principais do bloco de atributos de transportes e mobilidade



Fonte: elaboração do autor.

O número total de ônibus *elétricos* que realizam o transporte público nas cidades amostradas apresenta uma distribuição extremamente assimétrica (a), com três blocos concentrados de valores. No primeiro bloco aparecem 93% das cidades analisadas, cada qual com menos de 500 ônibus elétricos nos seus sistemas de transporte público; ainda, 32 das 46 cidades analisadas (isto é, 70% da amostra) têm até 50 unidades desse tipo de veículo nas suas frotas municipais. Interpretar essa variável isoladamente, contudo, pode levar a conclusões precipitadas e superficiais – por isso a necessidade de associar estes valores com os números totais de ônibus municipais (para entender o grau de penetração desta tecnologia) e os demais atributos territoriais (para detectar relações, influências e padrões), a fim de descobrir como essas transições variam geograficamente.

O número total de ônibus na frota municipal de transporte público (b) também apresenta uma distribuição assimétrica, com a maior parte das cidades (61%) tendo até 3.000 ônibus públicos. Essa informação agora permite estabelecer algumas inferências preliminares, ainda que com pouca segurança estatística: via de regra, esse retrato estático (no espaço e no tempo) das cidades amostradas aponta que a transição sustentável em estudo se encontra em estágio inicial. Há, contudo, casos em que a participação dos ônibus elétricos no transporte municipal parece ser bastante expressiva (o que seriam os chamados “*outliers*”). Essas constatações iniciais serão exploradas em maiores detalhes nas próximas seções e resultarão em contribuições importantes e inéditas ao campo de estudo.

Os histogramas (c) e (d) apresentam as curvas de distribuições para as variáveis “**Taxa de motorização**” e “**Parcela do Transporte Não Motorizado na divisão modal do município**”, respectivamente. Observam-se distribuições consideravelmente simétricas, com a maioria dos casos concentrados próximos aos valores médios, o que lembra curvas do tipo

normal. Já os histogramas (e) e (f) ilustram as distribuições para as variáveis “**Tarifa municipal de ônibus**” e “**Parcela do Transporte Público na divisão modal do município**”, respectivamente. É interessante notar que não há predominância de um ou outro valor de tarifa municipal entre os casos amostrados – isto é, as amostras deste atributo variam quase que uniformemente no intervalo de 0,2 a 3,4 USD. Ainda, o transporte público, via de regra, tem importante participação na divisão modal da maioria dos municípios – 32%, em média.

4.2.6. Síntese

As variáveis que compõem o banco de dados da pesquisa foram divididas em cinco categorias e permitiram caracterizar e comparar os sistemas sociotécnicos estabelecidos nos territórios selecionados. Os atributos demográficos revelam que a maioria dos municípios amostrados tem até **4 milhões de habitantes** e estão inseridas em países que tiveram uma taxa de crescimento médio da população de 0,8% em 2019, sendo a população nacional **predominantemente urbana** (79%, em média). Ainda, são municípios com áreas de **até 750 km²** e com valores de densidade populacional que variam entre 2.500 e 7.500 hab/km², em sua grande maioria. Não obstante, há casos que variam entre 15.000 e 20.000 hab/km².

Em termos político-culturais, a amostra aparece **dividida quanto ao índice de corrupção**, sendo que um grupo ficou concentrado próximo ao valor de 22, enquanto outro ao de 62. Os casos selecionados apresentam **variadas participações de mulheres nos assentos dos parlamentos nacionais** (28% em média, mas variando de 12 a 48%). Já para a parcela de eletricidade gerada por fontes renováveis, a maior parte da amostra registra valores próximos à 15%, embora o valor médio estimado foi de 32%.

A amostra se caracteriza por **índices de liberdade econômica diversos**, com valores que variam de 50 a 90 e com predominância da **população empregada no setor de serviços** (71%, em média). Os territórios analisados diferem quanto à participação do setor industrial no valor agregado bruto nacional: um grupo se concentra próximo ao valor de 21%, outro ao de 33% e um terceiro ao de 41%. **A taxa de crescimento do PIB também segue uma distribuição assimétrica**, com muitos valores pequenos que variam entre 1,5 e 3%, e poucos valores muito grandes, de aproximadamente 7%.

Embora a participação do setor industrial no valor agregado bruto total dos países registra média de 27%, a parcela de emissões de GEE do setor de indústria em relação ao total do país é baixa, com participação média de 5% no total de emissões de GEE dos países. Por

outro lado, a parcela de **emissões geradas pelo setor de transportes** tem importante participação: 19%, em média. As médias anuais de emissões de GEE por transportes per capita estão distribuídas assimetricamente, com a maior parte da amostra concentrada em um valor médio de 1,7 toneladas de CO_{2eq} por habitante, mas também com casos registrando aproximadamente 5 tonCO_{2eq}/hab.

Os municípios analisados apresentam **elevados Índices de Desenvolvimento Humano**, com a maioria dos casos apresentando valores entre 0,88 e 0,97. A amostra também se caracteriza por **baixa desigualdade na distribuição de renda** (com a maioria dos valores de Coeficiente de Gini variando entre 30 e 40) e por 89% dos países amostrados investindo entre 4 e 6% do seu PIB em Educação.

Quanto às taxas nacionais de motorização, a amostra se divide em dois grupos: o primeiro se concentra próximo ao valor de 200 (veículos motorizados a cada 1.000 pessoas) e o segundo, ao de 650. A maior parte das cidades investigadas (61%) tem **até 3.000 ônibus na sua frota municipal de transporte público**, mas existem casos que passam de 15.000. Ainda, 70% da amostra conta com **até 50 ônibus elétricos** nos seus sistemas de transporte público. A divisão modal da maioria dos municípios conta com **importante participação do transporte público** – 32%, em média, sendo que os valores das tarifas municipais de ônibus variam quase que uniformemente no intervalo de 0,2 a 3,4 USD.

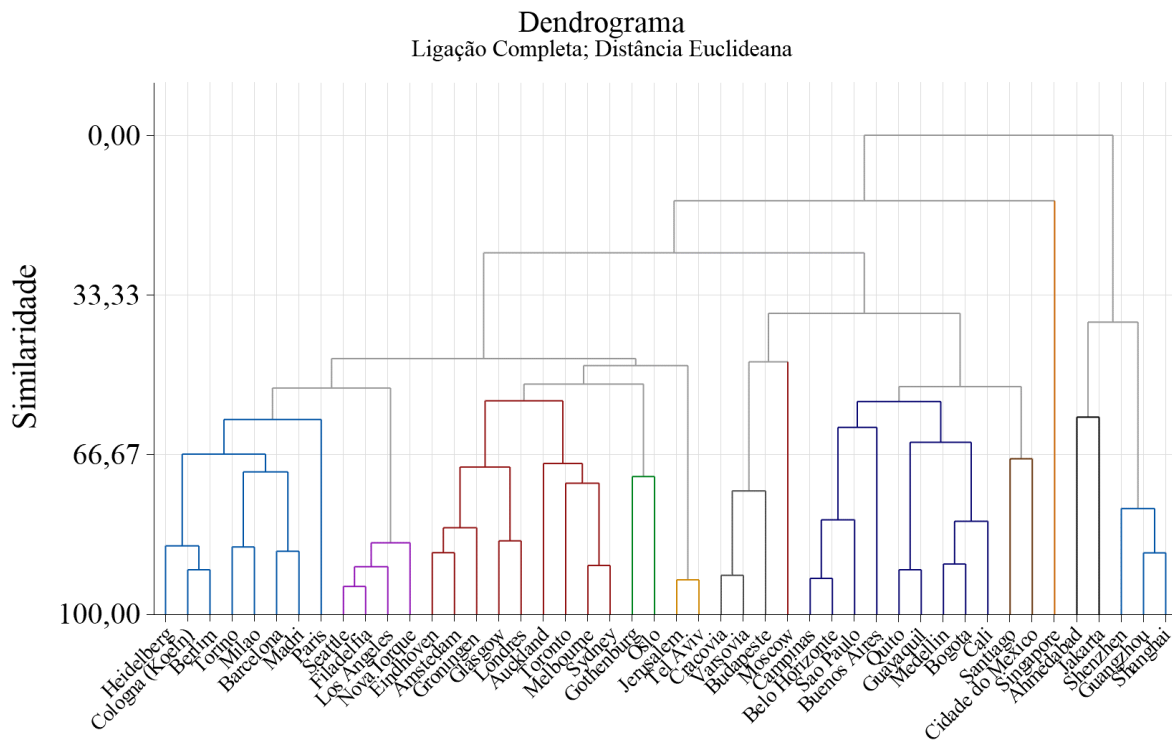
4.3 AGRUPANDO OS MUNICÍPIOS

Conhecidos os atributos, voltamos à análise geográfica da seção 4.1 e conduzimos uma **Análise de Agrupamentos** (*Clustering Analysis*) dos casos, utilizando todos os atributos X para verificar a proximidade entre os municípios e como eles se agrupam entre si.

Como visto na metodologia, essa é uma **técnica multivariada de interdependência** que agrupa os casos tomando seus coeficientes de correlação como medida de **distância** estatística entre eles, fazendo com que objetos dentro de um mesmo *cluster* tenham maior probabilidade de aparecer juntos do que em relação aos demais. Aqui foi utilizada a especificação “ligação completa”, que é baseada na avaliação da máxima distância entre dois objetos de diferentes agrupamentos (HAIR *et al.*, 2009).

É um procedimento **hierárquico**, que pode ser visualmente representado por um *dendrograma* ou “diagrama de árvore”, como na Figura 21, a seguir. Observando-a de baixo para cima (na ordem decrescente dos valores de **Similaridade** do eixo vertical), cada município inicia sozinho e vai sendo progressivamente amalgamado com outros, gerando grupos que também se combinam à medida que a similaridade vai diminuindo. No limite superior, todos formam um único grupo.

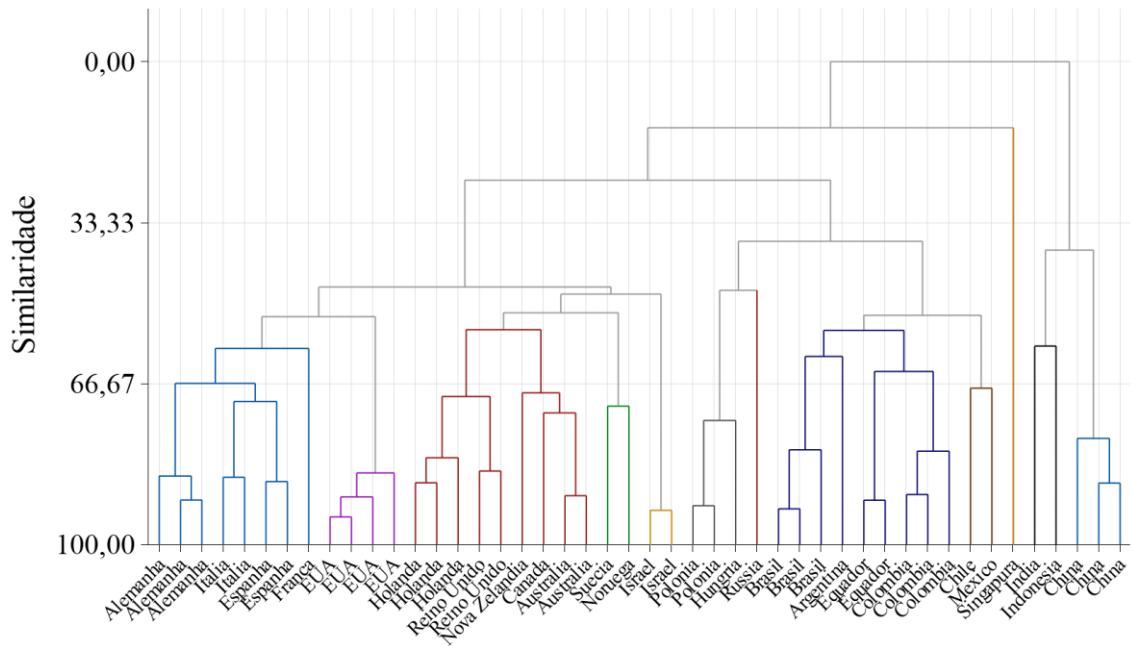
Figura 21. Agrupamento estatístico dos casos amostrados - Municípios



Fonte: elaboração do autor.

Apresentando cada município legendado com seu nome torna a visualização um pouco confusa e a interpretação trabalhosa. Portanto, as figuras a seguir apresentam o mesmo resultado com os municípios legendados por país (Figura 22) e por continente (Figura 23).

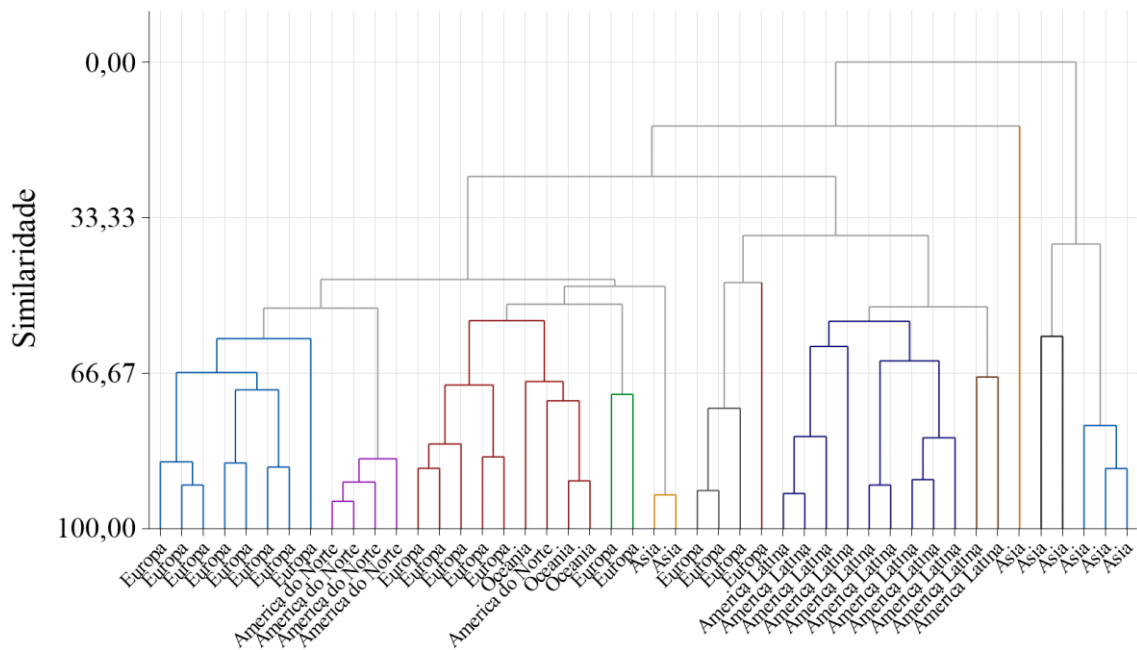
Figura 22. Agrupamento estatístico dos casos amostrados - Países



Fonte: elaboração do autor.

Legendando as cidades por país, percebe-se uma aproximação “natural” dos casos de estudo que compartilham de sistemas e regimes sociotécnicos bastante similares, localizados dentro de uma mesma delimitação espacial geográfica (“país”).

Figura 23. Agrupamento estatístico dos casos amostrados – Continentes



Fonte: elaboração do autor.

A partir da nomeação por continentes, nota-se que a relação entre escalas espaciais segue uma lógica (“**variações geográficas**” e “**padrões**”), uma vez que os casos continuam aproximados segundo afinidades e perfis territoriais (“**sistemas e regimes sociotécnicos**”). Portanto, pode-se inferir que, com algum grau de similaridade (e confiança), os sistemas e regimes sociotécnicos que configuram os territórios em nível *municipal* também configuram os territórios em nível *nacional* e *continental*. Ou seja, esses elementos *municipais* não apenas configuram perfis territoriais (singulares) como também conformam padrões geográficos (agregados). O dendrograma acima mostra que, em torno de 50% de similaridade, define-se com grande clareza o agrupamento continental.

4.4 APRESENTANDO O ATRIBUTO Y – VARIÁVEL-RESPOSTA

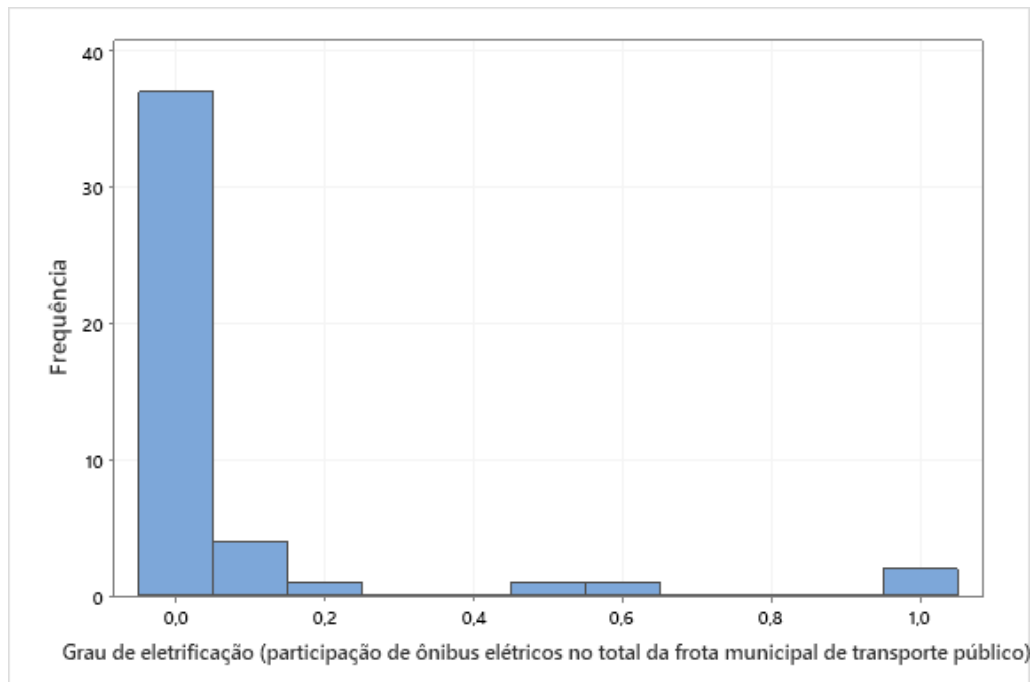
O atributo que recebe especial atenção neste trabalho é o chamado “grau de eletrificação”. Ele se refere à participação de ônibus elétricos no total da frota de ônibus que realizam o transporte público municipal. Esta variável é considerada indicador do avanço da transição rumo à mobilidade de baixo carbono e será relacionada aos demais dados coletados e constructos gerados estatisticamente.

A tabela 13 abaixo revela que, para as 46 cidades analisadas, o valor médio para o grau de eletrificação de frotas de ônibus municipais é de 8,9%. Em outras palavras, equivale a dizer que a cada 100 ônibus que realizam o transporte público, aproximadamente nove seriam elétricos. É preciso notar, contudo, que essa distribuição não é uniforme, sendo que a maioria das cidades conta com graus de eletrificação abaixo deste valor (Figura 24).

Tabela 13. Estatística descritiva do grau de eletrificação, amostra global

Variável	Contagem	Média	DesvPad	Variância	Mediana	Máximo
Grau de eletrif.	46	8,90%	22,40%	5,02%	1,78%	100%

Fonte: elaboração do autor.

Figura 24. Histograma do grau de eletrificação da amostra global de municípios

Fonte: elaboração do autor.

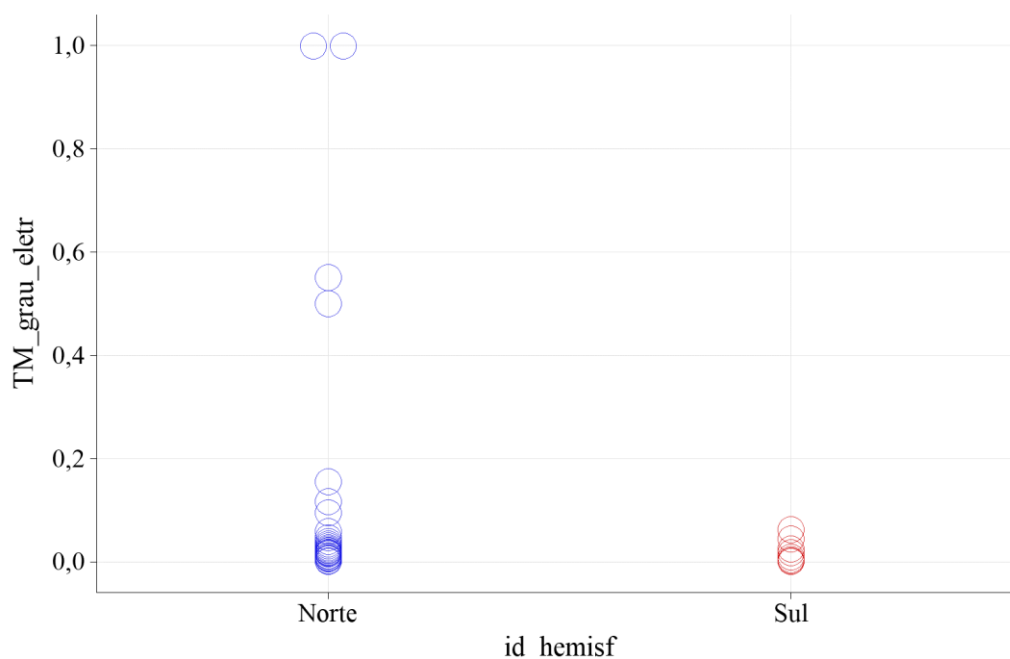
O que se vê na figura acima é uma distribuição altamente assimétrica, com três blocos concentrados de valores e dois intervalos entre eles. Entre 0,2% e 20% se encontram cerca de 90% cidades da amostra, depois há uma dupla entre 50% e 60% e, finalmente, as duas cidades chinesas que possuem frotas totalmente eletrificadas (Shenzhen e Guangzhou).

Portanto, cabe observar como variam os valores geograficamente. A tabela 14 e figura 25 apresentam os dados de grau de eletrificação por hemisfério.

Tabela 14. Estatística descritiva do grau de eletrificação por hemisfério dos municípios

Hemisfério	Contagem	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Norte	33	0,1189	0,2592	0,0002	0,0217	1,0000
Sul	13	0,0130	0,0197	0,0003	0,0020	0,0618

Fonte: elaboração do autor.

Figura 25. Gráfico de valores do grau de eletrificação por hemisfério dos municípios

Fonte: elaboração do autor.

Via de regra, o hemisfério norte apresenta maior participação de ônibus elétricos nas suas frotas de ônibus municipais, nas cidades selecionadas (em média, 11,9% de eletrificação no Norte vs 1,3% no Sul). Um teste de diferença de médias entre os hemisférios norte e sul retornou estatisticamente **significativo** ($\alpha = 0,05$), mesmo com a grande diferença na quantidade de cidades de cada um.

No entanto, as distribuições são muito irregulares, especialmente no Norte, onde existe variação grande e, portanto, a média não representa bem seu conjunto de dados, especialmente pela presença das cidades chinesas.

Observando, agora, o grau de eletrificação por continente, tem-se a tabela 15 e a Figura 26.

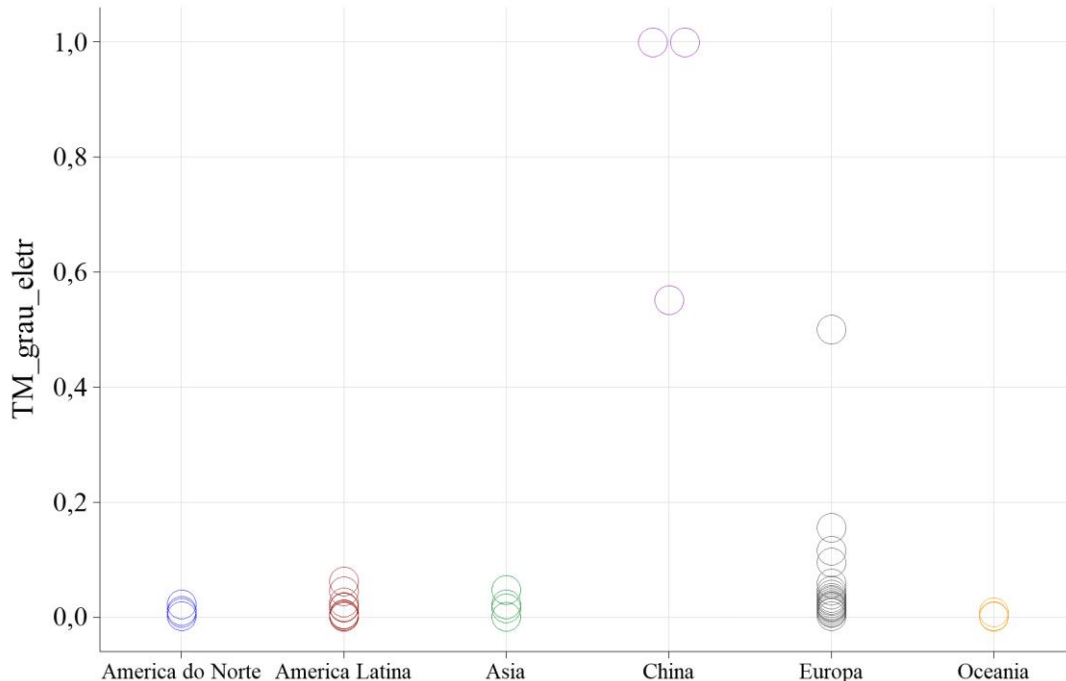
Tabela 15. Estatística descritiva do grau de eletrificação por continente dos municípios

Continente	Contagem	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
América do Norte	5	0,0084	0,0083	0,0014	0,0069	0,0217
América Latina	11	0,0163	0,0204	0,0003	0,0050	0,0618
Ásia	8	0,3295	0,4533	0,0002	0,0342	1,0000
Europa	19	0,0645	0,1129	0,0020	0,0273	0,5000
Oceania	3	0,0036	0,0046	0,0003	0,0018	0,0088

Fonte: elaboração do autor.

Novamente vemos uma maior média na Ásia, também com maior variação, destacando o peso da China na amostra. Assim, pode-se tratá-las separadamente, como mostra a Figura 26.

Figura 26. Gráfico de valores do grau de eletrificação dos municípios por continentes



Fonte: elaboração do autor.

A aparente grande diferença é causada pela China, pois os demais continentes apresentam padrões relativamente homogêneos. Duas das cidades chinesas da amostra (Shenzhen e Guangzhou) têm 100% de suas frotas elétricas, valor muito distante do padrão dos demais continentes. É interessante destacar que essas cidades estão próximas entre si e formam uma mesma aglomeração metropolitana – o que faz com que compartilhem de sistemas e regimes sociotécnicos muito semelhantes, conforme detectado pela base de dados. Enquanto isso, a terceira (Shanghai) tem cerca de 55% de eletrificação e difere em alguns aspectos. Essa cidade é mais antiga, fica em outra região do país e destoa das outras duas cidades chinesas em relação ao: preço da tarifa municipal do transporte por ônibus (50% mais cara), ao IDH (10% maior), à densidade populacional (47% menor) e à população total municipal (de 6 a 8 milhões de habitantes a mais). Cabe lembrar que é falho tentar estabelecer relações diretas de “causa e consequência” no intuito de justificar as diferenças entre graus de eletrificação. Ainda assim, as variações pontuais apontadas devem fazer parte da complexidade de diferenças entre os arranjos de regimes sociotécnicos dominantes em cada uma delas.

4.5 MODELANDO AS RELAÇÕES ENTRE O GRAU DE ELETRIFICAÇÃO E OS ATRIBUTOS TERRITORIAIS

Essa etapa se inicia com a geração de uma **matriz de correlações** “*todos vs todos*” (de *Spearman*, que independe da distribuição dos dados) para verificar a proximidade entre as variáveis numéricas. Essa matriz de dimensões 74 x 74 (descontadas as variáveis descritivas, isto é, não-numéricas) não é imprescindível para os objetivos do estudo, mas ajuda a confirmar que **existem muitas variáveis fortemente correlacionadas entre si** (positiva ou negativamente) e, portanto, atesta a (multi)colinearidade existente no conjunto de dados, encaminhando o uso de técnicas estatísticas que possam dar conta dessa condição, como visto no Capítulo 3.

Por exemplo, verificam-se correlações significativamente altas que podem ser consideradas óbvias, como entre o crescimento populacional e a taxa de fertilidade ($r = +0,78$; $p < 0,01$) ou entre o IDH e o percentual da população conectada à internet ($r = +0,9$; $p < 0,0$). Outras associações nem tão diretas foram encontradas, como entre a taxa de motorização e a participação dos serviços na economia ($r = +0,76$; $p < 0,01$) ou entre os empregos na agricultura e a expectativa de vida das mulheres, neste caso negativa ($r = -84$, $p < 0,01$).

Observando especificamente as mesmas correlações entre as variáveis X e o grau de eletrificação, destacaram-se **positivamente e negativamente (Tabela 16)**:

Tabela 16. Correlações mais relevantes entre as variáveis X e o grau de eletrificação

Correlações positivas	
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Construção & manufatura	0,829
Taxa média anual de variação da porcentagem da população urbana nacional (%) (2015-2020)	0,814
Área média de um município no país	0,802
Área total do município (km ²)	0,670
Taxa de crescimento do PIB (% anual)	0,630
Parcela do Transporte Não Motorizado na divisão modal do município	0,572
População total municipal	0,508
Correlações negativas	
Parcela de adultos obesos (2016)	-0,543
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Transportes	-0,459
Qualidade de vida	-0,449

Fonte: elaboração do autor.

Assim, com a compreensão abrangente dos dados e suas associações estatísticas básicas, foi conduzida, finalmente, a Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (MQP ou *PLS*) entre o grau de eletrificação e os demais atributos das cidades, com os seguintes resultados:

Método

Variável Y: grau de eletrificação das frotas de ônibus municipais

Variáveis X: todas as demais variáveis numéricas

Tabela 17. Análise de variância para o grau de eletrificação

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	10	2,218	0,221	194,05	0,000
Erro de Resíduos	35	0,040	0,001		
Total	45	2,258			

Fonte: elaboração do autor.

Onde:

GL = graus de liberdade;

SQ = soma quadrática;

QM = média quadrática

F = estatística F

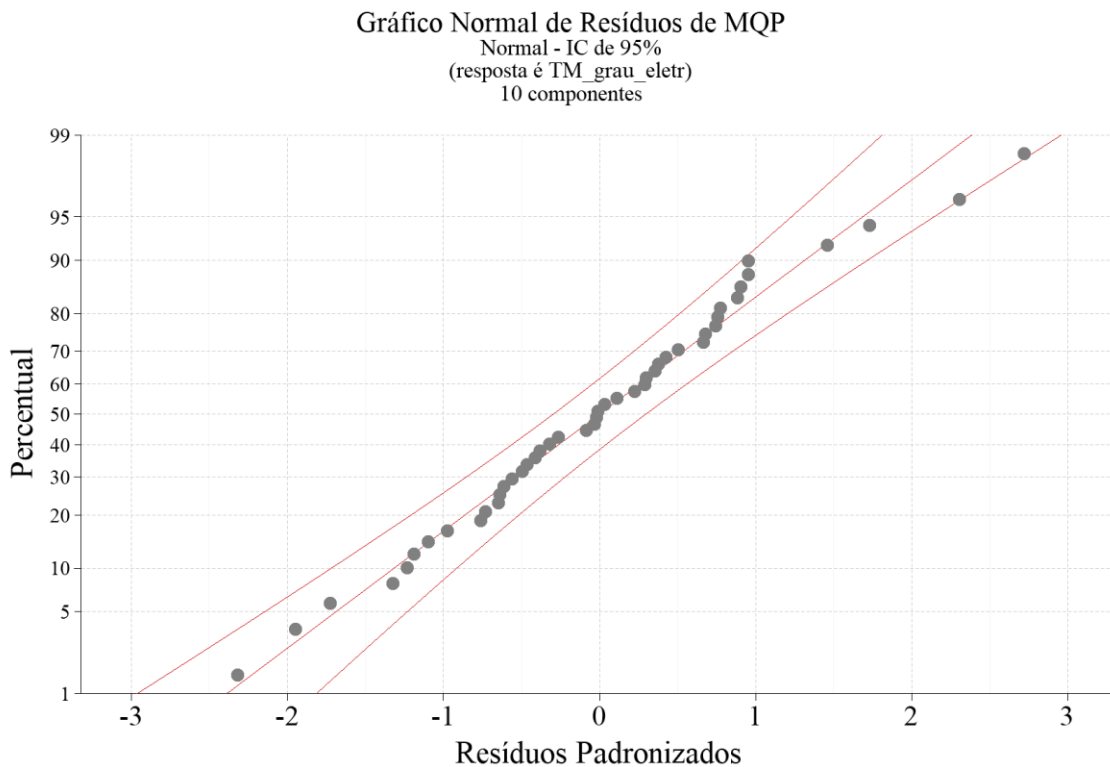
P = valor p, que é a estatística mais intuitiva, cujo valor menor que 0,01 indica que o modelo explica a variação na resposta com significância acima de 99%.

Tabela 18. Seleção de modelo e validação para o grau de eletrificação

Componentes	Variância X	Erro	R ²
1	0,244	0,894	0,604
2	0,451	0,501	0,778
3	0,519	0,289	0,872
4	0,577	0,196	0,913
5	0,612	0,118	0,948
6	0,643	0,090	0,960
7	0,676	0,072	0,968
8	0,734	0,062	0,973
9	0,766	0,051	0,977
10	0,788	0,040	0,982

Fonte: elaboração do autor.

A qualidade do modelo - explicação da variância de Y dada pelo R² - mostra que os **dez componentes são capazes de explicar mais de 98% do Grau de Eletrificação**. Esse coeficiente de determinação tenderá a ser “total” (R² =1) se o número de componentes continuar sendo aumentado. No entanto, essa não é uma boa abordagem, pois sempre que se satura uma regressão com muitas variáveis, o R² tende a resultar bastante alto, o que até pode garantir significância **estatística**, mas não permite interpretações **práticas**.

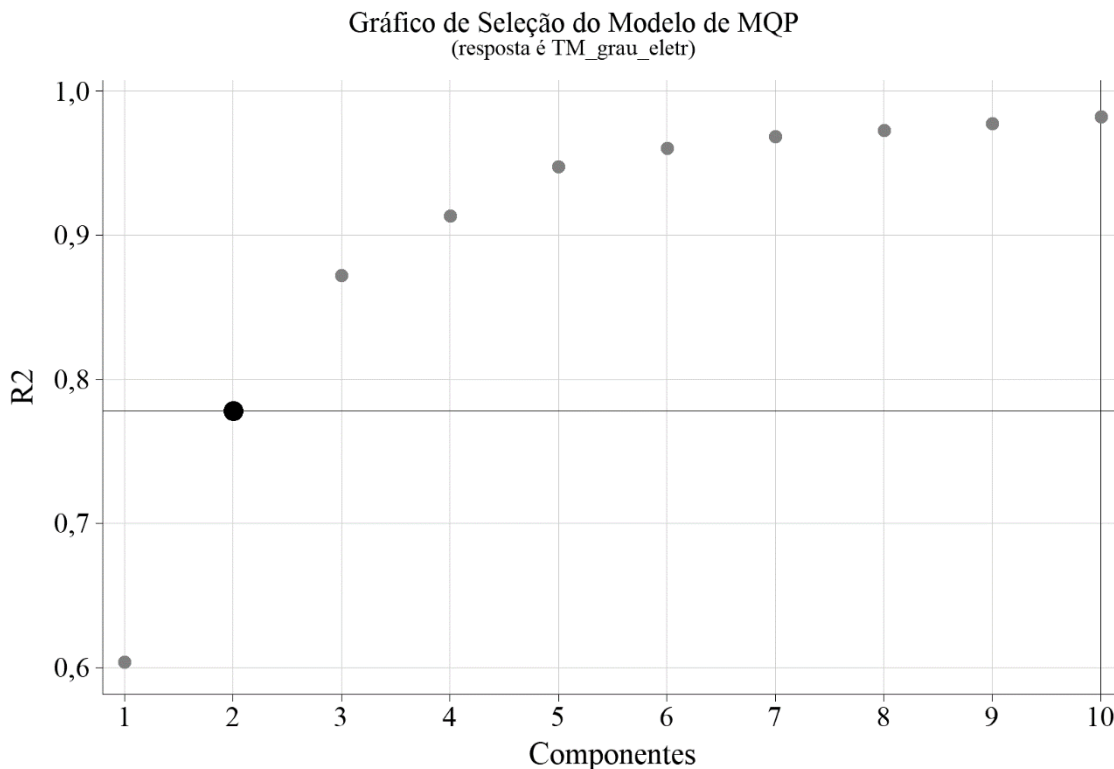


Este gráfico tem a finalidade de auxiliar a análise da qualidade do modelo, mostrando que os resíduos da regressão são normalmente distribuídos, ou seja, a parte não explicada da variação de Y (“erros”) é **aleatória**.

A tabela 18 mostra também que, extraíndo 10 componentes, cerca de **79% da variância dos X é explicada**, ou seja, com eles é possível representar razoavelmente o conjunto de atributos ao invés de utilizar as 74 variáveis originais. No entanto, novamente se coloca a questão da parcimônia, pois extrair muitos componentes afasta a análise do seu objetivo de **reduzir a explicação a poucos fatores**, além de dificultar a interpretação. O modelo mostra que é possível representar **estatisticamente** 79% da variância de X com os dez componentes, mas não indica como é possível explicar **praticamente** o que cada um deles significa.

Portanto, o estudo se concentrará nos **dois primeiros componentes**, que explicam sozinhos cerca de 45% da variação dos X e garantem um modelo com R^2 superior a 0,77. Ou seja, **apenas dois construtos são capazes de resumir com razoável qualidade os atributos das cidades e definir os dois “perfis territoriais” básicos e, ao mesmo tempo, explicar mais de três quartos do Grau de Eletrificação**.

O gráfico a seguir é um suporte visual para a decisão da quantidade de componentes a extrair da regressão, mostrando como o aumento no seu número passa a acrescentar pouco à explicação de Y a partir de 6 componentes, quando o R^2 ultrapassa 0,96 e se estabiliza.



Portanto, os **2 primeiros componentes** serão empregados para desenvolver a interpretação, auxiliada pelas tabelas e gráficos a seguir.

Os **coeficientes** da regressão PLS representam o impacto de cada variável X sobre o Y, considerando todos os componentes. Seus valores destacam positiva e negativamente os seguintes atributos:

Tabela 19. Coeficientes da regressão PLS – impacto de variáveis X sobre o grau de eletrificação

Variáveis X	Coefficientes da regressão PLS (+)
Taxa média anual de variação da porcentagem da população urbana nacional (%) (2015-2020)	4,59
Investimentos do governo em Educação (% do PIB)	2,07
Custo de bem-estar associado a mortes prematuras por exposição ao material particulado ambiental (% equivalente ao PIB, 2017)	1,46
Taxa de crescimento do PIB (% anual)	1,16
Parcela de emissões de GHG do setor em relação ao total do país - Construção & manufatura	0,44

Variáveis X	Coefficientes da regressão PLS (-)
Taxa de crescimento da população nacional (% média anual, 2019)	-5,099
Taxa de desemprego no país (%)	-0,620
IDH do Município (2018)	-0,426
Parcela de adultos obesos (2016)	-0,311
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Edifícios	-0,267
Densidade ferroviária: comprimento da rede ferroviária por área do país (km/km ²)	-0,168
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Transportes	-0,164

Fonte: elaboração do autor.

Este resultado é, sem dúvida, elucidativo, apesar de algumas inconsistências que não o tornam perfeitamente claro. Ao mostrar a contribuição individual de cada variável “por dentro” dos dez componentes, ele exige uma interpretação muito complexa e pouco intuitiva, que precisa vir acompanhada da interpretação dos **componentes**, pois se eles são os construtos que podem substituir o conjunto completo de variáveis.

Ao observar as chamadas “cargas fatoriais” que mostram a contribuição (positiva ou negativa) de cada variável para cada um dos dois primeiros componentes, constatam-se similaridades com a síntese preliminar apresentada no item 4.2.6. Com as contribuições mais expressivas em relação ao grau de eletrificação, destacam-se as variáveis que retratam a variação da população nacional. É possível verificar que países que tiveram expressivo crescimento da sua **população urbana** nos últimos cinco anos, ainda que não necessariamente acompanhado de crescimento da sua população total, estão mais bem relacionados a graus mais elevados de eletrificação. Além disso, esses países têm tido um importante desenvolvimento econômico, com **crescimento do PIB** e também **menores taxas de desemprego**. Esse perfil remete diretamente ao caso da China, expoente em termos de grau de eletrificação de frotas de ônibus municipais, e também a países “em desenvolvimento” com essas características.

Em termos de qualidade socioambiental, nota-se que existe uma relação “positiva” (proporcional) entre custo de bem-estar associado a mortes prematuras por exposição ao MP, parcela de emissões de construção e manufatura e avanço na eletrificação. Isso indica que o maior sucesso nesta transição, via de regra, acontece em **territórios com problemas de poluição atmosférica**. Novamente, esse pode ser o caso de países “em desenvolvimento”, mas também de países ricos que tenham uma matriz energética poluente, como alguns países europeus, por exemplo.

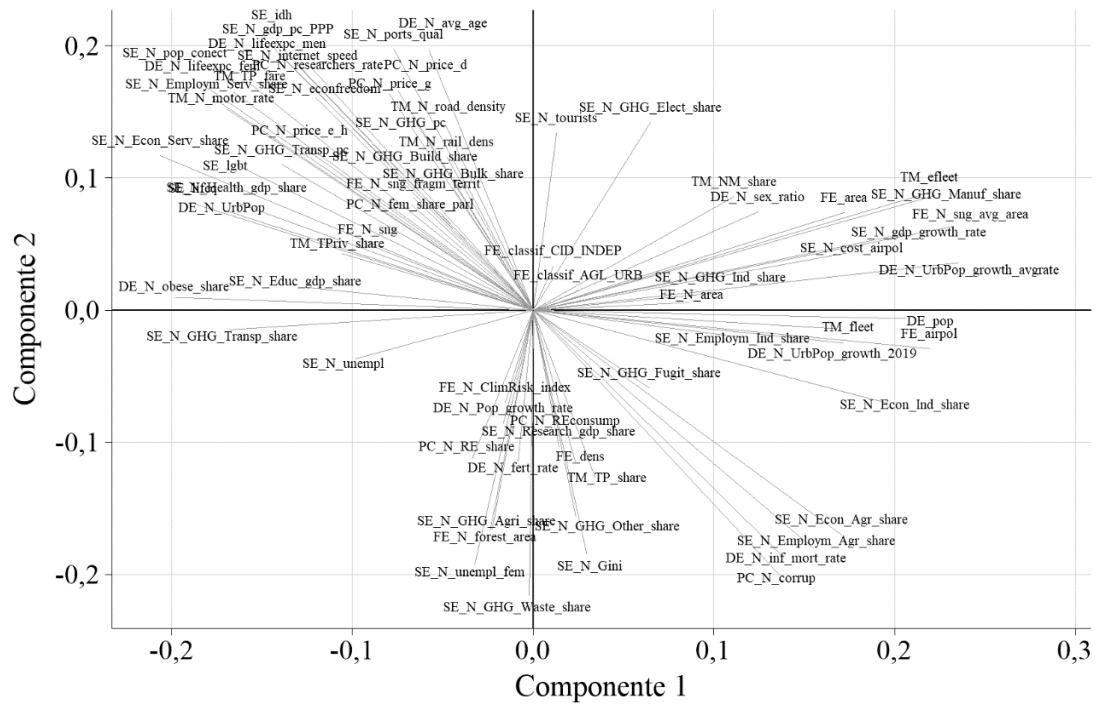
É interessante verificar que existe uma associação “negativa” (inversamente proporcional) entre parcela de adultos obesos, parcela de emissões nacionais de GEE dos transportes e o grau de eletrificação. Em linha com as demais interpretações apresentadas, tal relação pode ser entendida de três formas (não necessariamente excludentes umas às outras): o maior sucesso da eletrificação das frotas municipais pode estar sendo acompanhado de outras medidas de sustentabilidade no setor de transportes que têm contribuído para a menor participação do setor de transportes nas emissões nacionais de GEE (promoção da “**mobilidade de baixo carbono**”); o maior grau de eletrificação pode estar relacionado a ambientes físico-espaciais que favoreçam os **transportes ativos** (e, com isso, resultam em uma população com menos adultos obesos e menos emissões do setor); ou, ainda, essa associação pode estar atrelada a questões culturais que apontam uma maior **consciência ambiental** e de **hábitos saudáveis**.

De modo geral, parece que o maior grau de eletrificação ocorre em territórios que têm combinado o crescimento populacional urbano e o desenvolvimento econômico com medidas de sustentabilidade – que devem estar sendo orientadas por políticas robustas e reforçadas por questões culturais. Essas constatações são detalhadas e confirmadas a partir da identificação dos construtos (“perfis territoriais”), a seguir.

O **Gráfico das Cargas Fatoriais** pode auxiliar na interpretação desses valores, plotando os atributos no espaço bidimensional. Esse gráfico divide o espaço em **4 quadrantes** e, quanto maior o “comprimento” da linha, maior a carga:

1. Esquerda superior – negativo no primeiro componente, positivo no segundo;
2. Direita Superior: positivo no primeiro, positivo no segundo;
3. Esquerda inferior: negativo no primeiro e negativo no segundo;
4. Direita inferior: positivo no primeiro e negativo no segundo.

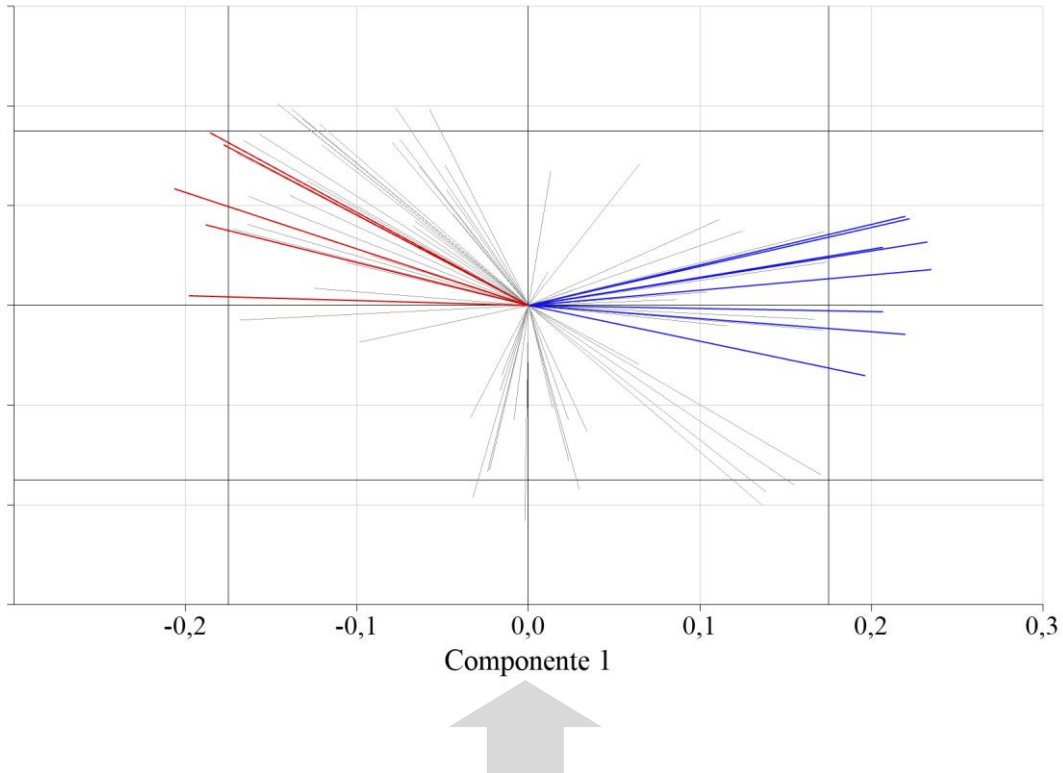
Gráfico de Carga Fatorial de MQP



No gráfico acima, estão os códigos utilizados para realizar a análise, sendo apresentado para fins ilustrativos. Os desdobramentos estão explicados detalhadamente a seguir.

Para facilitar a análise, é possível observar separadamente os dois componentes. Iniciando pelo **componente 1 (figura abaixo)**, os atributos à direita em azul têm maior contribuição positiva para este construto; à esquerda, em vermelho, estão os maiores negativos.

Gráfico de Carga Fatorial de MQP

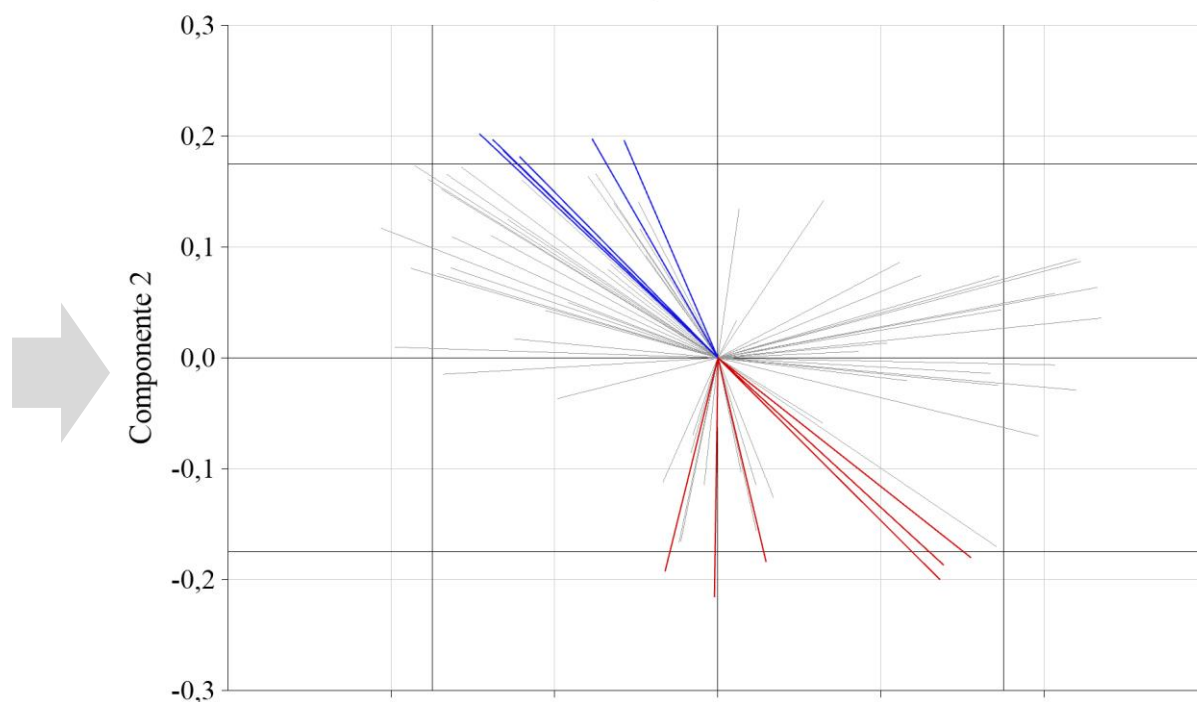


São eles:

Atributos com contribuição positiva para o construto (Componente 1)	
Taxa média anual de variação da porcentagem da população urbana nacional (%) (2015-2020)	0,235
Área média de um município no país	0,232
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Construção & manufatura	0,222
Concentração atmosférica média anual do poluente material particulado 2.5 (2017)	0,220
Taxa de crescimento do PIB (% anual)	0,207
População total municipal	0,207
Economia: Indústria (% do Valor Agregado Bruto)	0,196
Atributos com contribuição negativa para o construto (Componente 1)	
Economia: Serviços e outras atividades (% do Valor Agregado Bruto)	-0,206
Parcela de adultos obesos (2016)	-0,198
Qualidade de vida	-0,188
Indivíduos que usam a Internet (a cada 100 habitantes)	-0,186
Emprego: Serviços (% dos empregados)	-0,178
Taxa de população urbana no país (%)	-0,172
Taxa de motorização: número de veículos motorizados a cada 1.000 pessoas (2014)	-0,170

O **componente 2** deve ser analisado com a mesma lógica: acima de zero estão os atributos com contribuição positiva e abaixo os negativos (**figura abaixo**).

Gráfico de Carga Fatorial de MQP



Atributos com contribuição positiva para o construto (Componente 2)	
IDH do Município (2018)	0,202
Qualidade da infraestrutura portuária	0,198
PIB per capita, PPC (julho de 2020)	0,197
Idade média da população (em anos)	0,196
Expectativa de vida masculina ao nascer (em anos)	0,189
Velocidade média da internet no país	0,187
Pesquisadores por milhão de habitantes (em FTE, <i>Full Time Equivalent</i>)	0,182
Atributos com contribuição negativa para o construto (Componente 2)	
Parcela de emissões de GEE do setor em relação ao total do país - Resíduos	-0,216
Índice de percepções de corrupção (2019)	-0,200
Taxa de desemprego feminino no país (%)	-0,192
Taxa nacional de mortalidade infantil (por 1.000 nascidos vivos)	-0,187
Coefficiente de Gini	-0,184
Emprego: Agricultura (% dos empregados)	-0,180
Economia: Agricultura (% do Valor Agregado Bruto)	-0,170

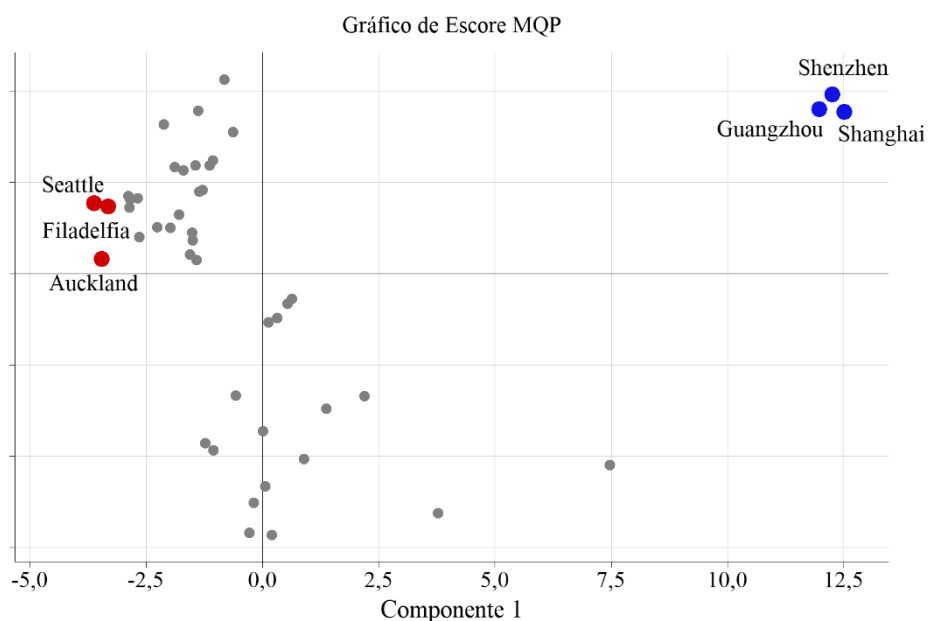
Finalmente, podem ser feitas constatações a partir dos construtos gerados e descritos. Os componentes 1 e 2 definem **dois perfis territoriais** básicos, sendo capazes de resumir com razoável qualidade os atributos considerados na pesquisa e, ao mesmo tempo, explicar mais de 77% do grau de eletrificação.

O primeiro perfil (**componente 1**) indica um tipo de **território “em desenvolvimento”**. São municípios com áreas e populações maiores, que registraram importante crescimento da sua população urbana nos últimos cinco anos, acompanhado por forte desenvolvimento econômico e com maior participação do setor industrial. Embora esse perfil de município seja caracterizado por concentrações atmosféricas maiores de poluição local e por índices de qualidade de vida menores, sua população parece ter hábitos de vida saudáveis e/ou maior consciência ambiental.

O segundo perfil (**componente 2**), por sua vez, indica um tipo de **território “desenvolvido e estruturado”**, no qual os atributos socioeconômicos se destacam como os mais importantes. São territórios ricos e desenvolvidos nos quais a sua população conta com melhores condições de vida e prosperidade, e com menor desigualdade social e corrupção. Predomina uma cultura de bem-estar social, de atenção ao desperdício e de preço pela eficiência. A agricultura desempenha menor participação tanto nos empregos quanto na economia destes territórios.

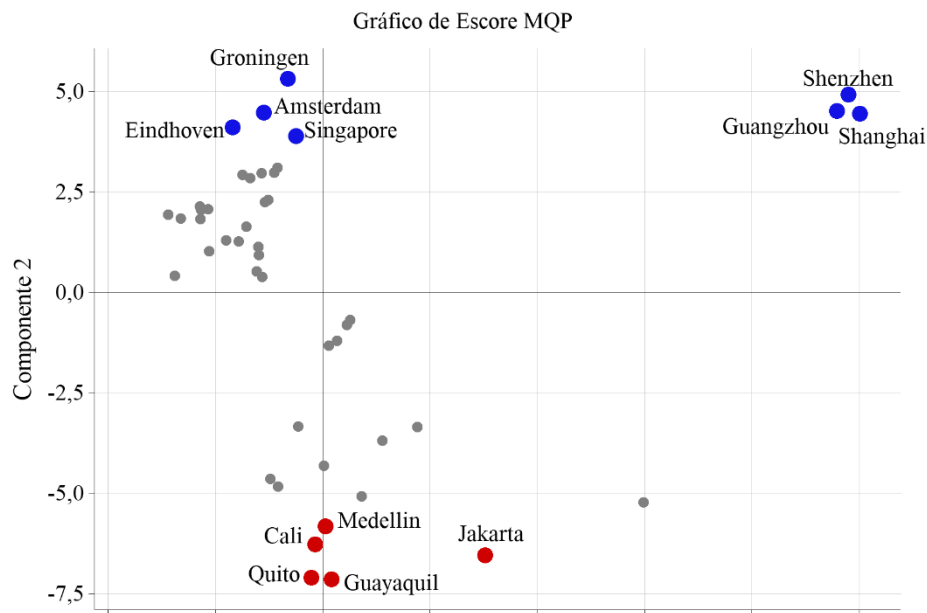
Observando, agora, a posição dos município em função de seus “escores” no espaço bidimensional dos dois primeiros componentes, podemos ver quais os casos que mais se destacam em cada construto e, portanto, melhor representam os **perfis territoriais** definidos por eles.

PERFIL TERRITORIAL 1:



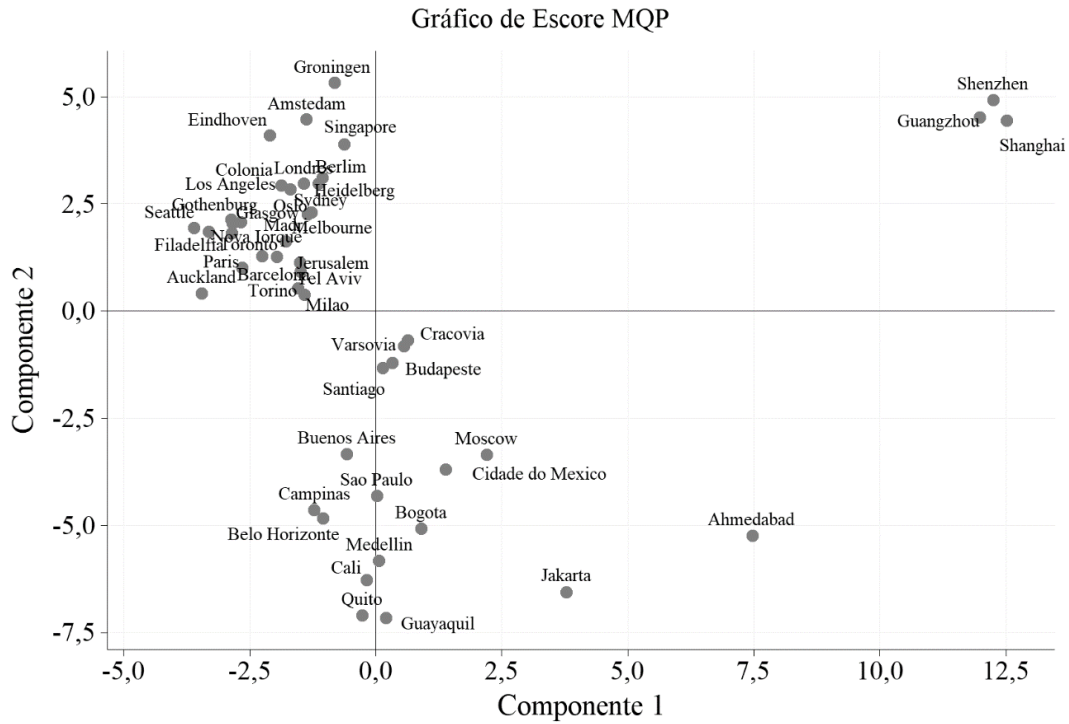
Em relação ao primeiro perfil territorial detectado (componente 1) – caracterizado por atributos-chave que revelam transformações mais amplas em curso, um “borbulhamento”, isto é, um **“estado transitório agitado, com regimes sociotécnicos em processo de conformação e/ou consolidação, sobretudo espacial, social e economicamente”** – tem-se no extremo positivo Shanghai, Shenzhen e Guangzhou (cidades chinesas), enquanto no extremo negativo, Seattle e Filadélfia (cidades estadunidenses) e Auckland (Nova Zelândia).

PERFIL TERRITORIAL 2:



Em relação ao segundo perfil territorial detectado (componente 2) – caracterizado por atributos-chave que revelam espaços, sociedades e economias mais desenvolvidas e estáveis, isto é, um **“estado transitório mais coeso e estruturado, com regimes sociotécnicos consolidados e alinhados segundo uma coerência cultural e política”** – tem-se no extremo positivo: Groningen, Amsterdã, Eindhoven (cidades holandesas), Singapura (cidade-estado), além de Shenzhen, Guangzhou e Shanghai (cidades chinesas); no extremo negativo: Guayaquil e Quito (cidades equatorianas), Cali e Medellín (cidades colombianas), além de Jakarta (Indonésia).

De forma geral, a distribuição dos municípios analisados no espaço bidimensional, em função dos seus “escores” fica a seguinte:



no lado negativo do primeiro componente, enquanto a Ásia apresenta grande variação, com destaque para a China e seus escores muito altos do lado positivo.

No **segundo componente**, vemos com clareza todos os municípios da Oceania e da América do Norte no lado positivo, enquanto os municípios da América Latina distribuem-se todas no lado negativo. Europa e Ásia variam, com destaque novamente para os municípios chineses e seus altos escores também neste componente.

5. DISCUSSÃO

A partir dos perfis territoriais detectados e da identificação de atributos-chave associados a graus mais avançados de eletrificação dos ônibus municipais, é possível agora discutir as relações entre os conceitos e fundamentos teóricos apresentados, os casos amostrados e os resultados obtidos. A grosso modo, as constatações sobre as variações geográficas das transições sustentáveis à mobilidade de baixo carbono podem ser apresentadas por continentes, detalhando eventuais discrepâncias e casos especiais existentes, como a China.

Na **América do Norte e Oceania**, compreende-se que a abundância de espaço, o espraiamento urbano e a cultura do automóvel levaram à predominância de veículos particulares e a sistemas de transporte público pouco atrativos e desenvolvidos. O regime de poder descentralizado e flexível permite maior autonomia a subgovernos e municípios, favorecendo que decisões sejam tomadas de forma mais independente e as inovações de nicho encontrem maiores possibilidades de desenvolvimento “de baixo para cima”. Este território é caracterizado por maior liberdade econômica (abertura de mercado) e pode oferecer condições de nicho favoráveis à emergência de inovações sustentáveis, como os ônibus elétricos. Contudo, a falta de uma pauta nacional orientadora unificada em prol da sustentabilidade deve fazer com que essas inovações enfrentem maior resistência dos regimes sociotécnicos dominantes, além de serem confrontadas com grande competitividade pelas demais iniciativas que surgem nessas mesmas condições – dificultando o desenvolvimento das transições sustentáveis. Assim, pode-se argumentar que as relações de escala e poder têm uma influência importante neste ambiente, pois mesmo que um município ou atores locais (de nicho) se empenhem em avançar nesses processos de transição, a falta de um respaldo político com regulamentações, mecanismos de financiamento e infraestruturas propícias à eletrificação impedem a ampla adoção dos ônibus elétricos, estagnando potenciais transformações sistêmicas.

Na **América Latina**, a rápida urbanização (em grande medida) descontrolada, acompanhada por abismos sociais, gerou grandes ineficiências na mobilidade, reforçando o desejo pelo automóvel e deixando os sistemas de transporte público “subdesenvolvidos”. Contudo, a “instabilidade” gerada pelos regimes sociotécnicos ainda em conformação pode oferecer oportunidades para que se incluam as inovações sustentáveis nestes “processos abertos de consolidação”, o que pode justificar o grau de eletrificação mais elevado em alguns casos

dessa região em relação a outras áreas prósperas e desenvolvidas (Santiago do Chile tendo a maior frota de ônibus elétricos do mundo depois da China, por exemplo). Ou seja, a inserção de inovações de nichos nos regimes sociotécnicos dominantes pode estar sendo favorecida pela ausência de estabilidade e estruturação dos arranjos socioeconômicos, político-culturais, físico-espaciais, demográficos, de transportes e mobilidade dominantes. Esse cenário pode permitir maior interação entre diferentes sistemas sociotécnicos, atores, escalas e poderes de forma que os regimes sociotécnicos se consolidem incorporando as inovações sustentáveis – como os ônibus elétricos. Isso aponta para oportunidades geográficas diferentes do que se poderia pensar inicialmente, na qual as transições sustentáveis poderiam ser favoráveis a prosperarem em regiões ricas, com maior planejamento urbano e uma preocupação ambiental mais explícita, como é o contexto da Europa. Além disso, a presença e o interesse de atores internacionais (globais) para investir e desenvolver mercados no continente latino-americano deve estar associado a maiores oportunidades de novos negócios, soluções e tecnologias.

Na **Europa**, o planejamento urbano manteve a evolução de cidades mais compactas e eficientes, com multimodalidade de transportes, contribuindo para sistemas mais racionais de mobilidade e a busca pelo equilíbrio social, econômico e ambiental. No entanto, o histórico processo estruturado de conformação dos sistemas sociotécnicos pode ter gerado, hoje, estruturas rígidas e engessadas que dificultam ou impedem que inovações de nicho tenham espaço para se desenvolverem, mesmo que a discussão climática e ambiental esteja presente nos discursos, políticas e planejamento da região (na cultura). Isso indica que mesmo cidades e países com maior consciência ambiental podem não ser, necessariamente, as mais propícias para que as inovações sustentáveis se desenvolvam e se consolidem, dado a multidimensionalidade e a diversidade de atores, interesses e regimes envolvidos, integrados e estabilizados. Além disso, o fato das cidades e seus serviços já possuírem uma lógica que vise à eficiência e integração pode, paradoxalmente, fazer com que as transições sustentáveis como a eletrificação do transporte público de ônibus sejam “postergadas”, na medida em que não são prioridade imediata ou um projeto pontual e isolado, como parece acontecer em outras regiões. Pode ser também que a eletrificação das frotas de ônibus municipais nessa região venha a acontecer a partir do momento em que os atores, políticas e regimes dominantes, historicamente consolidados, se unam para avançar com a adoção dos ônibus elétricos - suportados por políticas ambientais específicas e incentivos financeiros e econômicos - gerando e tipificando um processo de transição sustentável amplo, em escala e rápido, como observado na Holanda.

Na **China**, o acelerado êxodo rural, acompanhado por vertiginoso crescimento populacional e econômico apoiado pelas políticas centralizadas de transporte e planejamento urbano gerou oportunidades para investimentos e desenvolvimento tecnológico, levando a cidades *high-tech* e à implementação exitosa de inovações na mobilidade. Com características similares aos de “países em desenvolvimento”, como foram aqui identificadas e apresentadas, esse país se destaca (destoa) da amostra analisada pelo seu sucesso na transição sustentável rumo à mobilidade de baixo carbono. Em grande parte, devido à orquestração exitosa das múltiplas e complexas transformações em curso (“mudanças sistêmicas”), regidas por um governo centralizado e impositivo que definiu a sustentabilidade como diretriz norteadora para o desenvolvimento de sua nação. É interessante notar que as cidades chinesas aparecem como os extremos positivos de ambos perfis territoriais detectados por este estudo. Isso revela uma contribuição importante: esse país conta com os atributos-chave característicos de ambos componentes em seu território. Ou seja, a China “fez/faz uso” do seu estado transitório agitado, com regimes sociotécnicos em processo de conformação e consolidação, sobretudo espacial, social e economicamente (componente 1) para atingir um estado transitório mais coeso e estruturado, com regimes sociotécnicos alinhados e consolidados segundo uma coerência cultural e política (componente 2) – que agora incorporam as inovações de nicho sustentáveis em seus arranjos dominantes, como os ônibus elétricos. Aqui surge outro ponto importante e ainda pouco explorado nas linhas de pesquisa de transições sustentáveis e geografia das transições: a temporalidade dos processos de transição. Entendendo que os territórios são palco de sociedades complexas, dinâmicas e continuamente mutáveis, caberia perguntar: como as transições evoluem e variam ao longo do tempo? É possível identificar o início e o fim de um processo de transição sustentável? Para o caso da China, qual teria sido o seu *turning point* (ou seria “*turning period*”)? Essas perguntas devem motivar e orientar pesquisas futuras.

O restante da **Ásia**, por sua vez, apresenta configurações bastante distintas em termos de população, economia, desenvolvimento, cultura e políticas, que indicam não criar condições favoráveis à emergência de inovações e ao avanço de transições sustentáveis. Pode ser que a ausência dos atributos-chave identificados neste estudo justifique a falta de oportunidades para as inovações de nicho surgirem e se desenvolverem nesta região. Pode ser, também, que este continente siga uma lógica diferente à considerada por este trabalho, merecendo estudos específicos e ajustados à sua realidade.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho tratou sobre **transições sustentáveis** diante dos desafiantes problemas ambientais enfrentados pelas sociedades atuais. Partiu do conhecimento de que o consumo dos combustíveis fósseis como fonte energética associado ao desenvolvimento histórico humano está diretamente relacionado às emissões de gases responsáveis em grande parte pelas mudanças climáticas e pelos poluentes atmosféricos que causam a deterioração da qualidade do ar verificadas hoje no mundo.

Reconheceu que resolver problemas ambientais desta magnitude exigem mudanças sistêmicas e que envolvem alterar padrões de produção e consumo relacionados aos setores de energia e transportes. Eletrificar as frotas de ônibus dos sistemas municipais é considerada uma solução que, integrada a estratégias mais amplas, contribui para atingir uma **mobilidade de baixo carbono**. Essa mudança implica alterar estruturas estáveis existentes atreladas a fatores políticos, econômicos, sociais, culturais e técnicos – o que revela o caráter multidimensional dos processos de transições de sustentabilidade.

As transições **variam geograficamente** conforme as contingências históricas e espaciais dos territórios nos quais estão inseridas. As interações e conexões entre elementos como cultura, ciência, políticas, mercados, preferências dos usuários, entre outros, configuram o que se conhece por sistemas sociotécnicos. Esses sistemas abrangem a produção, a difusão e o uso das tecnologias e são o resultado das atividades dos atores humanos que compartilham certas características. Estilos de vida, regulamentos e arranjos institucionais estabilizam esses sistemas e são chamados de regimes sociotécnicos.

Este estudo propôs apreciar as diferenças entre sistemas sociotécnicos de variados contextos geográficos e investigar as associações com os seus respectivos graus de eletrificação de frotas de ônibus municipais – considerado um indicador da transição à mobilidade de baixo carbono. Para isso, desenvolveu um estudo de caso comparativo entre 46 municípios em 26 países em 5 continentes, explorando relações quantitativas entre 80 atributos territoriais que caracterizam seus sistemas e regimes sociotécnicos dominantes.

A partir de atributos demográficos, físico-espaciais, socioeconômicos, político-culturais e de transportes e mobilidade, o autor conduziu análises estatísticas para identificar semelhanças entre os casos amostrados e detectar perfis territoriais a partir do banco de dados

criado. A seguir, buscou relacionar os graus de eletrificação da amostra com esses perfis para revelar como o avanço desta transição à mobilidade de baixo carbono está associado às variações geográficas, configuradas por seus sistemas sociotécnicos.

A complexidade dos territórios e dos processos de transição de sustentabilidade não permite determinar relações diretas de influência entre elementos singulares de sistemas sociotécnicos e os avanços em termos de eletrificação de frotas de ônibus municipais (não se trata de um processo determinístico). Contudo, os aspectos culturais se destacam como determinantes em muitas cidades e países analisados, bem como na interação, codeterminação e estabilização dos sistemas e regimes sociotécnicos dominantes nos territórios.

As variações geográficas aqui apresentadas e os perfis territoriais detectadas revelam a associação e a codeterminação entre *cultura* e políticas, estilos de vida, arranjos institucionais, forma urbana, bem-estar social, desenvolvimento econômico, eficiência dos serviços públicos, entre outros. Em outras palavras, a cultura de uma região parece ser o fator mais determinante em uma transição sustentável à mobilidade de baixo carbono, já que é também o fator norteador do desenvolvimento de uma sociedade e dos padrões (sistemas e regimes sociotécnicos) ali estabelecidos. Esses padrões são os que condicionam o maior ou menor potencial de emergência e desenvolvimento de uma inovação sustentável de nicho.

A partir da ampla variedade geográfica considerada nas análises deste estudo, pode-se entender as cidades como o *lócus* de sistemas e regimes em contínua transformação, nos quais os inúmeros agentes, interesses e iniciativas heterogêneos se interconectam de forma mais ou menos alinhada ou centralizada, em diferentes escalas. Complementando as linhas de pesquisa de transições sustentáveis e geografia das transições, pode-se apontar que a auto-organização dos múltiplos elementos, escalas e níveis de interações faz emergir não um (pretenso) equilíbrio estático, mas um estado dinâmico de estabilidade crítica, sempre à beira da (e adaptável à) mudança.

Dois perfis territoriais foram definidos pelo estudo, sendo capazes de resumir com razoável qualidade os atributos considerados na pesquisa e, ao mesmo tempo, explicar mais de 77% do grau de eletrificação da amostra. Esses perfis, caracterizados por atributos-chave, permitem justificar essa conceitualização apresentada.

O primeiro perfil indica um tipo de território “em desenvolvimento”. São municípios com áreas e populações maiores, que registraram importante crescimento da sua população urbana nos últimos cinco anos, acompanhado por forte desenvolvimento econômico e com maior participação do setor industrial. Esse perfil de município é também caracterizado por concentrações atmosféricas de poluição local maiores e por índices de qualidade de vida menores. No extremo positivo deste perfil aparecem Shanghai, Shenzhen e Guangzhou (China) como representantes desse construto e com graus de eletrificação que variam de 55% a 100% - os maiores verificados. No extremo oposto estão Seattle e Filadélfia (EUA) e Auckland (Nova Zelândia), com graus de eletrificação que variam entre 0,7% e 2,2%.

O segundo perfil indica um perfil de território desenvolvido e estruturado, no qual os atributos socioeconômicos se destacam como os mais importantes. São territórios ricos e desenvolvidos nos quais a sua população conta com melhores condições de vida e prosperidade, e com menor desigualdade social e corrupção. Predomina uma cultura de bem-estar social, de atenção ao desperdício e de prezo pela eficiência. A agricultura desempenha menor participação tanto nos empregos quanto na economia destes territórios. No extremo positivo deste perfil, aparecem novamente as cidades chinesas, acompanhadas por Groningen, Amsterdã e Eindhoven (Holanda) e Singapura (cidade-estado). No extremo oposto estão Guayaquil e Quito (Equador), Cali e Medellín (Colômbia) e Jacarta (Indonésia).

É interessante notar que as cidades chinesas aparecem como os extremos positivos de ambos perfis territoriais detectados por este estudo. Isso revela uma contribuição importante: esse país conta com os atributos-chave característicos de ambos construtos em seu território. Ou seja, a China fez/faz uso do seu estado transitório agitado, com regimes sociotécnicos em processo de conformação e consolidação, sobretudo espacial, social e economicamente (perfil 1) para atingir um estado transitório mais coeso e estruturado, com regimes sociotécnicos alinhados e consolidados segundo uma coerência cultural e política (perfil 2) – que agora incorporam os ônibus elétricos (inovações sustentáveis de nicho) em seus arranjos dominantes.

Pode-se inferir que os países em desenvolvimento tendem a ter maiores oportunidades de incorporarem novas tecnologias e consolidarem seus regimes sociotécnicos (ainda em conformação) contando com padrões de produção e consumo mais sustentáveis. O maior sucesso das transições nestes territórios (ou nestas condições) está também associado à um governo norteador capaz de liderar as mudanças sistêmicas e alinhar os diferentes sistemas

sociotécnicos na conformação do novo regime dominante (mais sustentável), como é o caso da China e do Chile.

Por outro lado, os países desenvolvidos comprometidos com a ação climática e com o bem-estar social tendem a ser mais receptivos à mudança e flexíveis na incorporação de padrões de produção e consumo mais sustentáveis em seus regimes sociotécnicos tendencialmente alinhados e consolidados. Assim, esses países são capazes de organizadamente remodelar o seu estado dinâmico de estabilidade crítica, incorporando as inovações sustentáveis de nicho.

A tônica comum passa, novamente, pelas (determinantes) questões culturais: as transições sustentáveis estão fortemente atreladas aos direcionamentos e ao caráter político dos governos sob os quais estão sob escrutínio. Não basta apenas ser um país em desenvolvimento, é preciso uma liderança política, uma coerência cultural e um ajuste regional para efetivar as transições sustentáveis à mobilidade de baixo carbono. Não basta ser um país desenvolvido, é necessário contar com uma estabilidade estrutural dinâmica que permita absorver e integrar as inovações, orientada por estruturas governamentais sensíveis à agenda climática e hábeis para reorientar os arranjos dominantes.

Também é necessário reconhecer que não existe um arranjo universal capaz de modificar o regime sociotécnico da mobilidade. O sucesso de uma transição sustentável está vinculado à consideração das especificidades territoriais do local de onde ela está inserida e ao desenho de estratégias particulares que articulem os atores, sistemas e regimes sociotécnicos ali presentes – como sugeriam os trabalhos de COENEN *et al.* (2012), MARKARD *et al.* (2012), TRUFFER e COENEN (2012), MARX *et al.* (2015), HODSON e MARVIN (2010) e RODRIGUEZ (2018). Esses elementos, por sua vez, além de configurarem perfis territoriais, como aqui apresentado, revelam também as diferentes necessidades, possibilidades e potencialidades de soluções sustentáveis que promovam a mobilidade de baixo carbono em seus territórios. Os perfis territoriais e os atributos-chave aqui apresentados servem de substrato para orientar projetos e pesquisas futuras neste sentido.

Trabalhos futuros também podem partir dos conhecimentos aqui gerados para buscar analisar: (i) como as questões culturais estão presentes e pesam nas diferentes escalas geográficas; (ii) como as relações de poder *intra* e *inter* escalas geográficas manifestam essas questões culturais e são determinantes no alinhamento e na flexibilização de sistemas e regimes

sociotécnicos dominantes; e (iii) qual a temporalidade dos processos de transição sustentáveis, buscando identificar marcos e fases desses processos.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS), 2020. State of the Climate in 2019. Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 101, No. 8, August 2020. <https://doi.org/10.1175/2020BAMSStateoftheClimate>.
- ASHEIM B., 2006. Economic geography as (regional) contexts, in BAGCHI-SEN C. and LAWTON SMITH H. (Eds) Past, Present and Future of Economic Geography, pp. 173–185. Routledge, London.
- BANISTER, D. 2008. The sustainable mobility paradigm. Transport Policy. Volume 15 (2008). 73-80. Elsevier.
- BANISTER, D.; HOLDEN, E.; GILPIN, G. 2019. Sustainable Mobility at Thirty. Sustainability 2019, 11, 1965.
- BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (BNEF), 2018. Electric Buses in Cities - Driving Towards Cleaner Air and Lower CO₂. Disponível em: <<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf> >. Acesso em Novembro de 2020.
- BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (BNEF), 2020. Electric Vehicle Outlook 2020. Disponível em: <<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/> >. Acesso em Novembro de 2020.
- BOSCHMA R. A., 2005. Proximity and innovation. A critical assessment, Regional Studies 39, 61–74.
- BRT DATA. 2019. Global BRT Data—Latin America. Disponível em: https://brtdata.org/location/latin_america. Acessado em Novembro de 2020.
- BRUNDTLAND REPORT. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Transmitted to the General Assembly as an Annex to Document A/42/427 – Development and International Co-operation: Environment. Disponível em: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- BULKELEY, H. *et al.*, 2011. Cities and Low Carbon Transitions. New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2011.
- Bulkeley, H., Castán Broto, V., 2013. Government by experiment? Global cities and the governing of climate change. Trans. Inst.Br. Geogr. 38, 361–375.
- C40 CITIES CLIMATE LEADERSHIP GROUP. 2013. Low carbon technologies can transform Latin America’s bus fleets. Lessons from the C40-CCI Hybrid & Electric Bus Test Program: Hybrid and electric technologies are a viable solution to reduce carbon emissions in the world’s megacities.
- C40 CITIES CLIMATE LEADERSHIP GROUP. 2017. Focused acceleration: A strategic approach to climate action in cities to 2030. Disponível em:

<https://www.c40.org/researches/mckinsey-center-for-business-and-environment>. Acesso em Novembro de 2020.

- CALLON M., 1998. An essay on framing and overflowing: economic externalities revisited by sociology, in CALLON M. (Ed.) *The Laws of the Markets*, pp. 244–269. Blackwell, Oxford and *The Sociological Review*.
- CARLSSON B., 2006. Internationalization of innovation systems: a survey of the literature, *Research Policy* 35, 56–67.
- COENEN, L., BENNEWORTH, P., TRUFFER, B., 2012. Toward a spatial perspective on sustainability transitions. *Res. Policy* 41 (6), 968-979. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.014>.
- COENEN, L., DIAZ LOPEZ, F. J., 2010. Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: An explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities. *Journal of Cleaner Production* 18(12):1149-1160. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.04.003
- COENEN, L., TRUFFER, B., 2012. Places and Spaces of Sustainability Transitions: Geographical Contributions to an Emerging Research and Policy Field, *European Planning Studies*, 20:3, 367-374, DOI: 10.1080/09654313.2012.651802.
- DAVIES A., MULLIN S., 2010. Greening the economy: interrogating sustainability innovations beyond the mainstream, *Journal of Economic Geography* 11, 793–816.
- DEMANDT, B., 2019. Global electric car sales analysis 2018. Carsalesbase. Disponível em: <http://carsalesbase.com/global-electric-car-sales-analysis-2018/>.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ), 2012. Urban Transport and Energy Efficiency. Module 5h. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policymakers in Developing Cities. 1-88.
- DYERSON, R., PILKINGTON, A., 2005. Gales of creative destruction and the opportunistic incumbent: the case of electric vehicles in California. *Technology Analysis & Strategic Management* 17 (4), 391–408.
- ENERGY MATTERS. 2014. “Energy and mankind part 3”. Disponível em: <http://euanmearns.com/energy-and-mankind-part-3/>. Acesso em Novembro de 2020.
- FALLER, F., 2014. Regional strategies for renewable energies: development processes in greater Manchester. *Eur. Plan. Stud.* 22,889–908.
- FEITELSON, E.; I. SALOMON. 2004. *The Political Economy of Transport*. Pp. 11-26. *Transport Developments and Innovations in an Evolving World*. Berlin: Springer.
- GEELS, F. W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study. *Res. Policy* 31, 1257-1274.

- GEELS, F. W., 2011. The role of cities in technological transitions. Analytical clarifications and historical examples. In: BULKELEY, H. et al. (Eds.). *Cities and Low Carbon Transitions*. New York: Routledge, 2011b. p. 13–28.
- GEELS, F. W., SCHOT, J.W., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Res. Policy* 36, 399-417.
- GEELS, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study. *Research Policy* 31, 1257–1274.
- GEELS, F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Res. Policy* 33, 897-920.
- GEELS, F.W., 2005. Processes and patterns in transitions and system innovations: refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting & Social Change* 72, 681–696.
- GEELS, F.W., 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1 (2011) 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>.
- GEELS, F.W., 2012. A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *J. Transp. Geogr.* (in press).
- GEELS, F.W., KEMP, R., 2012. Findings, conclusions and assessments of sustainability transitions in transport. In: Geels, F.W., Kemp, R., Dudley, G., Lyons, G. (Eds.), *Automobility in Transition? A Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*. Routledge, New York.
- GEELS, F.W., KEMP, R., DUDLEY, G., LYONS, G. (Eds.), 2012. *Automobility in Transition? A Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*. Routledge, New York.
- GEELS, F.W., SCHOT, J.W., 2010. The dynamics of transitions: a socio-technical perspective. In: Grin, J., Rotmans, J., Schot, J., Geels, F.W., Loorbach, D. (Eds.), *Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change*. Routledge, New York, pp. 9–87.
- GERMANWATCH. 2020. Global Climate Risk Index 2020. Disponível em: <https://germanwatch.org/en/17307>. Acessado em Novembro de 2020.
- GIDDENS, A., 1984. *The Constitution of Society: Outline of the Theory of Structuration*. University of California Press, Berkeley.
- GOLINUCCI, N., ROCCO, M., & COLOMBO, E., 2019. The effectiveness of LCA-based emissions policies against carbon leakage: Theory and application.
- HAIR, J. F. et al. 2009. *Análise Multivariada de Dados*. 6a ed. São Paulo: Bookman, 2009.

- HANSEN, T.; COENEN, L., 2014. The Geography of Sustainability Transitions: Review, Synthesis and Reflections on an Emergent Research Field. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 17, p. 92–109, 2015.
- HASHEM, H. 2016. Autonomy is shaping the Middle East's transportation future. *Think Progress*. Disponível em: <http://www.think-progress.com/ae/performance-and-productivity/autonomy-is-shaping-the-middle-east-s-transportation-future/>.
- HODSON, M., MARVIN, S., 2009. Cities mediating technological transitions: understanding visions, intermediation and consequences. *Technol. Anal. Strateg. Manag.* 21, 515–534.
- HODSON, M., MARVIN, S., 2010. Can cities shape socio-technical transitions and how would we know if they were? *Res. Policy* 39, 477-485.
- HODSON, M., MARVIN, S., 2012. Mediating low-carbon urban transitions? Forms of organization, knowledge and action. *Eur. Plan.Stud.* 20, 421–439.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2017. Banco de dados do Balanço de Energia Mundial. Em *Estatísticas e balanços de energia mundial da IEA (banco de dados)*. <https://doi.org/10.1787/data-00512-en>.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2018. Statistics. Share of total final consumption (TFC) by sector – World, 2016. Disponível em: < <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector&mode=chart&dataTable=BALANCES>> . Acesso em Novembro de 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2019. IEA. (2019c). O futuro do transporte ferroviário. Disponível em <https://webstore.iea.org/the-future-of-rail>. Acesso em Novembro de 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2020a. Energy Efficiency Indicators 2020. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-2020> > . Acesso em Novembro de 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2020b. World Energy Balances: Overview. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview#world> > . Acesso em Novembro de 2020.
- INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF), 2019. ITF Transport Outlook 2019 (Summary), OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/c013afc7-en>. Acesso em Novembro de 2020.
- IPCC, 2014. Transport. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- KEMP, R., 1994. Technology and the transition to environmental sustainability: the problem of technological regime shifts. *Futures* 26. 1023-1046.
- KLEIBER C; ZEILEIS, A. *Applied Econometrics with R*. Springer-Verlag, New York. ISBN 978-0-387-77316-2. 2008.
- KNAPP, G. W., DORST, J. P., *et al.*, 2019. South America. In *Encyclopaedia Britannica*. Disponível em: <https://www.britannica.com/place/South-America/Transportation>.
- KNOEMA. (s.d.) *World Data Atlas*. Disponível em: <https://knoema.com/atlas>. Acessado em Novembro de 2020.
- KRÖNER, A., Gardiner, R. K. A., *et al.* 2019. Africa. In *Encyclopaedia Britannica*. Retrieved from <https://www.britannica.com/place/Africa/Transportation>.
- LEWIS-BECK, M.S, BRYMAN, A., AND FUTING LIAO, T. 2004. Partial Least Squares Regression. In: *The sage encyclopaedia of social science research methods*, vol. 0, Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA, Acessado em 07 agosto 2020, doi: 10.4135/9781412950589.
- MARKARD, J., RAVEN, R., TRUFFER, B., 2012. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy* 41 (2012) 955– 967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>.
- MARX, R.; MELLO, A. M. de; ZILBOVICIUS, M.; LARA, F. F. de. 2015. Spatial contexts and firm strategies: applying the multilevel perspective to sustainable urban mobility transitions in Brazil. *Journal of Cleaner Production* xxx (2015). 1-13. Elsevier.
- MICHAELIS, s.d. “passageiro-quilômetro”. Disponível em: < <http://michaelis.uol.com.br> >.
- NEOCHARGE, s.d.. Conheça os tipos de carros elétricos. Disponível em: [https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20tipos%20b%C3%A1sicos%20de,c%C3%A9lula%20de%20combust%C3%ADvel%20\(FCEV\)](https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20tipos%20b%C3%A1sicos%20de,c%C3%A9lula%20de%20combust%C3%ADvel%20(FCEV).). Acesso em Novembro de 2020.
- NOAA Climate.gov, (2020). Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Disponível em: < <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide#:~:text=The%20global%20average%20atmospheric%20carbon,least%20the%20past%20800%2C000%20years> >. Acesso em Novembro de 2020.
- NOUSSAN, M., HAFNER, M., TAGLIAPIETRA, S., 2020. The Evolution of Transport Across World Regions. In: *O Futuro do Transporte entre Digitalização e Descarbonização*. SpringerBriefs em energia. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37966-7_1.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS), 2018. Air Pollution. Disponível em: <<https://www.who.int/airpollution/en/>>. Acesso em Novembro de 2020.

- OUR WORLD IN DATA, 2020. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em Novembro de 2020.
- RAKHMATOV, B., LEE, C., CHONG, E., KORMILITSYN, F., ISHTIAQUE, A., REGMI, M. D. TANASE, V., 2017. Review of development in transportation in Asia and the Pacific 2017.
- RIP, A., KEMP, R., 1998. Technological change. In: Rayner, S., Malone, E.L. (Eds.), *Human Choice and Climate Change*, vol. 2. Battelle Press, Columbus, OH, pp. 327–399.
- RODRIGUE, J. P., 2017. *The geography of transport systems* (4th ed.). New York: Routledge.
- RODRIGUEZ, L. T. B. 2018. *Transições socio-técnicas hacia una movilidad de bajo carbono: un análisis del nicho de los buses de baja emisión para el caso de Brasil*. Campinas, SP : [s.n.], 2018.
- RODRIGUEZ, T. B., 2018. *Transições socio-técnicas hacia una movilidad de bajo carbono: un análisis del nicho de los buses de baja-emisión para el caso de Brasil*. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.
- ROTMANS, J.; KEMP, R.; VAN ASSELT, M., 2001. More evolution than revolution: transitions management in public policy. *Foresight*, v. 3, n. 1, p. 55–31, 2001.
- SAWATSKY, M. L., CLYDE, M., & MEEK, F., 2015. Partial least squares regression in the social sciences, *The Quantitative Methods for Psychology*, 11(2), 52-62. doi: 10.20982/tqmp.11.2. p052.
- SCHOT, J.W., GEELS, F.W., 2008. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda and policy. *Technology Analysis and Strategic Management* 20, 537–554.
- SMITH, A., 2007a. Emerging in between: the multi-level governance of renewable energy in the English regions. *Energy Policy*35, 6266–6280.
- SMITH, A.; VOSS, J. P.; GRIN, J., 2010. Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. *Research Policy*, v. 39, n. 4, p. 435–448, 2010.
- SPÄTH, P., ROHRACHER, H., 2010. ‘Energy regions’: The transformative power of regional discourses on socio-technical futures. *Res.Policy* 39, 449–458.
- SPÄTH, P., ROHRACHER, H., 2012. Local demonstrations for global transitions—dynamics across governance levels fostering socio-technical regime change towards sustainability. *Eur. Plan. Stud.* 20, 461–479.
- SSATP, 2018. Africa Transport Policy Program—SSATP annual meeting 2018. In *Africa’s rapid urbanization and the response to urban mobility in the digital era*. Abuja, Nigeria. Disponível em: https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publications/AGMProceedings-Abuja2018_EN.pdf. Acesso em Novembro de 2020.

- SUSTAINABILITY TRANSITIONS RESEARCH NETWORK (STRN), 2017. A research agenda for the Sustainability Transitions Research Network. Disponível em: <https://transitionsnetwork.org/wp-content/uploads/2018/01/STRN_Research_Agenda_2017.pdf>. Acesso em Novembro de 2020.
- SUSTAINABLE BUS. 2020. Santiago de Chile, an open tender for 2,000 buses. A case study by ZEBRA. Disponível em: <https://www.sustainable-bus.com/news/santiago-de-chile-an-open-tender-for-2000-buses-a-case-study-by-zebra/>. Acesso em Novembro de 2020.
- THE CITY FIX, 2020. Why Is Sustainable Urban Transport a Great Investment?. Disponível em: <https://thecityfix.com/blog/sustainable-urban-transport-great-investment/>. Acesso em Novembro de 2020.
- THE ECONOMIST. 2016. Let's go together. The Economist. Disponível em: <https://www.economist.com/middle-east-and-africa/2016/03/10/lets-go-together>.
- THE HERITAGE FOUNDATION. 2020. 2020 Index of Economic Freedom. Disponível em: <https://www.heritage.org/index/ranking?version=192>. Acessado em Novembro de 2020.
- THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT), 2017. Financing the transition to soot-free urban bus fleets in 20 megacities. Disponível em: <https://theicct.org/publications/financing-transition-soot-free-urban-bus-fleets-20-megacities>. Acesso em Novembro de 2020.
- THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT), 2019. Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo. Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Emissions_benefits_bus_sao_paulo_Port_20190201.pdf>. Acesso em Novembro de 2020.
- THE WORLD BANK (WB), 2018. Urban population (% of total population). Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2010&start=2010&view>>. Acesso em Novembro de 2020.
- THE WORLD BANK (WB), s.d. World Bank Open Data. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/>>. Acessado em Novembro de 2020.
- TREFIS TEAM. 2019. How do Uber And Lyft compare in terms of key revenue and valuation metrics? Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2019/04/22/how-do-uber-and-lyft-compare-in-terms-of-key-revenue-and-valuation-metrics/>. Acesso em Novembro de 2020.
- TRIOLA, M. Introdução à Estatística ISBN: 9788521633747 Edição: 12|2017 Editora: LTC 836 pg.

TRUFFER, B., COENEN, L., 2012. Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies, *Regional Studies*, 46:1, 1-21, DOI: 10.1080/00343404.2012.646164.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2017. Outlooks. Transportation sector energy consumption. Chapter 8, 127-137. Disponível em: < <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/transportation.pdf>>. Acesso em Novembro de 2020.

UNIPAGE., (s.d.) Cities. Disponível em: <https://www.unipage.net/ru/city>. Acesso em Novembro de 2020.

UNITED NATIONS (UN), s.d. UN Data. Disponível em: < <http://data.un.org/>>. Acessado em Novembro de 2020.

UNITED NATIONS (UN), s.d. [b]. The Sustainable Development Agenda. Disponível em: < <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda-retired/#:~:text=On%201%20January%202016%2C%20the,Summit%20%E2%80%944%20officially%20came%20into%20force./>>>. Acessado em Janeiro de 2021.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (UN DESA), 2018. World Urbanization Prospects 2018. Disponível em: < <https://esa.un.org/unpd/wup/>>. Acesso em Novembro de 2020.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT ASSEMBLY (UNEA), 2017. TOWARDS A POLLUTION-FREE PLANET: Background report. Disponível em: <<https://goo.gl/21Qyuc>>. Acesso em Novembro de 2020.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC), 2020a. What is the Paris Agreement?. Disponível em: < <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement> >. Acesso em Novembro de 2020.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC), 2020b. Sustainable conference. Disponível em: < <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/un-climate-change-conference-november-2017/about/sustainable-conference> >. Acesso em Novembro de 2020.

UNITED NATIONS HABITAT (UN HABITAT), 2020. The New Urban Agenda Illustrated. Disponível em: < <https://unhabitat.org/the-new-urban-agenda-illustrated>>. Acesso em Janeiro de 2021.

UYARRA, E., GEE, S., 2013. Transforming urban waste into sustainable material and energy usage: the case of Greater Manchester (UK). *J. Clean. Prod.* 50, 101–110.

WOLD, S. SJOSTROM, M. ERIKSSON, L. PLS-regression: a basic tool of Chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2001, v. 58, 109-130.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI), 2018. How did Shenzhen, China build world's largest electric bus fleet? World Resources Institute. Disponível em:

<<https://www.wri.org/blog/2018/04/how-did-shenzhen-china-build-world-s-largest-electric-bus-fleet>>. Acesso em Novembro de 2020.