Universidade do Minho
Escola de Economia, Gestão e Ciência Política

Eduarda da Costa Dias

Entrega de última milha no centro urbano de Braga: uma análise custo-benefício multicritério

abril de 2026

Eduarda da Costa Dias Entrega de última milha no centro urbano de Braga: uma análise custo-benefício multicritério

UMinho | 2026

Universidade do Minho
Escola de Economia, Gestão e Ciência Política

Eduarda da Costa Dias

Entrega de última milha no centro urbano de Braga: uma análise custo-benefício multicritério

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Negócios Internacionais

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José António de Almeida Crispim

abril de 2026

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Agradecimentos

Quero expressar o meu sincero agradecimento à Escola de Economia, Gestão e Ciência Política da Universidade do Minho, bem como a todos os professores que, ao longo deste percurso, contribuíram para a minha formação académica e pessoal, através dos conhecimentos transmitidos, das competências desenvolvidas e das oportunidades proporcionadas.

Um agradecimento especial ao meu orientador, o Professor Doutor José Crispim, pela sua disponibilidade, acompanhamento, orientação e apoio ao longo de todo o processo da elaboração desta dissertação. A sua dedicação, atenção e contributo foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Agradeço igualmente à minha família, pelo apoio incondicional, pela paciência, pela compreensão e por estarem sempre presentes ao longo deste percurso. Sem eles, esta caminhada teria sido certamente mais difícil.

A todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta dissertação, o meu sincero obrigado.

A todos o meu muito obrigada!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri a qualquer forma de utilização indevida de ferramentas de Inteligência Artificial (IA), nem à falsificação ou omissão de informações, fontes, dados, resultados ou processos em nenhuma das etapas conducentes à sua elaboração.

Declaro ainda que qualquer utilização de ferramentas de IA foi feita de forma transparente e responsável.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho, bem como as normas aplicáveis de integridade académica e de proteção de dados.

Entrega de última milha no centro urbano de Braga: uma análise custo-benefício multicritério

Resumo

A entrega de última milha constitui uma das etapas mais críticas da cadeia logística, especialmente nos contextos urbanos, onde a crescente pressão do comércio eletrónico, o congestionamento rodoviário e as exigências ambientais e sociais tornam indispensável a procura de soluções mais eficientes e sustentáveis. No caso do centro urbano de Braga, estes desafios assumem uma particular relevância devido à elevada densidade funcional da cidade, à concentração das atividades comerciais e à necessidade de compatibilizar a mobilidade, a acessibilidade e a qualidade de vida urbana.

A presente dissertação tem como objetivo desenvolver e aplicar um modelo de análise custo--benefício multicritério para avaliar e comparar as diferentes soluções da entrega de última milha no centro urbano de Braga, considerando as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais. Para esse efeito, foram definidos vários cenários de distribuição, incluindo as soluções convencionais, elétricas e híbridas, de modo a analisar de forma integrada os seus custos, os benefícios e os trade--offs.

Metodologicamente, o estudo assenta numa abordagem quantitativa, com base na monetização dos principais impactos associados a cada cenário e na construção de um modelo comparativo que permite avaliar o seu desempenho global. Adicionalmente, foi realizada uma análise de sensibilidade a três parâmetros críticos, de forma a testar a robustez dos resultados e a identificar os fatores com maior influência na viabilidade das alternativas analisadas.

Os resultados evidenciam que não existe uma solução universalmente superior em todas as dimensões, verificando-se antes compromissos entre a eficiência económica, a sustentabilidade ambiental, o desempenho operacional e os impactos sociais. As soluções mais adequadas tendem a depender do equilíbrio entre estes fatores, bem como das características específicas do contexto urbano. Assim, esta dissertação contribui para o debate sobre a logística urbana sustentável, oferecendo uma base analítica para o apoio à decisão no planeamento de sistemas de entrega de última milha em Braga.

Palavras-chaves: análise custo-benefício, entrega de última milha, logística urbana, sustentabilidade.

Last-mile delivery in urban center of Braga: a multi-criteria cost-benefit analysis

Abstract

Last-mile delivery is one of the most critical stages of the logistics chain, especially in urban settings, where the growing pressure from e-commerce, traffic congestion, and environmental and social demands make it essential to seek more efficient and sustainable solutions. In the case of downtown Braga, these challenges are particularly relevant due to the city's high functional density, the concentration of commercial activities, and the need to balance mobility, accessibility, and the quality of urban life.

This dissertation aims to develop and apply a multi-criteria cost-benefit analysis model to evaluate and compare different last-mile delivery solutions in the urban center of Braga, considering economic, social, environmental, and operational dimensions. To this end, several distribution scenarios were defined, including conventional, electric, cargo bicycle-based, and hybrid solutions, in order to comprehensively analyze their costs, benefits, and trade-offs.

Methodologically, the study employs a quantitative approach, based on the monetization of the main impacts associated with each scenario and the development of a comparative model that allows for the evaluation of their overall performance. Additionally, a sensitivity analysis was conducted on three critical parameters to test the robustness of the results and identify the factors with the greatest influence on the viability of the analyzed alternatives.

The results show that there is no universally superior solution across all dimensions; rather, there are trade-offs between economic efficiency, environmental sustainability, operational performance, and social impacts. The most appropriate solutions tend to depend on the balance between these factors, as well as on the specific characteristics of the urban context. Thus, this dissertation contributes to the debate on sustainable urban logistics, offering an analytical basis for decision support in the planning of last-mile delivery systems in Braga.

Keywords: cost-benefit analysis, last-mile delivery, sustainability, urban logistics.

Índice

Resumo V

Abstract VI

Índice de tabelas IX

Índice de figuras X

1. Introdução 1

1.1 Enquadramento 1

1.2 Relevância do tema 2

1.3 Problema de investigação 3

1.4 Objetivos 4

2. Revisão da Literatura 6

2.1 Logística urbana 6

2.2 Entrega de última milha e os seus desafios 7

2.3 As bicicletas de carga 9

2.4 Fatores de escolha do meio de transporte 11

2.5 Casos práticos e estudos empíricos 14

3. Metodologia 19

3.1 Análise Custo-Benefício 19

3.2 Definição e classificação dos indicadores 20

4. Problema de última milha 24

4.1 Contexto do caso de estudo 24

4.2 Descrição dos cenários 25

4.3 Descrição do modelo 28

4.3.1 Estrutura do modelo e pressupostos 28

4.3.2 Formulação do modelo 32

5. Resultados 36

5.1 Resultados por categoria 36
5.2 Comparação face ao cenário base 44
5.3 Síntese global dos resultados 45
5.4 Desequilíbrio entre os custos e os benefícios 46
5.5 Análise de sensibilidade 47
6. Discussão dos resultados 52
6.1 Discussão comparativa dos cenários 52
6.2 Discussão global dos cenários 54
6.3 Trade-offs entre os cenários 57
6.4 Robustez dos resultados (análise de sensibilidade) 59
6.5 Implicações práticas para Braga 60
6.6 Limitações do estudo 62
7. Conclusão 64
Referências 66
Apêndices 69

Índice de tabelas

Tabela 1 - Síntese dos estudos analisados 17
Tabela 2 - Indicadores e respetiva classificação 23
Tabela 3 - Cenários da entrega de última milha no centro urbano de Braga 25
Tabela 4 - Principais parâmetros do modelo 29
Tabela 5 - Principais pressupostos do modelo 31
Tabela 6 - Investimento inicial (CAPEX) por cenário 36
Tabela 7 - Custos económicos anuais por cenário 37
Tabela 8 - Produtividade anual por cenário 38
Tabela 9 - Custos sociais anuais por cenário 39
Tabela 10 - Benefício anual por cenário 40
Tabela 11 - Custos ambientais anuais por cenário 41
Tabela 12 - Benefício anual por cenário 41
Tabela 13 - Custos operacionais anuais por cenário 42
Tabela 14 - Benefícios operacionais anuais por cenário 43
Tabela 15 – Impacto dos resultados face ao cenário base 44
Tabela 16 - Síntese global dos resultados da análise custo-benefício por cenário 45
Tabela 17 - Análise de sensibilidade ao investimento inicial (CAPEX) (±30%) 48
Tabela 18 - Análise de sensibilidade aos custos com o combustível ou a eletricidade (±30%) 49
Tabela 19 - Análise de sensibilidade aos custos com os trabalhadores (±30%) 49

Índice de figuras

Figura 1 - Investimento Inicial total por cenário 37
Figura 2 - Custos anuais por indicadores e por cenário 38
Figura 3 - Custos sociais anuais por cenário 40
Figura 4 - Custos ambientais anuais por cenário 41
Figura 5 - Custos Operacionais 43
Figura 6 - Benefícios operacionais 44
Figura 7 - Síntese dos resultados por cenário 46
Figura 8 - Variação de ±30% dos custos com os trabalhadores 50

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A globalização, a urbanização, o crescimento do comércio eletrónico e os avanços tecnológicos transformaram significativamente os padrões de consumo, tornando a entrega de última milha num dos principais desafios do setor logístico. Atualmente, os consumidores recorrem cada vez mais às compras online e esperam entregas rápidas e flexíveis (Yangbin Zeng, 2024). Esta transformação foi intensificada pela pandemia da COVID-19, que, através das restrições impostas, acelerou a adoção do comércio eletrónico e aumentou a pressão sobre os sistemas logísticos. Neste contexto, a entrega de última milha, que corresponde à etapa final do percurso de uma encomenda entre o armazém local e o cliente final, assume particular relevância, sendo considerada a fase mais dispendiosa e ineficaz da cadeia de abastecimento. Para além do peso económico, está associada a diversas externalidades negativas, nomeadamente à poluição atmosférica e sonora, ao congestionamento rodoviário e ao aumento da sinistralidade (Gläser et al., 2023; Silva et al., 2023a, 2023b).

Estes desafios tornam-se especialmente críticos nas áreas urbanas, onde a elevada densidade populacional e a pressão sobre o espaço público amplificam os impactos das operações logísticas (Silva et al., 2023a). O crescimento da população urbana e o aumento da procura por bens contribuem para o aumento do volume das entregas, intensificando os impactos negativos associados ao transporte de mercadorias (Chatziioannou et al., 2024; Veličković et al., 2025). Consequentemente, a logística urbana de última milha assume um papel central, uma vez que afeta diretamente a qualidade de vida dos cidadãos (Veličković et al., 2025). Paralelamente, os operadores logísticos enfrentam um contexto cada vez mais exigente, marcado pelo aumento do volume das encomendas, pela escassez da mão-de-obra, pela subida dos custos dos combustíveis e pela redução das margens operacionais. Estes fatores reforçam a necessidade da inovação (Janinhoff et al., 2024) e da adoção de soluções logísticas mais eficientes e sustentáveis.

Entre as abordagens propostas para mitigar estes desafios, destaca-se a reorganização das operações de distribuição urbana, incluindo a utilização dos veículos de baixa emissão e a implementação de infraestruturas de apoio, como os hubs logísticos urbanos. Em cidades como Braga, onde se verificam os problemas associados ao congestionamento, à poluição e à ineficiência das entregas urbanas, a adoção destas soluções assume particular relevância.

1.2 Relevância do tema

O sector da cadeia de abastecimento tem vindo a crescer de forma significativa, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento económico e na globalização. Paralelamente, os impactos ambientais associadas à logística e ao transporte das mercadorias têm-se intensificando (Chatziioannou et al., 2024), evidenciando a necessidade de adotar soluções mais sustentáveis. O crescimento contínuo do comércio eletrónico tem vindo a agravar esta pressão, exigindo a adoção de novos conceitos e das estratégias das entregas (Gruber et al., 2024).

Neste contexto, a logística urbana de última milha assume uma relevância acrescida, uma vez que está associada a diversas externalidades negativas, como o aumento do tráfego urbano, à poluição atmosférica e sonora, os riscos para segurança rodoviária e outros impactos que afetam diretamente a qualidade de vida nas cidades. Perante estes desafios, torna-se fundamental que tanto o setor público como o setor privado adotem soluções inovadoras que permitam reduzir estes impactos e, simultaneamente, melhorar a eficácia operacional (Bertolini et al., 2024). Por sua vez, as questões relacionadas com a sustentabilidade e a justiça social têm vindo a assumir um papel crescente na investigação e nas políticas públicas (Bothof et al., 2025).

A logística sustentável da última milha apresenta um elevado potencial para contribuir para a redução das emissões responsáveis pelas alterações climáticas, bem como para mitigar outros problemas urbanos, como a poluição local e o congestionamento. Neste sentido, torna-se essencial identificar e avaliar as tecnologias e as estratégias capazes de tornar as operações logísticas da última milha progressivamente mais sustentáveis (Temporelli et al., 2022). Entre as soluções mais discutidas, destaca-se a adoção de veículos alternativos e de baixa emissão, como as carrinhas elétricas e as bicicletas de carga manuais ou com assistência elétrica, que tem vindo a ganhar uma aceitação pelo seu potencial de gerar benefícios económicos, sociais e ambientais (Chatziioannou et al., 2024; Temporelli et al., 2022). Embora as bicicletas de carga sejam apontadas como uma solução viável para as operações de entrega de curta distância e em contextos urbanos densos (Gruber et al., 2024), apresentam limitações operacionais, nomeadamente ao nível da capacidade de carga e da cobertura geográfica. Desta forma, os veículos como as carrinhas elétricas ou híbridas continuam a desempenhar um papel relevante em determinados contextos, sobretudo quando as bicicletas de carga não são operacionalmente adequadas. Nestas situações, as carrinhas elétricas apresentam um melhor desempenho ambiental face às alternativas convencionais, particularmente no que respeita aos impactos associados às alterações climáticas. Ainda assim, sempre que operacionalmente viável, a substituição das carrinhas a combustível por bicicletas de carga elétricas

conduz a reduções substanciais dos impactos ambientais (Temporelli et al., 2022). Deste modo, a escolha da solução mais adequada implica a consideração de múltiplos critérios e a análise dos trade-offs entre as diferentes dimensões de desempenho.

Neste enquadramento, a logística de última milha assume um papel central não só para os operadores logísticos, mas também para a sociedade em geral. Embora o conceito de sustentabilidade abranja múltiplas dimensões, a elevada contribuição do sector dos transportes para as emissões de gases com efeito de estufa e para o consumo energético reforça a importância de integrar os critérios da sustentabilidade nos processos da tomada de decisão (Bertolini et al., 2024). Neste sentido, a análise custo-benefício surge como uma ferramenta particularmente relevante para apoiar a definição das estratégias da logística urbana mais sustentáveis e eficientes.

1.3 Problema de investigação

A crescente urbanização global tem conduzido a uma concentração progressiva da população nas áreas urbanas, estimando-se que, em 2030, cerca de 60% da população mundial resida nestas áreas. Este fenómeno, associado à expansão territorial dos centros urbanos, tem aumentado significativamente a procura por atividades de transporte de carga no meio urbano, particularmente no contexto da logística de última milha (Chatziioannou et al., 2024).

Embora o desenvolvimento das redes de transporte tenham desempenhado um papel fundamental no crescimento económico e na melhoria da mobilidade (Bothof et al., 2025), tem igualmente contribuindo para a intensificação de diversos impactos negativos no meio urbano. Destacando-se o congestionamento rodoviário, a poluição atmosférica e sonora, a sinistralidade, o consumo energético e as emissões de gases com efeito de estufa associadas aos combustíveis fosseis, com impacto direto nas alterações climáticas. Acrescem ainda outros efeitos ambientais e urbanos mais amplos, como a poluição da água e do solo e a alteração da qualidade do espaço urbano, degradando as paisagens e a natureza (Veličković et al., 2025). Estes impactos tendem ainda a traduzir-se numa distribuição assimétrica dos benefícios e dos custos dos transportes na sociedade (Bothof et al., 2025).

A expansão do comércio eletrónico e o crescimento acelerado da logística de última milha tem intensificado significativamente estas pressões, aumentando o número das entregas e da circulação dos veículos no meio urbano. Este fenómeno evidencia a necessidade de conciliar a eficiência operacional com os objetivos da descarbonização e a melhoria da qualidade de vida urbana (Llorca & Moeckel, 2021; Temporelli et al., 2022). Desta forma, é consensual, que a transição para os sistemas logísticos mais sustentáveis é uma condição essencial para abrandar e mitigar os

impactos das alterações climáticas, especialmente num setor fortemente dependente dos combustíveis fósseis como o dos transportes. Neste âmbito, o conceito da logística verde tem vindo a emergir como uma abordagem central, englobando um conjunto de estratégias que visam alcançar a descarbonização da logística e o cumprimento dos objetivos de sustentabilidade (Chatziioannou et al., 2024).

Apesar do crescente número de estudos dedicados à logística de última milha e à avaliação das soluções alternativas, a comparação integrada destas opções continua a apresentar limitações. Em particular, a ausência de modelos que permitam avaliar de forma estruturada e consistente os diferentes impactos económicos, sociais, ambientais e operacionais, o que dificulta a análise global do desempenho das soluções, sobretudo quando estes impactos são de natureza distinta e nem sempre diretamente comparáveis. Assim, torna-se necessária a adoção de abordagens que permitam integrar estas diferentes dimensões de análise.

Neste contexto, o problema de investigação do presente estudo centra-se na identificação e na avaliação das soluções da entrega de última milha mais equilibradas e adequadas ao contexto urbano de Braga, considerando os trade-offs entre as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais, através de uma abordagem integrada baseada na análise custo-benefício multicritério.

1.4 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral desenvolver e aplicar um modelo de análise custo-benefício multicritério para avaliar e comparar as soluções da entrega de última milha no contexto urbano de Braga, com o propósito de identificar as opções mais eficientes, sustentáveis e operacionalmente viáveis, contribuindo para a definição das estratégias de logística urbana mais equilibradas e para o apoio à tomada de decisão.

De forma a concretizar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o sistema da distribuição urbana de última milha, identificando os principais desafios económicos, sociais, ambientais e operacionais;
- Definir um conjunto de indicadores multicritério que permitam avaliar o desempenho das soluções da entrega de última milha;
- Determinar os cenários alternativos da distribuição urbana, incluindo as soluções convencionais, elétricas e híbridas;
- Avaliar o desempenho dos diferentes cenários através de um modelo de análise custo-benefício multicritério.

- Comparar os cenários analisados, identificando as principais diferenças, vantagens, limitações e os trade-offs entre as várias dimensões do desempenho;
- Avaliar a robustez dos resultados, identificando os principais fatores críticos ou as fontes de maior incerteza do modelo;
- Determinar a solução ou a combinação das soluções mais equilibradas para o contexto urbano de Braga, tendo em conta as diferentes perspetivas e os critérios de decisão;
- Analisar o potencial da aplicabilidade do modelo desenvolvido a outros contextos urbanos, mediante as devidas adaptações.

Os objetivos definidos orientam o desenvolvimento da presente investigação, assegurando a coerência entre a abordagem metodológica adotada e a análise dos resultados apresentados nos capítulos seguintes.

2. Revisão da Literatura

O presente capítulo tem como objetivo enquadrar teoricamente o tema da entrega de última milha, com especial enfoque no contexto urbano, com base na literatura existente sobre a logística urbana e a distribuição de última milha. Para esse efeito, apresentam-se os principais conceitos, desafios e as soluções alternativas mais sustentáveis e eficientes, bem como os possíveis fatores que influenciam a escolha dos modos de transporte. São também analisados estudos que ajudam a enquadrar as diferentes abordagens operacionais no contexto das cidades.

2.1 Logística urbana

A logística pode ser definida como um conjunto de atividades realizadas pelas entidades para movimentar e armazenar os recursos certos no e para o local certo, na quantidade certa, no momento certo e ao custo certo (Szmelter-Jarosz et al., 2023). No contexto urbano, esta área assume particular relevância, devido à elevada densidade populacional e à complexidade das interações económicas e sociais. (Segundo OECD, 2024), a logística urbana "envolve a movimentação de bens e serviços dentro de áreas urbanas, incluindo atividades como o transporte de matérias-primas, a distribuição de produtos de empresa para empresa (B2B) e de empresa para o consumidor (B2C), a recolha de resíduos, a devolução de bens e a movimentação de serviços de instalações" *(OECD, 2024)*. A logística urbana integra dois grandes fluxos: os fluxos relacionados com o produtor e os fluxos relacionados com o consumidor (OECD, 2024). Esta dualidade torna a gestão logística nas cidades particularmente complexa, uma vez que implica compatibilizar a eficiência operacional, a acessibilidade, o uso do espaço urbano e a minimização dos impactos negativos associados à circulação das mercadorias.

Os hubs desempenham um papel fundamental e estratégico na otimização das operações da cadeia de abastecimento, funcionando como pontos de transição entre os diferentes modos de transporte. Estes espaços permitem transferir as mercadorias provenientes dos veículos de grande dimensão, para os veículos mais pequenos e sustentáveis, como os veículos convencionais, os veículos elétricos, as bicicletas de carga, os estafetas a pé ou outros transportadores, integrados numa mesma instalação para a entrega de última milha (OECD, 2024). Neste sentido, os hubs logísticos urbanos podem ser entendidos como as instalações estrategicamente localizadas nas áreas urbanas que servem como pontos cruciais para a consolidação, a distribuição e a gestão das cargas, incluindo a logística inversa, como a devolução das mercadorias e a recolha dos resíduos. Enquanto nós da rede logística urbana, estes hubs facilitam a entrega de última milha da cadeia de

abastecimento, permitindo que as mercadorias sejam consolidadas, classificadas e expedidas de forma mais eficiente e, idealmente, com menor impacto ambiental (OECD, 2024). Ao contribuírem para uma separação mais clara entre o transporte de carga interurbano e o transporte de carga urbano, ajudam a mitigar algumas das externalidades negativas associadas à logística nas cidades e promovem uma maior eficiência global do sistema logístico urbano (OECD, 2024).

2.2 Entrega de última milha e os seus desafios

A entrega de última milha (Last Mile Delivery) corresponde à fase final da cadeia de abastecimento, em que os artigos são transportados do hub central ou do centro de distribuição até ao cliente final (Shuaibu et al., 2025). De forma semelhante Yangbin Zeng (2024), define a distribuição de última milha como o "processo de entrega de mercadorias dos centros logísticos ou armazéns aos utilizadores finais". Esta etapa é particularmente crítica, uma vez que envolve o contacto direto com o cliente e é amplamente reconhecida como a parte mais dispendiosa, ineficiente e complexa de toda a cadeia de abastecimento logístico (Shuaibu et al., 2025; Yangbin Zeng, 2024). O forte crescimento do comércio eletrónico, aliado às crescentes exigências dos consumidores em termos de opções de entrega, de rapidez, de flexibilidade e dos custos, tem colocado a entrega de última milha no centro das atenções, tanto dos profissionais como dos investigadores. Neste contexto, a eficiência desta etapa tornou-se um fator decisivo para a competitividade das empresas e para a qualidade percebida pelos utilizadores.

A entrega de última milha enfrenta múltiplos desafios, que podem ser agrupados em três dimensões principais: a eficácia da distribuição, a sustentabilidade ambiental e a experiência do utilizador. No domínio da eficácia da distribuição, destacam-se problemas como o congestionamento urbano, as restrições operacionais e as dificuldades associadas ao planeamento das rotas, que comprometem a rapidez e a fiabilidade das entregas. Relativamente à sustentabilidade ambiental, os principais desafios relacionam-se com a degradação da qualidade do ar e o aumento das emissões de carbono, evidenciando a necessidade de soluções logísticas mais eficientes e ambientalmente sustentáveis. Por fim, na dimensão da experiência do utilizador, salientam-se os atrasos nas entregas, as encomendas perdidas ou danificadas e a ausência de sistemas de rastreamento em tempo real, fatores que influenciam diretamente a perceção da qualidade e a confiança no serviço (Yangbin Zeng, 2024).

Os impactos negativos gerados pelas atividades de transporte são significativos, incluído o congestionamento e os acidentes rodoviários, a dependência dos combustíveis fósseis, o ruído e a poluição do ar e da água. Uma utilização mais eficiente dos recursos do transporte, nomeadamente

através da seleção adequada dos veículos, da programação das entregas, do controlo do fluxo de carga e da escolha do tipo de combustível, pode contribuir para a mitigação destes impactos. No entanto, estas decisões refletem frequentemente respostas estratégicas condicionadas por fatores externos, pelas características organizacionais e pela tecnologia disponível. Neste contexto, a substituição parcial dos veículos convencionais por modos de transporte alternativos e mais ecológicos revela-se uma medida com elevado potencial para reduzir substancialmente os efeitos negativos globais, melhorando simultaneamente a segurança rodoviária, a qualidade do ar, o congestionamento, os custos e a fiabilidade no tempo das viagens (Chatziioannou et al., 2024).

Face à natureza evolutiva destes desafios, a otimização da entrega de última milha exige soluções cada vez mais sofisticadas, combinando novas tecnologias, algoritmos sofisticados e estratégias de logística sustentáveis. Entre estas soluções, destacam-se a utilização de frotas de veículos elétricos e de infraestruturas de entrega partilhadas, que apresentam um elevado potencial para minimizar o impacto ambiental e, em simultâneo, melhorar a eficiência operacional (Shuaibu et al., 2025). A integração da inteligência artificial e de algoritmos sofisticados na logística de última milha tem-se tornado particularmente relevante, sobretudo no apoio à redução dos custos operacionais sem comprometer a qualidade do serviço. A inteligência artificial destaca-se pela capacidade de resolver problemas complexos, como o planeamento, a otimização das rotas e a adaptação dinâmica das operações de entrega em tempo real. A aplicação dos algoritmos baseados na inteligência artificial permite reduzir os custos operacionais, melhorar a eficiência da frota e aumentar a fiabilidade dos tempos de entrega, sem comprometer o serviço prestado. Além disso, estas ferramentas permitem analisar os padrões de procura anteriores e apoiar a gestão otimizada da carga de trabalho entre os entregadores, contribuindo simultaneamente para a sustentabilidade das operações e para a melhoria da satisfação do cliente (Shuaibu et al., 2025). Neste sentido, a integração de tecnologias como a inteligência artificial, os métodos de otimização algorítmica, os sistemas autónomos e a Internet das Coisas torna-se fundamental para responder às crescentes exigências de rapidez, da eficiência económica e da sustentabilidade ambiental (Shuaibu et al., 2025).

A satisfação dos estafetas assume um papel central na logística de última milha, uma vez que o desempenho, a eficiência e a motivação destes profissionais são determinantes para a eficácia operacional e para a qualidade global do serviço. Assim, qualquer sistema de entrega eficaz deve integrar as necessidades dos estafetas, procurando equilibrar o seu bem-estar com a satisfação do cliente (Shuaibu et al., 2025). Neste âmbito, os modelos operacionais mais sofisticados, como os

intervalos de tempo de entrega variáveis e a otimização das entregas por região, surgem como instrumentos importantes para conciliar estas duas dimensões. Em paralelo, a satisfação do cliente constitui um dos principais impulsionadores da melhoria contínua nas entregas de última milha. Problemas como a indisponibilidade do destinatário no momento da entrega e as falhas de entrega ou logísticas contribuem para um aumento dos custos e para a redução da eficiência operacional. Estratégias que envolvem os estafetas em tempo real e promovem a otimização dinâmica das rotas demostram-se eficazes na redução destas falhas, na melhoria da eficiência e no aumento da satisfação dos clientes (Shuaibu et al., 2025). Para além disso, os destinatários não valorizarem apenas a rapidez, a fiabilidade e a acessibilidade das entregas, mas também a conveniência do serviço, reforçando a necessidade de sistemas de entrega flexíveis e centrados no cliente (Janinhoff et al., 2024).

2.3 As bicicletas de carga

As bicicletas de carga elétricas (e-cargo bikes) são veículos com assistência elétrica, utilizados na distribuição das entregas de última milha, frequentemente integrados nos sistemas logísticos baseados em microdepósitos localizados próximos dos clientes finais. Neste modelo, as encomendas são transportadas do centro da distribuição principal para os micro-hubs através de veículos com maior capacidade, como as carrinhas alimentadoras, sendo posteriormente distribuídas pelas e-cargo bikes através de percursos mais curtos até ao destino final. (Llorca & Moeckel, 2021). Este sistema exige, por isso, a existência de centros de distribuição mais pequenos e estrategicamente localizados, que funcionam como pontos intermédios de consolidação e de distribuição das encomendas.

Tem sido amplamente reconhecido, no contexto da logística urbana um conjunto alargado de vantagens associadas à utilização das bicicletas de carga, especialmente quando comparadas com os veículos de entrega motorizados convencionais. Do ponto de vista operacional, estas bicicletas apresentam dimensões mais reduzidas, o que lhes permite circular com maior facilidade nas ruas estreitas, aceder diretamente ao destino final e estacionar de forma mais flexível e próxima do destinatário. Estas características tornam-nas menos vulneráveis ao congestionamento urbano e mais adequadas para as áreas com elevada densidade populacional e atividade comercial, como os centros urbanos (Bertolini et al., 2024; Gruber et al., 2024; Llorca & Moeckel, 2021). Em termos ambientais, as bicicletas de carga com assistência elétrica não produzem emissões diretas de gases com efeito de estufa e geram níveis de ruído praticamente inexistentes, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a redução da poluição sonora. A adoção destes veículos é, por isso,

frequentemente apontada como uma solução relevante para a logística de última milha, promovendo a redução das emissões associadas ao transporte urbano de mercadorias e alinhando-se com os objetivos da sustentabilidade ambiental (Bertolini et al., 2024; Llorca & Moeckel, 2021). Do ponto de vista económico, os custos de aquisição e de manutenção das bicicletas de carga tendem a ser significativamente inferiores aos dos veículos de entrega convencionais, como as carrinhas. No entanto, para substituir uma carrinha, é geralmente necessário um número superior de bicicletas de carga. Relativamente aos custos com a mão-de-obra, estes tendem ser semelhantes (Llorca & Moeckel, 2021). Para além dos benefícios operacionais, ambientais e económicos, destacam-se ainda as vantagens de natureza social e urbana associadas à utilização das bicicletas de carga. Entre estas, salientam-se a redução da ocupação do espaço viário, a diminuição do congestionamento e as melhorias ao nível da segurança rodoviária, incluindo a redução do número de acidentes. Adicionalmente, os benefícios intangíveis, como a promoção da saúde dos colaboradores, o cumprimento dos objetivos ambientais corporativos e a melhoria da imagem das empresas têm sido identificados como fatores que influenciam positivamente a adoção destas soluções (Bertolini et al., 2024; Gruber et al., 2024).

Apesar das múltiplas vantagens associadas à utilização das bicicletas de carga na logística urbana, existem também várias limitações que condicionam a sua adoção. As bicicletas apresentam uma capacidade de carga significativamente inferior à dos veículos de entrega tradicionais, bem como as limitações associadas à autonomia e às características das suas baterias, o que restringe o raio de atuação e o volume de encomendas transportadas. Acrescem ainda constrangimentos relacionados com a acessibilidade às infraestruturas públicas de carregamento, que continuam a representar um desafio para a operação de frotas elétricas (Bertolini et al., 2024; Llorca & Moeckel, 2021). Para além disso, a velocidade máxima é geralmente inferior à das carrinhas convencionais, o que pode afetar a eficiência nas rotas mais longas ou com maiores exigências temporais (Llorca & Moeckel, 2021). Para além das limitações técnicas, fatores como a fadiga do condutor e a proteção contra as intempéries influenciam diretamente a viabilidade e a atratividade da utilização das bicicletas de carga nas entregas. A ausência de proteção adequada face às condições meteorológicas adversas e a autonomia limitada podem reduzir a competitividade deste modo de transporte quando comparado com os veículos motorizados na logística de última milha (Gruber et al., 2024; Llorca & Moeckel, 2021). Acresce ainda que a operação com as bicicletas de carga exige uma reorganização da estrutura logística, nomeadamente através da implementação de microdepósitos urbanos localizados próximos dos clientes finais. Estes microdepósitos recebem entregas dos principais

centros de distribuição por meio de carrinhas e funcionam como pontos estratégicos para a distribuição das entregas de última milha através das bicicletas de carga (Llorca & Moeckel, 2021).

2.4 Fatores de escolha do meio de transporte

A escolha do meio de transporte na logística de última milha é influenciada por um conjunto alargado de fatores, que podem afetar positiva ou negativamente a adoção dos modos de transporte mais sustentáveis, nomeadamente as bicicletas de carga (Chatziioannou et al., 2024). Estes fatores resultam da interação entre as características operacionais e económicas, o ambiente urbano, as condições externas e os aspetos organizacionais e humanos.

Entre os diversos fatores infraestruturais, destaca-se a infraestrutura ciclável como um dos elementos determinantes para a adoção das bicicletas de carga. A existência de ciclovias adequadas, quer sob a forma de percursos segregados quer das faixas dedicadas, proporciona condições de circulação mais confortáveis e seguras, aumentando a aceitação deste modo de transporte por parte dos operadores logísticos (Chatziioannou et al., 2024; Gruber et al., 2024). A presença de infraestruturas adequadas para as bicicletas de carga e a redução dos lugares de estacionamento para os automóveis têm também um efeito significativo na decisão de escolher os meios de transporte alternativos (Gruber et al., 2024). As condições do tráfego urbano constituem igualmente um fator central. O volume do tráfego, os limites de velocidade e a presença de veículos pesados influenciam diretamente a perceção de segurança e a viabilidade operacional das bicicletas de carga. Ambientes com tráfego intenso, velocidades elevadas e múltiplas faixas de rodagem estão associados a níveis mais elevados de stress e a uma maior probabilidade de acidentes, reduzindo a propensão para a adoção deste meio de transporte (Chatziioannou et al., 2024). A configuração da rede viária assume também um papel relevante na decisão de utilização das bicicletas de carga. Elementos como os cruzamentos, as intersecções e as áreas de circulação partilhadas são frequentemente identificados como pontos críticos de risco, dado o aumento da interação entre os ciclistas, os peões e os veículos motorizados. Em particular, as zonas pedonais partilhadas apresentam desafios acrescidos, uma vez que a inexistência de uma separação clara entre os utilizadores com velocidades distintas aumenta a possibilidade de acidentes e afeta a perceção de segurança (Chatziioannou et al., 2024). Por fim, os fatores relacionados com as condições físicas do percurso influenciam o conforto, a fadiga do condutor e a segurança da operação. Os declives, as curvas acentuadas, o comprimento das rotas, a qualidade do pavimento e as condições da iluminação pública são apontados como aspetos relevantes na escolha das rotas e do meio de transporte. Nas bicicletas de carga, estes fatores assumem uma particular importância devido ao maior peso e a dimensão destes

veículos, levando os utilizadores a preferirem percursos mais curtos, planos, com superfícies regulares e boa visibilidade, mesmo que isso implique um ligeiro aumento da distância percorrida num ambiente mais seguro (Chatziioannou et al., 2024). Importa salientar que muitos destes fatores atuam não apenas ao nível técnico, mas também ao nível da perceção da segurança e do conforto dos utilizadores, influenciando indiretamente a aceitação das bicicletas de carga (Chatziioannou et al., 2024).

Para além dos fatores infraestruturais, a escolha do meio de transporte na logística de última milha é igualmente influenciada por fatores operacionais e económicos. O tempo de viagem e a distância percorrida surgem como fatores determinantes nesta decisão. Um aumento do tempo de viagem reduz a disponibilidade para utilizar qualquer meio de transporte. Contudo, este efeito é significativamente mais pronunciado no caso das bicicletas de carga do que nos veículos motorizados, apesar de estas apresentarem um desempenho particularmente favorável em percursos curtos, onde se tornam mais competitivas. À medida que a distância aumenta, a sua desvantagem face ao automóvel torna-se mais evidente (Gruber et al., 2024). Relativamente aos riscos dos danos na mercadoria, este fator assume maior relevância na escolha das bicicletas de carga do que na dos veículos motorizados, influenciando de forma significativa a decisão de adoção deste modo de transporte (Gruber et al., 2024). A escolha do meio de transporte é também condicionada pelos fatores associados à estrutura organizacional. A necessidade do esforço organizacional inerente à implementação das bicicletas de carga, nomeadamente em termos de custos e das exigências do pessoal, afeta a disponibilidade e a predisposição das empresas para integrar este modo de transporte nas suas decisões de curto prazo. No entanto, a realização de testes-piloto permite às empresas avaliar a complexidade e os custos associados, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada (Gruber et al., 2024). Por fim, a experiência prévia com os veículos revela-se um fator decisivo na escolha do meio de transporte. As experiências positivas obtidas através dos testes com as bicicletas de carga e a experiência individual dos utilizadores, como o hábito da utilização da bicicleta no contexto pessoal, aumentam a predisposição para a adoção deste modo de transporte. Estes resultados evidenciam a importância das estratégias de experimentação com baixos custos e reduzido esforço organizacional, capazes de diminuir as resistências iniciais e de ultrapassar as barreiras à adoção das bicicletas de carga nas entregas de última milha (Gruber et al., 2024).

As condições externas, nomeadamente as meteorológicas, desempenham um papel significativo na escolha do meio de transporte. As condições favoráveis, como as temperaturas amenas, aumentam a probabilidade de optar pela bicicleta de carga em detrimento do automóvel,

enquanto a ocorrência de precipitação, como a chuva ou a neve, constitui um dos fatores mais dissuasores da sua utilização, revelando um efeito mais pronunciado do que as baixas temperaturas. Por outro lado, as temperaturas máximas elevadas e as quantidades significativas de chuva ou neve afetam negativamente a duração das viagens. Verifica-se ainda um efeito conjunto entre as condições climatéricas e a duração da viagem: à medida que a duração da viagem aumenta, os fatores como a temperatura, a precipitação e as condições de tráfego tornam a utilização das bicicletas de carga progressivamente menos atrativas (Gruber et al., 2024). Assim, estes resultados reforçam a importância de considerar também os fatores climáticos na análise da viabilidade operacional das bicicletas de carga, bem como a necessidade de soluções técnicas, como a proteção contra as intempéries, capazes de mitigar os efeitos adversos das condições meteorológicas.

Para além dos aspetos técnicos, operacionais e infraestruturais, os fatores organizacionais e humanos desempenham igualmente um papel relevante na adoção de determinados modos de transporte nas entregas de última milha. As bicicletas de carga são, por vezes, descritas como "divertidas" para os colaboradores, mas a sua implementação exige um esforço organizacional adicional, o que pode constituir uma barreira à sua adoção. No entanto, as perceções relativas à segurança rodoviária e à autonomia destes veículos revelam-se divergentes, influenciando a aceitação deste modo de transporte (Gruber et al., 2024). As características individuais dos utilizadores têm também sido identificadas como possíveis fatores relevantes no processo de adoção. Os fatores sociodemográficos, como a idade mais jovem, o sexo masculino, um menor rendimento e um maior nível de escolaridade, podem aumentar a disponibilidade para utilizar as bicicletas de carga entre os estafetas de última milha. Além disso, as experiências prévias positivas com o ciclismo podem ter um efeito favorável na perceção deste modo de transporte, mesmo quando existam atitudes inicialmente negativas. A utilização frequente da bicicleta contribui ainda para o desenvolvimento de hábitos de mobilidade mais fortes, aumentando a predisposição para a sua escolha em contextos profissionais. Importa, no entanto, salientar que os resultados relativos às características individuais não são totalmente consensuais na literatura, uma vez que as variáveis como o género e a idade nem sempre influenciam de forma significativa a decisão entre a utilização de bicicletas de carga e o automóvel (Gruber et al., 2024). De forma global, os benefícios operacionais exclusivos, as exigências infraestruturais e as preferências individuais associadas às bicicletas de carga, quando contrastadas com os modos de transporte tradicionais, evidenciam um processo de tomada de decisão complexo, que ainda não se encontra totalmente compreendido (Gruber et al., 2024).

Em síntese, a escolha do meio de transporte na logística de última milha resulta de uma combinação de fatores infraestruturais, operacionais, ambientais e organizacionais, cuja influência varia consoante o contexto urbano e as características específicas das operações das entregas. A compreensão destes fatores é fundamental para avaliar o potencial da adoção das bicicletas de carga e para desenvolver estratégias logísticas mais eficientes e sustentáveis.

O crescimento do comércio eletrónico tem sido frequentemente associado a um aumento do número e da frequência das entregas, sendo as decisões dos consumidores maioritariamente influenciadas por atributos como o prazo de entrega, o local de entrega e o preço, sendo este último geralmente identificado como o fator mais determinante (Bertolini et al., 2024). A literatura considera que uma parte significativa dos consumidores apresenta uma atitude neutra face à sustentabilidade na logística de última milha, privilegiando opções de entrega mais rápidas e mais convenientes, como a entrega no dia seguinte e no endereço escolhido. No entanto, existem evidências de que a disponibilização de informação adicional sobre os impactos ambientais e sociais das entregas pode alterar positivamente as preferências dos consumidores, aumentando a propensão para a escolha de opções de entregas mais sustentáveis. Adicionalmente, fatores como as normas sociais e a influência das redes sociais podem também contribuir para a promoção de escolhas de entrega ambientalmente mais responsáveis (Bertolini et al., 2024).

2.5 Casos práticos e estudos empíricos

Depois de enquadrados os principais conceitos e os fatores que influenciam a logística das entregas de última milha, importa salientar de que forma estas soluções são aplicadas e avaliadas em diferentes contextos urbanos. A evidência empírica recolhida nas cidades europeias permite identificar não apenas os potenciais benefícios das alternativas às entregas tradicionais, mas também as suas limitações operacionais, económicas e ambientais. Em particular, muitos centros históricos e urbanos densos enfrentam hoje crescentes desafios associados ao aumento do comércio eletrónico, ao congestionamento urbano e à pressão para reduzir as externalidades negativas. Neste contexto, os vários estudos têm procurado avaliar a viabilidade técnica, económica e ambiental da substituição parcial ou total dos veículos a combustível por alternativas mais sustentáveis, como as vans elétricas e as bicicletas de carga manuais ou elétricas e as soluções híbridas.

Diversos autores recorreram a abordagens de simulação e de modelação para avaliar o potencial da substituição das vans convencionais por soluções mais sustentáveis. Um dos contributos pioneiros neste domínio em Portugal é apresentado por Melo & Baptista (2017), que analisaram os impactos da substituição das vans convencionais por bicicletas de carga elétricas na cidade do Porto,

considerando simultaneamente as dimensões do interesse público, como a mobilidade, o meio ambiente e a qualidade de vida, e as dimensões privadas, como os custos operacionais e a eficiência. Com base numa simulação microscópica de tráfego, testaram diferentes níveis de substituição e concluíram que as bicicletas de carga elétricas podem substituir até 10% das vans convencionais em distâncias máximas de cerca de 2 km, sem comprometer a eficiência do sistema. Os resultados evidenciaram reduções significativas nas emissões de CO_2, em até 73%, e nos custos externos, até 25% em alguns cenários. Ainda assim, os autores identificam limitações associadas à capacidade dos veículos, às características das infraestruturas urbanas e à necessidade de manter a fiabilidade do serviço.

De forma complementar, Llorca & Moeckel (2021) desenvolveram um modelo de simulação de fluxos de mercadorias, FOCA (Freight Orchestrator for Commodity flows Allocation), baseado em MATSim e aplicado à cidade de Munique, na Alemanha. O estudo analisou diferentes configurações de frota, incluindo as vans a combustível, combinações com as bicicletas de carga e cenários com as vans elétricas. Devido à capacidade limitada das bicicletas de carga, assumiu-se que as encomendas com um peso superior a 10 kg não poderiam ser transportadas por este modo, o que resultou numa quota de cerca de 55% das encomendas realizadas por bicicletas de carga. Ainda assim, os resultados indicam uma redução do número de vans de 90 para 43, complementadas por 38 bicicletas de carga e as vans de alimentação, embora com um aumento do tempo operacional total em cerca de 6%. Em termos ambientais, verificou-se uma redução das emissões de CO_2, sendo que resultados semelhantes podem ser alcançados através da eletrificação das vans. O estudo reforça, porém, a necessidade de manter os veículos motorizados para as entregas de maior dimensão e volume, sublinhando a relevância das soluções híbridas.

Por sua vez, Ceccato & Gastaldi (2023) realizaram uma simulação no centro da cidade de Pádua, em Itália, comparando o sistema tradicional baseado nas vans a combustível com modelos assentes nas bicicletas de carga manuais e elétricas, apoiadas por micro-hubs. Os resultados indicam reduções relevantes nos custos médios e totais da entrega, entre 27% e 45%, bem como nas emissões de CO_2 e nas externalidades negativas, entre 71% e 79%. No entanto, observou-se um ligeiro aumento do tempo médio e total por entrega, associado ao menor raio de atuação e à necessidade de viagens adicionais de reposição. Os autores destacam ainda a importância de considerar a incerteza associada ao tráfego e aos tempos de deslocação e de paragem, dado o seu impacto no desempenho económico e na localização ótima dos micro-hubs.

No seu conjunto, estes estudos mostram que as bicicletas de carga manuais ou elétricas apresentam um elevado potencial nas áreas urbanas densas, sobretudo quando integradas com os micro-hubs logísticos. Contudo, revelam também trade-offs relevantes entre os custos, o tempo de entrega e a capacidade operacional, o que reforça a importância das soluções híbridas, que combinem os diferentes modos de transporte.

Outros estudos têm adotado abordagens de análise dos custos operacionais e sociais para comparar o desempenho dos diferentes modos de transporte nas entregas de última milha. Neste contexto, o estudo da EIT InnoEnergy (2023), baseado em dados reais de vários operadores logísticos e numa modelação quantitativa aplicada a diferentes arquétipos de cidades europeias, analisa o desempenho de frotas compostas por vans a combustível, vans elétricas e e-cargo bikes. Foram avaliadas diferentes proporções de frota mista, designadamente 30%, 60% e 80% de e-cargo bikes, complementadas pelas e-vans. No cenário mais otimizado, com 80% de e-cargo bikes e 20% de e-vans, estima-se que um grande operador com dois mil milhões de entregas anuais possa alcançar poupanças anuais de até 554 milhões de euros até 2030, associadas a reduções de emissões até 80%. Apesar dos custos ocultos associados aos micro-hubs, à necessidade de maior mão-de-obra e às infraestruturas, os resultados indicam que as soluções mistas podem gerar ganhos significativos em termos económicos e ambientais.

Adicionalmente, Colonna et al. (2025) realizaram uma análise comparativa na cidade de Roma, com base em dados operacionais reais de uma operadora local, a Corro Corrieri Roma. Durante uma semana de observação, uma frota de seis bicicletas de carga realizou, em média, cerca de 155 entregas diárias, totalizando aproximadamente 152 km e 22 horas de operação por dia. Estes dados foram comparados com cenários simulados de vans a combustível, elétricas e híbridas plug-in, recorrendo ao modelo de Vehicle Routing Problem (VRP). Os resultados mostram que as bicicletas de carga apresentam custos operacionais médios diários inferiores, cerca de 298,82€, face a 530,65€ para duas vans, eliminando simultaneamente as emissões de CO_2 associadas à operação. Para além dos benefícios económicos e ambientais, destacam-se ainda as vantagens sociais, como a redução do ruído, o aumento da segurança rodoviária e a maior acessibilidade ao emprego, dado que não exigem carta de condução. Contudo, o estudo não considera explicitamente os cenários híbridos, o que limita a análise da complementaridade entre os diferentes modos de transporte.

Estes estudos sugerem que a combinação das e-cargo bikes e das e-vans, podem constituir uma estratégia eficaz para equilibrar a eficiência económica, o desempenho operacional e a sustentabilidade ambiental. No entanto, a viabilidade destas soluções depende fortemente das

características específicas de cada contexto urbano, incluindo a densidade da procura, a morfologia da cidade e a existência das infraestruturas de apoio.

De forma a sistematizar e a comparar os principais resultados analisados, a tabela 1 apresenta uma síntese dos modos de transporte considerados, dos principais resultados obtidos, bem como algumas vantagens e limitações identificadas.

Tabela 1 - Síntese dos estudos analisados

Estudo	Cidade	Modos comparados	Resultados	Vantagens principais	Limitações/desvantagens
Melo & Baptista (2017)	Porto (Portugal)	Vans vs e-cargo bikes	Redução das emissões CO_2 e dos custos externos	Redução das emissões CO_2 e de ruído	Baixa capacidade de substituição; não considera os custos com dos micro-hubs nem das aquisições
Llorca & Moeckel (2021)	Munique (Alemanha)	Vans e e-vans vs cargo bikes	Substituição parcial das vans, redução das emissões CO_2 e um aumento do tempo operacional	Maior acessibilidade em áreas densas e ruas estreitas	Limitação da capacidade e a necessidade de micro-hubs
Ceccato & Gastaldi (2023)	Pádua (Itália)	Vans vs cargo bikes (manual e elétricas) com micro-hubs	Redução dos custos, das emissões CO_2 e das externalidades negativas	Acesso a zonas restritas; menor congestionamento e pressão de estacionamento	Aumento ligeiro do tempo de entrega e sensibilidades aos tempos de paragem
EIT InnoEnergy (2024)	Vários arquétipos europeus	Vans, e-vans e frotas mistas (e-vans e e-cargo bikes)	Redução significativa dos custos e das emissões CO_2	Eficiência económica e compensação dos custos ocultos	Custos de implementação e a dependência das infraestruturas
Colonna et al. (2025)	Roma (Itália)	Vans, e-vans, e vans híbrida vs cargo bikes	Redução dos custos operacionais e das emissões CO_2	Baixos custos operacionais e baixas emissões CO_2	Dados limitados e a ausência de cenários híbridos

No que respeita às scooters, o presente trabalho considera o cenário das scooters a combustível, uma vez que continuam a ser amplamente utilizadas nas operações de última milha, especialmente no transporte de volumes mais leves e em serviços de food delivery. Embora a literatura recente se concentre predominantemente nas versões elétricas, em resultado dos objetivos de descarbonização (Arregui et al., 2025), as scooters a combustível mantêm uma presença significativa devido à sua flexibilidade operacional, a autonomia, a acessibilidade e ao menor custo inicial. De acordo com Arregui et al. (2025), os veículos de duas rodas desempenham um papel intermédio importante entre as e-cargo bikes e as vans, sendo adequados para diferentes contextos territoriais, quer sejam urbanos quer suburbanos. No entanto, as scooters a combustível apresentam desvantagens relevantes em termos das emissões e do ruído.

A análise das experiências europeias revela padrões consistentes no desempenho das soluções alternativas das entregas de última milha. De uma forma geral, a utilização das e-cargo bikes e das frotas híbridas, combinando as vans elétricas ou a combustível com as e-cargo bikes,

permite reduções significativas dos custos operacionais, das emissões de CO2 e de outras externalidades negativas, sobretudo em contextos urbanos e quando apoiadas por micro-hubs de consolidação. Ainda assim, estes estudos evidenciam também a existência de trade-offs relevantes, nomeadamente o aumento do tempo operacional, a limitação da capacidade para encomendas de maior dimensão e peso, o alcance das bicicletas de carga e a necessidade de infraestruturas adequadas. Apesar dos contributos significativos da literatura, verifica-se uma lacuna no que respeita à realização de análises custo-benefício completas e integradas que considerem, de forma simultânea, as múltiplas configurações da frota, como as vans a combustível, as e-vans, as e-cargo bikes e as soluções híbridas.

A literatura analisada demonstra que a escolha do meio de transporte para as entregas de última milha envolve trade-offs significativos entre o custo, a eficiência operacional e o impacto ambiental. Embora as soluções com as e-cargo bikes e as frotas híbridas apresentem vantagens claras em contextos urbanos, a sua viabilidade depende das características específicas de cada cidade. Neste sentido, torna-se essencial avaliar estas alternativas de forma integrada e adaptada ao contexto local. Deste modo, o presente trabalho procura colmatar esta lacuna através do desenvolvimento de uma análise custo-benefício multicenário, adaptada ao contexto específico do centro urbano de Braga, recorrendo aos pressupostos, as evidências e aos resultados discutidos ao longo da revisão da literatura. Assim, os estudos analisados fornecem um enquadramento robusto para a definição dos cenários e dos pressupostos económicos, ambientais e operacionais que serão desenvolvidos e explorados nos capítulos seguintes.

Em síntese, a revisão da literatura comprova que a logística urbana de última milha é um domínio marcado por pressões económicas, ambientais, sociais e operacionais, exigindo soluções mais flexíveis e sustentáveis. A evidência empírica indica que as e-cargo bikes, as vans elétricas e as soluções híbridas podem melhorar o desempenho global das operações, embora a sua eficácia dependa fortemente do contexto urbano, da infraestrutura disponível e da configuração da procura. Ao mesmo tempo, a literatura revela uma lacuna importante na avaliação integrada destas alternativas, o que justifica a abordagem de uma análise custo-benefício multicritério nesta dissertação e fundamenta a passagem para o capítulo metodológico.

3. Metodologia

A presente investigação segue uma abordagem quantitativa e aplicada, orientada para a avaliação e a comparação das diferentes soluções da distribuição de última milha no contexto urbano de Braga. O estudo assenta numa lógica comparativa entre os cenários alternativos, com o objetivo de analisar o seu desempenho económico, social, ambiental e operacional. Do ponto de vista metodológico, recorre-se à Análise Custo-Benefício (ACB) como a principal ferramenta de avaliação. A escolha desta abordagem justifica-se pela sua capacidade de integrar, numa métrica comum, expressa em termos monetários, os diferentes impactos associados às soluções em análise. Assim, para além dos custos financeiros diretos, são também considerados os efeitos indiretos e as externalidades sociais e ambientais, permitindo uma comparação mais completa e estruturada entre as alternativas logísticas distintas. Esta opção metodológica é particularmente adequada ao presente estudo, uma vez que a distribuição urbana de última milha envolve os impactos de natureza diversa, nem sempre diretamente comparáveis entre si. A utilização da ACB permite, por isso, avaliar o desempenho global de cada cenário de forma integrada, apoiando a identificação das soluções potencialmente mais eficientes e equilibradas do ponto de vista do interesse público e da viabilidade operacional.

3.1 Análise Custo-Benefício

A Análise Custo-Benefício (ACB) é uma ferramenta amplamente utilizada na avaliação dos projetos e das políticas, permitindo comparar os custos e os benefícios associados às diferentes alternativas através da sua expressão em unidades monetárias. Este processo torna possível quantificar, numa base comum, impactos que de outro modo seriam difíceis de comparar, como o tempo de viagem, as emissões poluentes, o ruído, a segurança rodoviária ou os efeitos na qualidade de vida. A metodologia assenta, assim, na monetização dos impactos relevantes, o que facilita a análise dos ganhos e das perdas associados a cada opção em estudo (Bothof et al., 2025; Konečný et al., 2025). Sempre que possível, a valorização dos impactos é efetuada com base nos preços de mercado. Nos casos em que tal não é viável, recorrem-se aos preços sombra ou a proxies adequadas, com base nos mercados relacionados ou em métodos assentes na disposição a pagar dos cidadãos pelas melhorias marginais, como a redução do tempo de viagem ou a melhoria da qualidade do ar. Posteriormente, são aplicadas as taxas de desconto, de forma a incorporar os custos de oportunidade, o risco e a preferência temporal. Os efeitos são então agregados em indicadores finais, como a relação custo-benefício (RCB), a taxa interna de rentabilidade (TIR) ou o valor presente líquido (VPL), permitindo avaliar a conveniência relativa de cada cenário (Bothof et al., 2025).

No setor dos transportes, a análise custo-benefício tem sido amplamente aplicada devido à sua utilidade na avaliação da eficiência, na utilização dos recursos e no apoio à tomada de decisão estratégica, tanto no setor público como no privado. Para além dos custos financeiros diretos, esta abordagem permite incorporar os impactos intangíveis, como o ruído, a segurança e os diversos efeitos ambientais e sociais, proporcionando uma leitura mais abrangente do desempenho de cada alternativa. Neste sentido, a participação das partes interessadas assume também um papel relevante, na medida em que contribui para uma decisão mais informada e mais sensível às necessidades do contexto analisado (Konečný et al., 2025).

No âmbito da logística urbana e da distribuição de última milha, a aplicação da análise custo-benefício permite avaliar, de forma integrada, os custos e os benefícios económicos, sociais, ambientais e operacionais associados a soluções como as bicicletas de carga elétricas, as carrinhas elétricas e os cenários híbridos. Os custos financeiros incluem, principalmente, o investimento inicial, a aquisição dos veículos, a manutenção, o combustível ou a eletricidade, a formação dos colaboradores e os custos associados às infraestruturas de apoio. Por sua vez, os benefícios podem incluir ganhos de eficiência, da poupança de tempo, da redução das externalidades negativas, da melhoria da qualidade do ar, da diminuição do ruído e de outros impactos positivos associados à operação logística, nomeadamente a valorização imobiliária e os efeitos no emprego. Os critérios ecológicos pretendem avaliar os impactos ambientais locais e globais, enquanto os critérios sociais consideram o bem-estar humano, como a acessibilidade, a saúde e os impactos na comunidade (Bothof et al., 2025).

3.2 Definição e classificação dos indicadores

Com base na revisão da literatura e na adequação ao contexto específico do estudo, foi definido um conjunto de indicadores com o objetivo de avaliar os impactos associados às diferentes alternativas da entrega de última milha. A seleção dos indicadores procurou garantir a representatividade das principais dimensões da análise, bem como a sua relevância prática e a possibilidade de quantificação. Os indicadores foram organizados em quatro categorias principais: económicas, sociais, ambientais e operacionais. Posteriormente, foram classificados como custos ou benefícios, de acordo com o seu contributo para o desempenho global das alternativas analisadas. Esta estrutura permite comparar os diferentes cenários de uma forma integrada, incluindo as externalidades e os efeitos indiretos relevantes para a sociedade e para o ambiente, bem como analisar os trade-offs entre as várias dimensões da avaliação.

Os indicadores económicos visam avaliar os custos e os benefícios financeiros associados à operação dos diferentes meios de transporte. Neste grupo, incluem-se os custos com o consumo do combustível e da energia (Temporelli et al., 2022; Veličković et al., 2025), as manutenções dos veículos (Veličković et al., 2025), os custos com a mão-de-obra (Veličković et al., 2025), os custos do investimento inicial, nomeadamente a aquisição dos veículos e das infraestruturas associadas (Veličković et al., 2025), a formação dos colaboradores (Gruber et al., 2024), os custos com o estacionamento ou as paragens ilegais, bem como as despesas relacionadas com as certificações e com os seguros dos veículos e o espaço necessário para o armazenamento da frota (Veličković et al., 2025). É igualmente considerada a vida útil dos veículos (Temporelli et al., 2022), de forma a permitir a anualização do custo com o investimento inicial. Por outro lado, os indicadores económicos incluem também as variáveis associadas à eficiência operacional, como o tempo de viagem e da entrega (Veličković et al., 2025), os custos associados aos atrasos decorrentes do congestionamento urbano (Veličković et al., 2025), a produtividade por colaborador (Gruber et al., 2024) e a adequação do meio de transporte ao tipo e ao volume da carga transportada (Gruber et al., 2024). Estes fatores permitem avaliar a competitividade económica das alternativas analisadas, bem como o seu impacto nos custos operacionais globais.

Os indicadores sociais procuram captar os impactos das alternativas do transporte no bem-estar da população e na qualidade de vida urbana. Neste grupo incluem-se fatores como o ruído (Veličković et al., 2025), o impacto no espaço urbano, o congestionamento urbano (Veličković et al., 2025), a vivência dos espaços públicos, a poluição atmosférica (Temporelli et al., 2022; Veličković et al., 2025) e os seus efeitos na qualidade do ar (Veličković et al., 2025), bem como a ocorrência dos acidentes (Veličković et al., 2025) e os níveis da segurança rodoviária (Veličković et al., 2025). Adicionalmente, podem ser também considerados os aspetos relacionados com a aceitação dos operadores (Gruber et al., 2024) face a determinados veículos, nomeadamente ao conforto, às condições de trabalho e a exposição às condições climáticas. A inclusão social constitui igualmente um indicador relevante, uma vez que determinados modos de transporte, como as bicicletas de carga, não exigem carta de condução e podem, assim, alargar o acesso ao emprego. Outros fatores analisados incluem a acessibilidade urbana e os impactos na saúde pública.

Os indicadores ambientais avaliam os impactos das alternativas dos veículos no meio ambiente. Desta forma, consideram-se as emissões de gases com efeito de estufa, incluindo as emissões de CO2 (Temporelli et al., 2022), o consumo energético (Gruber et al., 2024) associado às diferentes fontes de energia e os efeitos na qualidade do ar (Temporelli et al., 2022; Veličković et

al., 2025). São também analisadas a compatibilidade das alternativas com as políticas ambientais (Gruber et al., 2024) em vigor e as questões relacionadas com o fim de vida dos veículos, incluindo o potencial da reciclagem dos materiais. Estes indicadores permitem avaliar o contributo de cada alternativa para a transição de modos de transporte mais sustentáveis e para a mitigação dos impactos ambientais associados à logística urbana.

Os indicadores operacionais destinam-se a avaliar o desempenho funcional das alternativas no contexto da logística de última milha. Entre estes incluem-se fatores como o tempo médio de entrega, a capacidade dos veículos, a flexibilidade operacional, a fiabilidade e a previsibilidade das rotas, a facilidade de estacionamento ou de paragem, o acesso a zonas urbanas restritas, a dependência das infraestruturas disponíveis e as limitações impostas pelas condições climáticas. Estes indicadores permitem avaliar a adequação operacional de cada alternativa às exigências específicas da distribuição urbana, refletindo a sua capacidade de resposta face às características do território e da procura (Gruber et al., 2024).

No âmbito da aplicação da análise custo-benefício, foi necessário classificar os indicadores como custos ou benefícios, de forma a permitir a sua integração numa função de avaliação agregada e comparável entre os diferentes cenários. Esta classificação foi realizada com base na forma como cada indicador influência o desempenho do sistema, considerando-se como custos todos os indicadores associados aos encargos diretos, às perdas de eficiência e às externalidades negativas, enquanto os benefícios correspondem aos ganhos operacionais, às poupanças e aos impactos positivos gerados pela operação logística. Importa salientar que alguns dos indicadores podem apresentar uma natureza dual, podendo traduzir-se em custos ou em benefícios consoante o contexto da análise e da perspetiva considerada. No entanto, para efeitos da modelação, foi adotada uma classificação única e consistente para cada indicador, com base na sua interpretação dominante no contexto das operações da distribuição urbana de última milha. Esta opção metodológica permite assegurar a coerência interna do modelo e a comparabilidade dos resultados, sendo que os efeitos positivos ou negativos são refletidos através da variação dos valores associados a cada indicador e em cada cenário analisado.

A tabela 2 apresenta os indicadores considerados na análise, organizados por categoria, assim como a respetiva classificação adotada no modelo.

Tabela 2 - Indicadores e respetiva classificação

Categoria	Indicador	Classificação
Económicos	Investimento Inicial	Custo
	Depreciações	Custo
	Espaço para armazenamento da frota	Custo
	Consumo de combustível/eletricidade	Custo
	Manutenções	Custo
	Seguros/certificações c/veículos	Custo
	Custos com o trabalhador	Custo
	Custos com os atrasos	Custo
	Paragens ilegais	Custo
	Produtividade	Benefício
	Adequação ao tipo/volume de carga	Custo
Sociais	Poluição atmosférica	Custo
	Ruído	Custo
	Impacto no espaço urbano	Custo
	Congestionamento Social	Custo
	Acessibilidade urbana	Benefício
	Acidentes	Custo
	Saúde pública	Custo
Ambientais	Emissões de gases com efeitos de estufa	Custo
	Qualidade do ar	Custo
	Fim de vida/reciclagem	Custo
	Compatibilidade c/políticas ambientais	Benefício
Operacionais	Tempo médio de entrega	Custo
	Capacidade de veículos	Custo
	Acesso a zonas urbanas restritas	Benefício
	Estacionamento/paragem	Custo
	Infraestruturas disponíveis	Benefício
	Limitações p/condições climáticas	Custo
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	Custo
	Flexibilidade operacional	Benefício

Em síntese, a metodologia adotada permite avaliar as diferentes soluções da entrega de última milha de forma integrada, combinando uma abordagem quantitativa com uma estrutura de análise custo-benefício multicritério. Esta opção torna possível comparar os cenários distintos com base num conjunto alargado de indicadores económicos, sociais, ambientais e operacionais, assegurando uma leitura mais completa do seu desempenho global. Ao integrar os custos e os benefícios numa base comum, o modelo desenvolvido oferece um suporte robusto à tomada de decisão, permitindo identificar as alternativas mais equilibradas para o contexto urbano de Braga. Além disso, a estrutura metodológica adotada cria uma base consistente para a análise dos resultados e para a discussão das implicações práticas do estudo nos capítulos seguintes.

4. Problema de última milha

4.1 Contexto do caso de estudo

O presente estudo incide sobre o contexto urbano do município de Braga, capital do distrito localizada na região norte (NUTS II) e na sub-região do Cávado (NUTS III). O concelho abrange uma área de aproximadamente 183 km^2 e constitui uma das principais aglomerações urbanas do país, assumindo-se como o município mais populoso da sub-região (CIM Cávado (Coordenação) et al., 2024). De acordo com os censos de 2021, Braga registava 193.324 habitantes, sendo o concelho português com maior crescimento populacional no período intercensitário 2011–2021. As estimativas populacionais mais recentes apontam para uma densidade aproximada de 1.099 habitantes por km^2. Esta elevada densidade populacional, particularmente concentrada nas freguesias que constituem o centro urbano, traduz-se numa forte pressão sobre o espaço urbano e numa elevada intensidade das deslocações diárias (CIM Cávado (Coordenação) et al., 2024).

O carácter relativamente compacto da cidade de Braga constitui simultaneamente uma oportunidade e um desafio para o planeamento da mobilidade urbana sustentável. Por um lado, favorece a adoção de modos de transporte mais sustentáveis e eficientes, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e para a humanização do espaço público. Por outro lado, a concentração das atividades económicas e a priorização dada ao automóvel nas deslocações contribuem para os elevados níveis da poluição atmosférica, do ruído, do congestionamento e da sinistralidade (Teles et al., 2020). Neste contexto, a gestão da logística urbana assume particular relevância, sobretudo no centro urbano e histórico, onde existe maior concentração das atividades comerciais e da população. Torna-se, assim, necessário promover soluções de micrologística que apoiem as operações de carga e de descarga, nomeadamente através da criação de infraestruturas locais de apoio e da organização da distribuição a partir de pontos periféricos (Teles et al., 2020).

O crescimento do comércio eletrónico, aliado à elevada densidade populacional e à crescente diversificação socioeconómica, tem intensificado as dinâmicas urbanas e a procura por bens e serviços, conduzindo a um aumento do volume das encomendas distribuídas diariamente e, consequentemente, uma maior circulação dos veículos de distribuição das operações de última milha. Neste contexto, o carácter relativamente compacto da cidade e a aposta municipal na promoção do modo ciclável criam condições potencialmente favoráveis à adoção das soluções alternativas da distribuição urbana, baseadas em veículos de menor dimensão e com menor impacto ambiental, como os veículos elétricos e as bicicletas de carga. Assim, a realidade urbana de Braga constitui um caso de estudo particularmente pertinente, uma vez que reúne simultaneamente os

desafios associados à logística urbana e as condições favoráveis à adoção de soluções de entrega mais sustentáveis.

4.2 Descrição dos cenários

No âmbito da presente análise custo-benefício e tendo em conta a literatura existente, bem como as características do centro urbano de Braga, foram definidos os diferentes cenários para as entregas de última milha, com o objetivo de comparar, de forma estruturada, o desempenho económico, social, ambiental e operacional das soluções logísticas potencialmente aplicáveis a este contexto. A abordagem baseada em vários cenários permite avaliar sistematicamente os impactos associados a cada tipologia dos veículos e dos modelos de operação, assegurando a comparabilidade dos resultados sob um conjunto comum de pressupostos. Neste sentido, foram considerados cenários baseados na utilização exclusiva de um único meio de transporte, assim como cenários híbridos, que combinam os diferentes modos de transporte e procuram explorar as complementaridades operacionais e maximizar a eficiência global do sistema logístico urbano.

A tabela 3 apresenta os cenários considerados na análise. Nos cenários que incluem os micro-hubs, assume-se a sua localização estratégica nas proximidades das áreas de distribuição, permitindo a transferência da carga entre os veículos de maior e de menor dimensão. O número de veículos foi estimado com base num volume diário de 3 000 entregas.

Tabela 3 - Cenários da entrega de última milha no centro urbano de Braga

Cenário	Tipo de operação	Veículos	Nº Veículos	Micro-hub	Observação principal
Cenário Base	Distribuição direta	Vans a combustível	34	Não	Cenário de referência
Cenário 1	Distribuição direta	Vans elétricas	34	Não	Menor impacto ambiental
Cenário 2	Distribuição urbana leve	Bicicletas de Carga elétricas	75	Sim	Maior adequação ao centro
Cenário 3	Distribuição direta	Scooters	47	Não	Elevada agilidade urbana
Cenário Híbrido 1	Alimentação + Distribuição capilar	Vans a combustível + Bicicletas de carga elétricas	20 Vans + 9 Bikes	Sim	Solução intermédia
Cenário Híbrido 2	Alimentação + Distribuição capilar	Vans elétricas + Bicicletas de carga elétricas	20 Vans + 9 Bikes	Sim	Maior sustentabilidade

O cenário base considera a utilização exclusiva das vans a combustível nas entregas de última milha no centro urbano. Este cenário representa o tradicional modelo de distribuição das encomendas, ainda amplamente utilizado pelos operadores da logística, e serve como ponto de referência para a comparação com as restantes alternativas. Este tipo de veículo apresenta vantagens ao nível da capacidade de carga, da autonomia e da flexibilidade operacional, permitindo responder aos diferentes tipos da procura e as distintas estruturas de distribuição. Contudo, está associado a diversos impactos negativos significativos, nomeadamente as emissões de gases com efeito de estufa, os poluentes atmosféricos, os níveis do ruído urbano e um contributo relevante para o congestionamento rodoviário. Estes fatores têm vindo a motivar a procura de soluções alternativas mais sustentáveis e eficientes para as operações da entrega de última milha.

Para além do cenário base, foram definidos três cenários alternativos baseados na utilização exclusiva de um único meio de transporte, permitindo avaliar o desempenho individual das diferentes soluções. Um dos cenários consiste na utilização integral das vans elétricas nas entregas de última milha. A eletrificação do setor dos transportes tem vindo a assumir um papel crescente nas políticas da mobilidade sustentável, refletindo-se numa adoção gradual dos veículos comerciais elétricos. Além disso, as vans elétricas apresentam características semelhantes às vans convencionais, nomeadamente ao nível da capacidade da carga, da organização das rotas e da gestão do tempo, o que pode facilitar a sua integração nas operações logísticas já existentes. Do ponto de vista ambiental, destacam-se pela ausência das emissões diretas da poluição atmosférica e pela redução do ruído urbano, contribuindo para uma melhoria da qualidade ambiental e social. No entanto, a sua adoção pode implicar desafios, sobretudo ao nível do investimento inicial, da autonomia e da necessidade de infraestruturas de carregamento.

Outro cenário alternativo é a utilização das bicicletas de carga elétricas para a realização das entregas de última milha no centro urbano. Este tipo de solução tem vindo a ser testado e a ganhar relevância em diversas cidades europeias, sobretudo nas áreas urbanas densas e com restrições à circulação automóvel, sendo frequentemente associado aos modelos da micrologística urbana. A reduzida dimensão destes veículos facilita a circulação nas ruas estreitas e melhora o acesso às zonas centrais, permitindo uma maior proximidade dos pontos de entrega. Entre as principais vantagens destacam-se a inexistência das emissões diretas da poluição e do ruído, o reduzido consumo energético e a menor ocupação do espaço público. Estas características podem ainda contribuir para mitigar os impactos negativos frequentemente associados às entregas de última milha urbana, como o congestionamento, a pressão sobre o estacionamento e a degradação da qualidade

do espaço público. Adicionalmente, a menor dimensão destes veículos pode contribuir para uma menor interferência visual no espaço urbano, particularmente nas zonas históricas ou mais turísticas, onde a presença dos veículos de maior dimensão pode afetar a perceção estética do espaço público. No entanto, esta solução também apresenta limitações operacionais, nomeadamente ao nível da capacidade da carga, da autonomia, da sensibilidade à distância das rotas, à topografia do território e a determinadas condições climatéricas, o que pode condicionar a sua aplicabilidade em alguns contextos.

Foi igualmente considerado um cenário baseado na utilização das scooters a combustível para as entregas. A inclusão deste meio de transporte justifica-se pelo facto de refletir as práticas operacionais já existentes, nomeadamente nas encomendas de pequena dimensão e nos serviços de entregas rápidas, como a entrega das refeições. As scooters apresentam uma elevada agilidade no meio urbano, permitindo uma circulação mais fácil em situações de congestionamento, bem como uma maior facilidade de estacionamento e de acesso às zonas com espaço limitado. Estas características podem traduzir-se em ganhos de eficiência operacional em determinados tipos de serviço. Por outro lado, apresentam limitações ao nível da capacidade de carga, sendo mais adequadas para as entregas de pequena dimensão. Acresce ainda que, à semelhança das vans a combustível, estão associadas aos impactos ambientais negativos, nomeadamente a poluição atmosférica e ao ruído, o que limita o seu contributo para a sustentabilidade urbana. Ainda assim, a sua inclusão nesta análise permite refletir de forma mais realista a diversidade das soluções atualmente utilizadas.

Para além dos cenários assentes num único meio de transporte, foram também considerados cenários híbridos, que combinam diferentes tipos de veículos. A inclusão destes cenários justifica-se pelo facto de, na prática, muitas operações de logística urbana adotarem soluções combinadas, procurando tirar partido das vantagens específicas de cada um dos modos de transporte. Assim, esta abordagem permite explorar as estratégias potencialmente mais flexíveis, eficientes e sustentáveis, ajustadas às características do território e à diversidade da procura.

Um dos cenários híbridos combina a utilização das vans a combustível com as bicicletas de carga elétricas. As vans são utilizadas para percursos de maior distância e para o transporte das encomendas com maior volume e peso, enquanto as bicicletas de carga asseguram a distribuição das entregas nas zonas mais centrais da cidade, onde apresentam as vantagens ao nível da acessibilidade e da circulação. Esta configuração permite reduzir parcialmente os impactos ambientais associados às operações de última milha, sem exigir uma substituição total da frota

existente. Adicionalmente, pode também constituir uma estratégia de transição, permitindo às empresas testar a viabilidade operacional das bicicletas de carga de forma gradual. Assim, o objetivo desta abordagem não é a substituição total de um meio de transporte por outro, mas sim a sua complementaridade, maximizando a eficiência global do sistema.

Por fim, foi considerado um cenário híbrido que combina as vans elétricas com as bicicletas de carga elétricas. Esta solução procura integrar os benefícios ambientais associados à eletrificação da frota com as vantagens operacionais de ambos os veículos. As vans elétricas asseguram o transporte de maior escala, enquanto as bicicletas são utilizadas na distribuição final, particularmente nas zonas com restrições de circulação ou de elevada densidade. Este cenário representa uma abordagem potencialmente mais alinhada com os objetivos da sustentabilidade urbana, podendo constituir uma estratégia intermédia na transição para os sistemas das entregas de última milha mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

4.3 Descrição do modelo

O presente estudo recorre ao modelo da análise custo-benefício com o objetivo de avaliar o desempenho das diferentes soluções da entrega de última milha no contexto urbano de Braga. O modelo considera quatro tipos de meios de transporte: as vans a combustível, as vans elétricas, as bicicletas de carga elétricas e as scooters a combustível, permitindo comparar os diversos cenários sob as mesmas condições estruturais. Para além dos custos diretos da operação, são igualmente considerados os impactos sociais e ambientais associados a cada alternativa, assegurando uma avaliação integrada do seu desempenho no contexto em análise. Importa salientar que, na ausência de dados empíricos detalhados e específicos para o contexto urbano de Braga, os parâmetros utilizados assumem um carácter representativo. Estes foram definidos com base na literatura, em relatórios, em dados de mercado referentes a valores médios de 2025 e em pressupostos técnicos ajustados à escala urbana em análise. Neste sentido, o modelo não reproduz com exatidão uma operação logística real, mas sim uma aproximação consistente que permite analisar e comparar o desempenho relativo das diferentes soluções de distribuição urbana, bem como os trade-offs entre as várias dimensões consideradas.

4.3.1 Estrutura do modelo e pressupostos

Tendo em consideração a dimensão urbana, a densidade populacional e a intensidade das atividades económicas no centro urbano de Braga, foram consideradas, para efeitos de modelação, um volume anual de 750 000 encomendas. Este valor constitui uma estimativa representativa da potencial procura dos serviços das entregas de última milha no contexto urbano em análise. O volume

anual foi distribuído por 250 dias de operação, correspondendo aproximadamente ao número médio de dias úteis por ano, resultando numa média diária de cerca de 3 000 entregas, com um período diário de operação de 8 horas. A unidade funcional adotada corresponde, assim, ao volume anual das entregas no sistema logístico urbano, permitindo avaliar e comparar os diferentes cenários em termos económicos, sociais, ambientais e operacionais sob as mesmas condições.

O modelo da análise custo-benefício integra um conjunto estruturado de parâmetros de natureza económica, social, ambiental e operacional, que suportam o cálculo dos indicadores de desempenho associados a cada cenário. A tabela 4 apresenta um resumo dos principais parâmetros utilizados, discriminados por tipo de veículo, sendo que, a listagem completa dos parâmetros encontra- se no apêndice A – Parâmetros detalhados do modelo.

Tabela 4 - Principais parâmetros do modelo

Parâmetro	Vans	E- Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Unidade	Fonte/pressuposto
N° de veículos	34	34	75	47	n° de veículos	Baseado nas 3000 entregas/dia
Investimento inicial	30 000,00 €	45 000,00 €	6 000,00 €	4 000,00 €	€	Valores médios do mercado (2025)
Vida útil do veículo	8	10	6	5	anos	Literatura e especificações técnicas
Consumo combustível eletricidade	9	18	3	3	L/100 km kWh/100km	Especificações técnicas dos veículos
Preço combustível eletricidade	1,65 €	0,30 €	0,30 €	1,65 €	€/L €/kWh	Valores médios do mercado (2025)
Manutenção anual	1 500,00 €	1 000,00 €	300,00 €	600,00 €	€/ano	Valores médios do setor
Horas de trabalho p/ano	2 000	2 000	2 000	2 000	h/ano	Legislação
Salário anual e encargos	26 333,65 €	26 333,65 €	26 333,65 €	26 333,65 €	€/ano	Valores médios do setor
Emissões GEE	180	50	5	75	g CO_2 eq/km	Literatura e relatórios
Custo Social do Carbono	80,00 €	80,00 €	80,00 €	80,00 €	€/ton CO_2 eq	Literatura e relatórios
Tempo médio por rota	1	1	0,67	0,75	hora/rota	Estimativa baseada no modelo e no contexo
N° de rotas p/dia	8	8	10	9	n° rotas p/dia	Estimativa baseada no modelo e no contexo

Os parâmetros económicos incluem o investimento inicial dos veículos, a depreciação associada à respetiva vida útil, os custos com o combustível ou a eletricidade, os custos da manutenção anual dos veículos, os seguros e/ou as eventuais certificações, bem como os custos com os trabalhadores, incluindo a remuneração, os encargos sociais e a formação. Adicionalmente, são considerados os custos indiretos associados à operação, como os atrasos operacionais, decorrentes do congestionamento, os custos com o estacionamento, com as necessidades do espaço

para o armazenamento da frota e os custos adicionais relacionados com as limitações da capacidade de carga dos veículos. Foram igualmente integrados os parâmetros de natureza social e ambiental, com o objetivo de estimar os impactos externos associados às diferentes tipologias dos veículos, nomeadamente ao nível das emissões dos gases com efeito de estufa, da qualidade do ar, do ruído, do congestionamento e da sinistralidade rodoviária. Por fim, o modelo incorpora os parâmetros operacionais relacionados com o desempenho funcional dos veículos, como os tempos médios de entrega, a adequação ao contexto, a facilidade de acesso às zonas restritas e as possíveis limitações operacionais associadas às condições climatéricas.

O modelo desenvolvido baseia-se no conjunto dos indicadores definidos no capítulo anterior, os quais permitem captar, de forma estruturada, as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais da distribuição de última milha. No âmbito do presente modelo, estes indicadores são quantificados e convertidos em valores monetários anuais, de modo a possibilitar a sua integração numa análise custo-benefício consistente. Cada indicador é calculado com base nos parâmetros definidos e aplicado de forma uniforme a todos os cenários considerados, garantindo a comparabilidade dos resultados. O contributo de cada indicador para o desempenho global varia consoante o cenário analisado, sendo os seus efeitos incorporados como custos ou benefícios, de acordo com a classificação metodológica previamente estabelecida. Esta abordagem permite integrar tanto os custos diretos como as externalidades associadas às diferentes soluções da distribuição urbana, assegurando uma avaliação global e coerente do seu desempenho.

De forma a assegurar a consistência da análise custo-benefício e a comparabilidade entre os cenários, foi considerado um conjunto de pressupostos fundamentais, apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Principais pressupostos do modelo

Pressuposto	Descrição	Justificação
Volume anual de encomendas	Constante, 750 000 encomendas por ano	Não são consideradas variações sazonais significativas
Nº dos veículos e dos colaboradores	Constantes	Permite a comparabilidade direta entre os cenários
Desempenho técnico dos veículos	Constante ao longo da sua vida útil	Assume-se uma estabilidade dos custos médios das manutenções e dos seguros
Tempos médios de entrega	Constantes	Consideram-se condições médias do congestionamento urbano, sem variações extremas
Custos com os trabalhadores	Constantes	Baseados nos valores médios anuais, sem considerar as progressões salariais ou as alterações legislativas
Preços energéticos	Constantes (valores médios de 2025)	Não são consideradas as flutuações de mercado ou os choques energéticos
Estrutura operacional	Sem alterações ao longo da análise	Não são consideradas as adaptações dinâmicas da operação logística
Horizonte temporal da análise	Anual	Permite uniformizar a comparação entre os cenários e simplificar a análise custo-benefício

Estes pressupostos constituem uma simplificação da realidade operacional, permitindo a construção de um modelo analítico coerente e comparável entre as diferentes alternativas. Em particular, assume-se a estabilidade da procura, dos recursos operacionais e das condições de funcionamento ao longo do horizonte temporal considerado, o que possibilita a análise dos impactos médios anuais por cenário. O modelo segue, assim, uma abordagem determinística e estática, não incorporando explicitamente as variações sazonais, as flutuações dos preços ou a incerteza operacional. Embora esta simplificação constitua uma limitação, contribui para uma maior transparência do modelo e para a consistência da comparação entre os cenários. Ainda assim, com o objetivo de avaliar a robustez dos resultados, são realizadas análises de sensibilidade no capítulo de resultados, incidindo sobre os principais indicadores do modelo. Esta abordagem permite mitigar parcialmente a ausência da variabilidade, reforçando a validade das conclusões obtidas. Os pressupostos adotados revelam-se adequados à escala e ao contexto do centro urbano de Braga, assegurando um equilíbrio entre a simplificação metodológica e a capacidade explicativa do modelo.

4.3.2 Formulação do modelo

A presente secção apresenta a formulação do modelo e as expressões de cálculo utilizadas na monetização dos indicadores considerados. As fórmulas definidas permitem converter os diferentes parâmetros em valores monetários anuais, assegurando a coerência metodológica e a comparabilidade entre os cenários analisados. Para esse efeito, as variáveis são definidas de uma forma uniforme e aplicadas transversalmente a todas as alternativas. As expressões apresentadas estruturam a quantificação dos custos e dos benefícios, constituindo a base da análise comparativa desenvolvida no presente estudo.

Na categoria dos indicadores económicos, foram utilizadas as seguintes formulações para estimar os custos diretos associados à operação logística.

O investimento anualizado corresponde à distribuição do custo de aquisição dos veículos ao longo da sua vida útil, refletindo assim o encargo anual associado ao capital investido.

$$(1)\quad Custo_{Investimento} = \frac{Preço \times N°_{Veículos}}{Vida\ útil}$$

O custo associado ao consumo do combustível ou da energia representa o encargo necessário à realização das operações de entrega, variando em função da tipologia do veículo utilizado.

$$(2)\quad Custo_{Combustível/eletricidade} = Consumo_{p/km} \times Km_{Anuais} \times Preço \times N°_{Veículos}$$

Os custos com as manutenções correspondem às despesas associadas à conservação da frota, nomeadamente as revisões periódicas, as intervenções preventivas e as reparações.

$$(3)\quad Custo_{Manutenção} = Custo_{\ Manutenção} \times N°_{Veículos}$$

Os custos com os seguros e os encargos legais refletem as despesas anuais associadas aos seguros, aos impostos e as inspeções obrigatórias, garantindo a conformidade legal e a cobertura dos riscos.

$$(4)\quad Custo_{Seguros} = Custo_{\ Anual} \times N°_{Veículos}$$

Os custos com os trabalhadores incluem a remuneração bruta, os encargos sociais suportados pela entidade empregadora e a formação dos colaboradores.

$$(5)\quad Custo_{RH} = (Salário + Formação + Enc.\ Sociais) \times N°_{Colaboradores}$$

Os custos associados aos atrasos resultam da perda da eficiência operacional provocada essencialmente pelo congestionamento urbano, traduzindo-se num aumento do tempo da operação.

$$(6)\quad Custo_{Atrasos} = Horas_{Trabalho} \times\ \%\ Tempo_{Perdido} \times Custos_{Atrasos} \times N°_{Veículos}$$

Os custos relacionados com as infrações de estacionamento refletem as penalizações decorrentes das paragens indevidas.

$$(7)\quad Custo_{Paragens} = N°_{Multas} \times Valor_{Multa} \times N°_{Veículos}$$

A produtividade pretende medir a capacidade dos trabalhadores em realizar as entregas, avaliando a eficiência operacional através de tipo de veículo utilizado e, indiretamente, o valor económico gerado.

$$(8)\quad Benefício_{Produtividade} = Entregas_{P/hora} \times Horas_{Trabalho} \times Margem_{P/entrega} \times N°_{Colaboradores}$$

O custo da adequação operacional reflete a incapacidade de determinados veículos responderem às exigências da carga, implicando a necessidade de recursos adicionais.

$$(9)\quad Custo_{Adequação} = Custo_{P/veículo} \times \%\ de\ veículos_{Adicionais}$$

Os indicadores sociais pretendem quantificar os custos indiretos e os benefícios da atividade logística no bem-estar da população e o no espaço urbano.

Os custos associados à poluição atmosférica resultam das emissões de poluentes geradas pelas operações de distribuição, que afetam diretamente a saúde pública e a qualidade de vida urbana.

$$(10)\quad Custo_{Poluição} = Emissões_{P/km} \times Km_{Anuais} \times Custo_{Social} \times N°_{Veículos}$$

Os custos com o ruído pretendem estimar os impactos negativos da circulação dos veículos de distribuição no meio urbano.

$$(11)\quad Custo_{Ruído} = Custo_{Social\ Ruído} \times N°_{Veículos}$$

O impacto no espaço urbano reflete os efeitos da ocupação temporária do espaço público pelos veículos das entregas nas zonas centrais e turísticas, como a obstrução da circulação pedonal, a interferência com as atividades económicas e a degradação do espaço urbano.

$$(12)\quad Custo_{Impacto\ Urbano} = Custo_{Tempo\ parado} \times N°_{Veículos}$$

O congestionamento urbano representa o custo associado ao tempo perdido pelos utilizadores do espaço urbano.

$$(13)\quad Custo_{Congestionamento} = Horas_{Perdidas} \times Valor_{Tempo\ população} \times N°_{Veículos}$$

O benefício associado à acessibilidade urbana reflete a capacidade de os veículos operarem em zonas com restrições de circulação, reduzindo os tempos operacionais.

$$(14)\quad Benefício_{Acessibilidade} = \frac{Tempo_{\ Poupado\ p/rota}}{60} \times N°_{Rotas} \times Custo_{P/Trabalhador\ p/hora}$$

Os custos com os acidentes refletem os impactos económicos da sinistralidade rodoviária, incluindo os custos médicos, a perda de produtividade e os custos intangíveis com o bem-estar da população.

$$(15)\quad Custo_{Acidentes} = Km_{Anuais} \times Taxa_{Acidentes} \times Custo_{Social} \times N°_{Veículos}$$

O custo associado à saúde pública traduz os impactos da atividade logística na capacidade produtiva dos trabalhadores devido a problemas de saúde relacionados, direta ou indiretamente, com a atividade das entregas.

$$(16)\ \text{Custo}_{\text{Saúde}} = \text{Dias}_{\text{Baixa}} \times \text{Custo}_{\text{P/Trabalhador p/hora}} \times \text{N}^{\circ}_{\text{Dias Trabalho}} \times \text{N}^{\circ}_{\text{Colaboradores}}$$

Os indicadores ambientais visam quantificar os impactos associados às emissões e ao consumo de recursos decorrentes das operações da distribuição de última milha.

As emissões de gases com efeitos de estufa são estimadas com base nos fatores das emissões dos veículos e na distância percorrida, sendo valorizadas através do custo social do carbono.

$$(17)\ \text{Custo}_{\text{GEE}} = \text{Emissões}_{\text{P/km}} \times \text{Km}_{\text{Anuais}} \times \text{Custo}_{\text{Social carbono}} \times \text{N}^{\circ}_{\text{Veículos}}$$

O impacto na qualidade do ar corresponde à monetização das emissões dos poluentes atmosféricos locais associadas à circulação dos veículos.

$$(18)\ \text{Custo}_{\text{Qualidade ar}} = \text{Km}_{\text{Anuais}} \times \text{Custo}_{\text{Poluição}} \times \text{N}^{\circ}_{\text{Veículos}}$$

O custo associado ao fim da vida dos veículos reflete as despesas do tratamento, da reciclagem e do desmantelamento, distribuídas ao longo da sua vida útil.

$$(19)\ \text{Custo}_{\text{Fim de vida}} = \text{Peso}_{\text{Veículo}} \times \frac{\text{Custo}_{\text{Tratamento}}}{\text{Vida útil}} \times \text{N}^{\circ}_{\text{Veículos}}$$

O benefício associado à compatibilidade com as políticas ambientais traduz os ganhos decorrentes do cumprimento das medidas regulatórias, como acesso a zonas de baixas emissões.

$$(20)\ \text{Benefício}_{\text{Compatibilidade}} = \text{Taxa}_{\text{Ambiental}} \times \text{N}^{\circ}_{\text{Entradas}} \times \text{Fator}_{\text{Acesso}}$$

Os indicadores operacionais pretendem avaliar o desempenho funcional do sistema logístico, refletindo a eficiência e a capacidade da resposta das diferentes soluções de distribuição.

O custo com o tempo médio de entrega representa o tempo despendido pelo operador por entrega, influenciando diretamente a eficiência global do sistema.

$$(21)\ \text{Custo}_{\text{Entrega}} = \text{N}^{\circ}_{\text{Entregas}} \times \frac{\text{Tempo médio}_{\text{P/entrega}}}{60} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

O custo associado à capacidade dos veículos reflete o impacto do número das rotas necessárias na operação logística.

$$(22)\ \text{Custo}_{\text{Capacidade}} = \text{N}^{\circ}_{\text{Rotas}} \times \text{Tempo médio}_{\text{P/rota}} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

O benefício relacionado com o acesso às zonas restritas traduz a redução do tempo operacional devido à maior eficiência da circulação, evitando os desvios e os atrasos.

$$(23)\ \text{Benefício}_{\text{Acesso}} = \text{N}^{\circ}_{\text{Rotas}} \times \%\ \text{de acesso} \times \text{Tempo}_{\text{Poupado}} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

Os custos com a dificuldade do estacionamento e ou da paragem refletem o aumento do tempo improdutivo durante a realização das entregas.

$$(24)\ \text{Custo}_{\text{Estacionamento}} = \text{N}^{\circ}_{\text{Entregas}} \times \frac{\text{Tempo}_{\text{Perdido}}}{60} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

O benefício da existência das infraestruturas disponíveis e adaptadas demonstra a redução do tempo da operação, devido às condições logísticas mais favoráveis, aumentando a eficiência logística.

$$(25)\ \text{Benefício}_{\text{Infraestruturas}} = \text{N}^{\circ}_{\text{Rotas}} \times \frac{\text{Tempo}_{\text{Poupado}}}{60} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

O custo associado às condições climatéricas reflete o aumento do tempo operacional nas situações de menor eficiência.

$$(26)\ \text{Custo}_{\text{Clima}} = \text{Dias}_{\text{Operacionais}} \times \%\ \text{dias}_{\text{Afetados}} \times \text{Horas}_{\text{Adicionais}} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

Os custos relacionados com a previsibilidade da rota representam a perda da eficiência resultante da variabilidade operacional, como o congestionamento, as interrupções e a incerteza operacional.

$$(27)\ \text{Custo}_{\text{Previsibilidade}} = \text{N}^{\circ}_{\text{Rotas}} \times \frac{\text{Tempo}_{\text{Perdido}}}{60} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

O benefício associado à flexibilidade operacional traduz a redução da necessidade de recursos adicionais devido à capacidade de adaptação do sistema.

$$(28)\ \text{Benefício}_{\text{Flexibilidade}} = \text{Horas}_{\text{Extras evitadas}} \times \text{Custo}_{\text{P/trabalhador p/hora}}$$

Com base na estrutura metodológica definida, nos parâmetros considerados e nas formulações apresentadas, procede-se, no capítulo seguinte, à aplicação do modelo aos diferentes cenários, com o objetivo de apresentar e de analisar os resultados obtidos. A interpretação e a discussão aprofundada desses resultados serão desenvolvidas posteriormente.

Em síntese, o presente capítulo apresentou o contexto do caso de estudo, a definição dos cenários considerados, a descrição do modelo da análise custo-benefício e a sua formulação matemática. A estrutura desenvolvida permite comparar, de forma consistente e integrada, as diferentes soluções da entrega de última milha no centro urbano de Braga, incorporando as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais. A opção por uma modelação baseada em pressupostos explícitos e numa monetização dos principais impactos assegura a comparabilidade entre os diversos cenários e oferece uma base robusta para a avaliação das alternativas analisadas. Neste sentido, o capítulo seguinte apresenta a aplicação do modelo e a análise dos resultados obtidos para cada cenário, permitindo identificar as soluções com melhor desempenho global no contexto em estudo.

5. Resultados

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da análise custo-benefício dos diferentes cenários da entrega de última milha no centro urbano de Braga. Inicialmente, os resultados são organizados pelas categorias económicas, sociais, ambientais e operacionais, distinguindo os custos e os benefícios de cada um. Seguidamente, apresenta-se uma comparação dos cenários face ao cenário base, uma síntese global dos resultados e uma análise de sensibilidade para avaliar a robustez dos resultados face a variações nos parâmetros relevantes do modelo. Esta estrutura permite uma leitura sistemática das diferenças de desempenho entre as alternativas, preparando a discussão dos resultados desenvolvida no capítulo seguinte.

5.1 Resultados por categoria

Sendo o investimento inicial um dos principais fatores condicionantes da adoção de determinadas soluções logísticas, a tabela 6 apresenta os valores do investimento inicial (CAPEX) associados a cada cenário da entrega de última milha no centro urbano de Braga.

Tabela 6 - Investimento inicial (CAPEX) por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Nº de Veículos	34	34	75	47	20 Vans + 9 Bikes	20 E-Vans + 9 Bikes
CAPEX Inicial p/veículo	30 000,00 €	45 000,00 €	6 000,00 €	4 000,00 €		
CAPEX Inicial Total	1 020 000,00 €	1 530 000,00 €	450 000,00 €	188 000,00 €	654 000,00 €	954 000,00 €

Os resultados apresentados evidenciam as diferenças expressivas no investimento inicial entre as várias alternativas. As vans elétricas apresentam o valor mais elevado do investimento inicial, seguidas das vans a combustível. Em contraste, as scooters e as bicicletas de carga requerem investimentos iniciais substancialmente inferiores, constituindo as soluções menos intensivas em capital. Os cenários híbridos apresentam valores intermédios, situando-se entre as soluções exclusivamente baseadas nos veículos de maior dimensão e nas alternativas de menor investimento unitário. Estes resultados mostram que o esforço financeiro inicial varia significativamente entre os cenários, sendo mais elevado nas soluções assentes em veículos de maior custo unitário e mais reduzido nas opções de menor dimensão. A figura 1 complementa esta análise, permitindo uma leitura comparativa mais imediata das diferenças de investimento entre os cenários considerados.

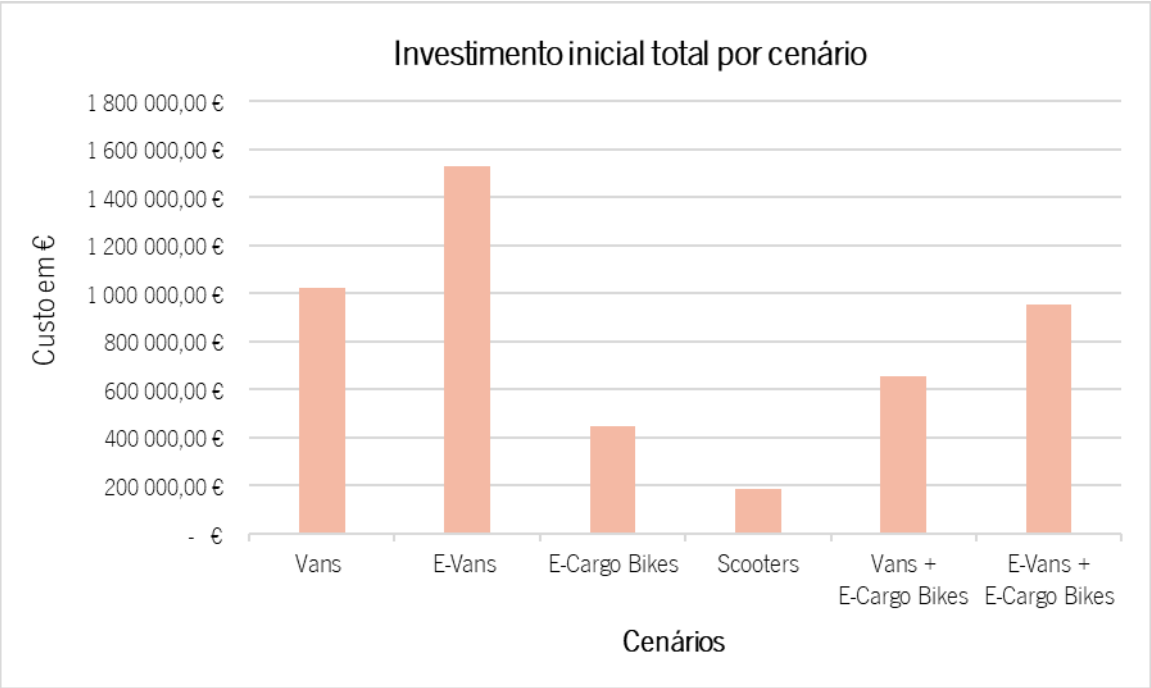


Figura 1 - Investimento Inicial total por cenário

A tabela 7 apresenta os custos económicos anuais por cenário, permitindo analisar a sua estrutura e identificar as principais componentes do custo.

Tabela 7 - Custos económicos anuais por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Indicadores	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos
Depreciações	127 500,00 €	153 000,00 €	75 000,00 €	37 600,00 €	84 000,00 €	99 000,00 €
Armazenamento da frota	51 000,00 €	51 000,00 €	15 000,00 €	23 500,00 €	31 800,00 €	31 800,00 €
Consumo de combustível/energia	100 980,00 €	36 720,00 €	7 593,75 €	34 897,50 €	60 311,25 €	22 511,25 €
Manutenções	51 000,00 €	34 000,00 €	22 500,00 €	28 200,00 €	32 700,00 €	22 700,00 €
Seguros	40 800,00 €	34 000,00 €	15 000,00 €	23 500,00 €	25 800,00 €	21 800,00 €
Custos com o trabalhador	895 344,23 €	895 344,23 €	1 975 024,04 €	1 237 681,73 €	763 675,96 €	763 675,96 €
Custos com atrasos	73 440,00 €	73 440,00 €	4 500,00 €	11 280,00 €	43 740,00 €	43 740,00 €
Paragens ilegais	10 880,00 €	10 880,00 €	3 000,00 €	5 640,00 €	6 760,00 €	6 760,00 €
Adequação à carga	- €	- €	27 018,75 €	14 769,75 €	3 242,25 €	3 242,25 €
Total	1 350 944,23 €	1 288 384,23 €	2 144 636,54 €	1 417 068,98 €	1 052 029,46 €	1 015 229,46 €

Os custos com os trabalhadores assumem um peso dominante em todos os cenários, constituindo a principal componente dos custos económicos totais. Este resultado evidencia a forte dependência da atividade de última milha em relação ao fator trabalho. Em termos dos custos totais, o cenário das bicicletas de carga elétricas apresenta um valor mais elevado, resultado da necessidade de um maior número de colaboradores, associada também à sua menor capacidade de carga e ao maior número das rotas necessárias. Por outro lado, os cenários híbridos evidenciam níveis de custo mais reduzidos, sugerindo ganhos de eficiência decorrentes da complementaridade entre os diferentes

modos de transporte. Adicionalmente, observa-se que os veículos elétricos apresentam menores custos energéticos e da manutenção face às alternativas ao combustível, enquanto os custos associados aos atrasos são significativamente inferiores nas bicicletas de carga, refletindo a sua menor exposição ao congestionamento urbano. A figura 2 ilustra graficamente esta distribuição, facilitando a comparação entre as diferentes alternativas.

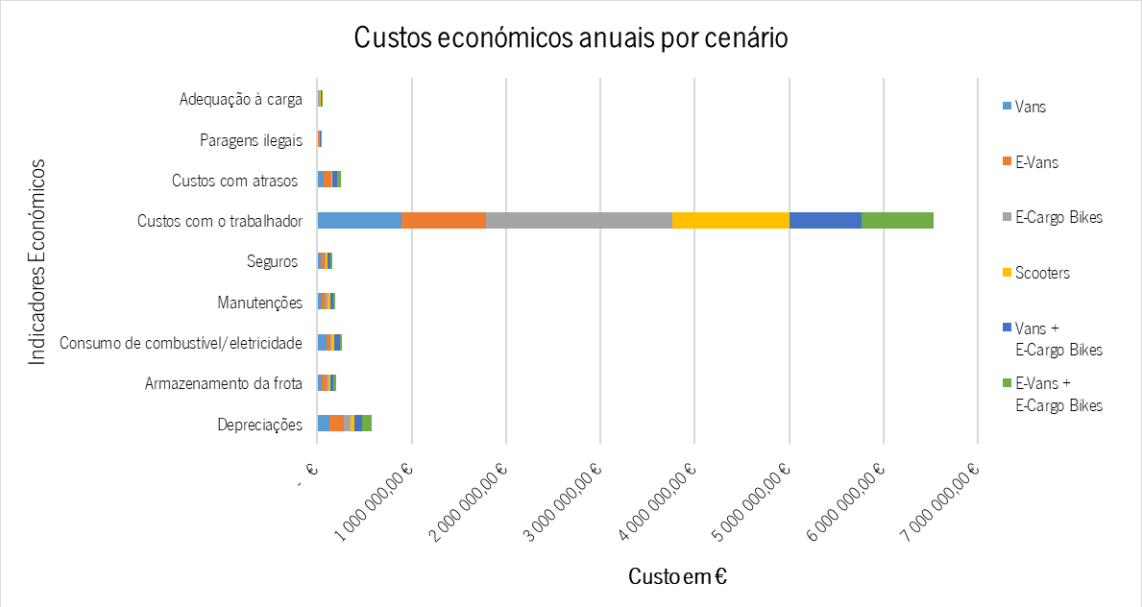


Figura 2 - Custos anuais por indicadores e por cenário

A tabela 8 expõe a estimativa da produtividade anual por cenário, expressa em termos do valor económico gerado com base na margem por entrega, pelo tipo de veículo e pelos colaboradores.

Tabela 8 - Produtividade anual por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Indicador	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios
Produtividade	1 360 000,00 €	1 496 000,00 €	3 360 000,00 €	2 030 400,00 €	1 203 200,00 €	1 283 200,00 €

Os resultados indicam valores mais elevados da produtividade nos cenários baseados nas bicicletas de carga elétricas, seguidos das scooters. Os cenários assentes nas vans apresentam os valores inferiores, enquanto os cenários híbridos registam valores intermédios. Contudo, este indicador deve ser interpretado com cautela, uma vez que está diretamente influenciado pela intensidade da utilização dos recursos humanos e pelo número de veículos necessário para satisfazer a procura. Assim, os valores mais elevados não refletem necessariamente uma maior eficiência individual, mas sim uma maior capacidade agregada de gerar valor económico. Por essa razão, a produtividade deve

ser analisada em articulação com os custos laborais e operacionais, evitando interpretações isoladas que possam enviesar a avaliação do desempenho económico dos diferentes cenários.

Os custos sociais anuais associados a cada cenário encontram-se apresentados na tabela 9, sendo a sua estrutura ilustrada na figura 3 através de um gráfico de barras empilhadas, o que permite uma leitura comparativa mais simplificada dos diferentes custos.

Tabela 9 - Custos sociais anuais por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Indicadores	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos
Poluição atmosférica	13 260,00 €	- €	- €	5 287,50 €	7 800,00 €	- €
Ruído	5 100,00 €	1 700,00 €	375,00 €	4 700,00 €	3 045,00 €	1 045,00 €
Impacto no espaço urbano	8 500,00 €	8 500,00 €	3 750,00 €	4 700,00 €	5 450,00 €	5 450,00 €
Congestionamento social	13 600,00 €	13 600,00 €	7 500,00 €	9 400,00 €	8 900,00 €	8 900,00 €
Acidentes	108 800,00 €	108 800,00 €	101 250,00 €	98 700,00 €	76 150,00 €	76 150,00 €
Saúde pública	23 538,46 €	23 538,46 €	31 153,85 €	22 776,92 €	17 584,62 €	17 584,62 €
Total	**172 798,46 €**	**156 138,46 €**	**144 028,85 €**	**145 564,42 €**	**118 929,62 €**	**109 129,62 €**

Os resultados demonstram que os cenários baseados nas vans a combustível apresentam os custos sociais mais elevados, refletindo o impacto negativo associado, sobretudo, à sinistralidade rodoviária, ao congestionamento urbano e à poluição atmosférica. Em contraste, os cenários híbridos e as soluções baseadas nos veículos de menor dimensão evidenciam níveis dos custos sociais inferiores, destacando-se o cenário híbridos das e-vans com as e-cargo bikes, como o menos oneroso nesta dimensão. A decomposição dos custos revela que a sinistralidade rodoviária constitui o principal fator em todos os cenários, assumindo um peso dominante no total. Ainda assim, os custos associados ao congestionamento e à poluição atmosférica mantêm-se relevantes, sobretudo nas soluções mais dependentes dos veículos a combustível. De forma global, os resultados sugerem que a adoção dos veículos de menor dimensão, bem como a combinação dos diferentes modos de transporte, contribui para a redução dos custos sociais associados à distribuição de última milha.

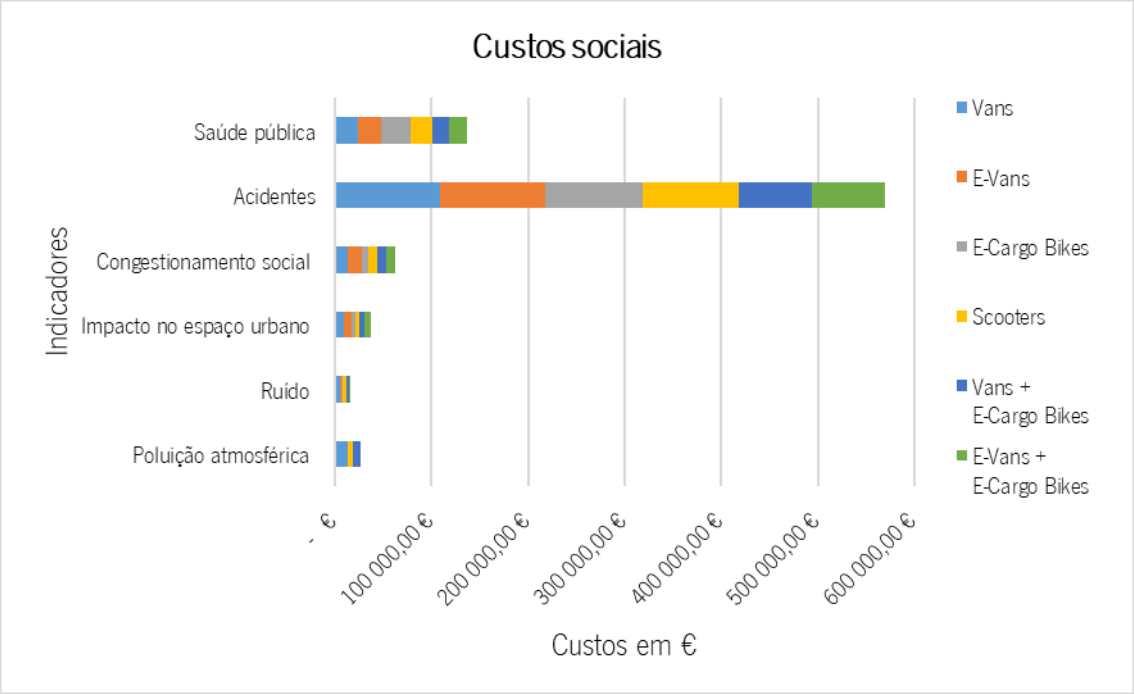


Figura 3 - Custos sociais anuais por cenário

A Tabela 10 ilustra o benefício social associado à acessibilidade urbana em cada cenário.

Tabela 10 - Benefício anual por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo	E-Vans + E-Cargo
Indicadores	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios
Acessibilidade urbana	- €	- €	120,19 €	81,13 €	37,30 €	37,30 €

É notório que este benefício se concentra nos cenários que incluem as bicicletas de carga e as scooters, refletindo a sua maior capacidade de circulação nas áreas urbanas e nas zonas com restrições de acesso. As bicicletas de carga elétricas apresentam o valor mais elevado, seguidas das scooters. Os cenários híbridos registam os valores mais baixos, enquanto os cenários baseados exclusivamente nas vans não geram este benefício. Este resultado destaca o contributo destas soluções para a melhoria da mobilidade no contexto urbano. No entanto, importa salientar que este indicador assume um peso reduzido quando comparado com os custos sociais totais, pelo que o seu impacto na avaliação global é limitado.

Os custos ambientais anuais por cenário são apresentados na tabela 11, sendo a sua distribuição ilustrada na figura 4.

Tabela 11 - Custos ambientais anuais por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo	E-Vans + E-Cargo
Indicadores	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos
Emissões gases c/efeitos de estufa	9 792,00 €	2 720,00 €	337,50 €	4 230,00 €	5 800,50 €	1 640,50 €
Qualidade do ar	5 440,00 €	3 400,00 €	843,75 €	2 115,00 €	3 301,25 €	2 101,25 €
Fim de vida / reciclagem	1 700,00 €	1 564,00 €	300,00 €	282,00 €	1 036,00 €	956,00 €
Total	**16 932,00 €**	**7 684,00 €**	**1 481,25 €**	**6 627,00 €**	**10 137,75 €**	**4 697,75 €**

Os cenários baseados nas vans a combustível apresentam os custos ambientais mais elevados, refletindo o impacto das emissões de gases com efeito de estufa e da degradação da qualidade do ar. Em contrapartida, as bicicletas de carga e as vans elétricas destacam-se como as soluções com menor impacto ambiental. Os cenários híbridos apresentam valores intermédios, evidenciando uma redução significativa dos impactos face às soluções exclusivamente baseadas em combustíveis fósseis. A análise da estrutura dos custos confirma que as emissões de gases com efeito de estufa e os impactos na qualidade do ar constituem os principais fatores determinantes da dimensão ambiental. Este resultado reforça a importância da mitigação dos impactos ambientais da logística urbana, evidenciando o potencial das soluções eletrificadas e de menor escala.

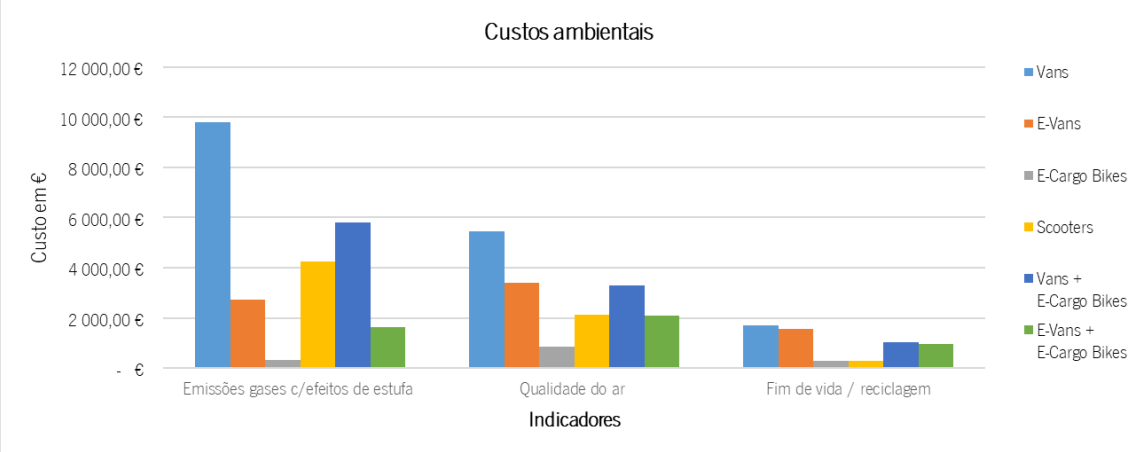


Figura 4 - Custos ambientais anuais por cenário

A tabela 12 apresenta o benefício associado à compatibilidade com as políticas públicas ambientais.

Tabela 12 - Benefício anual por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo	E-Vans + E-Cargo
Indicador	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios
Compatibilidade c/políticas ambientais	- €	400,00 €	400,00 €	400,00 €	124,14 €	400,00 €

Os resultados indicam que este benefício está ausente no cenário das vans a combustível, enquanto os restantes cenários apresentam níveis positivos de compatibilidade com as estratégias de

descarbonização e da mobilidade sustentável. No entanto, este indicador apresenta um peso reduzido no conjunto da análise ambiental, evidenciando a predominância dos custos ambientais nesta dimensão.

Relativamente aos indicadores operacionais, a tabela 13 apresenta os custos anuais operacionais associados ao desempenho dos diversos cenários da distribuição.

Tabela 13 - Custos operacionais anuais por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Indicadores	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos	Custos
Tempo médio de entrega	1 081 730,77 €	1 081 730,77 €	865 384,62 €	973 557,69 €	1 014 588,86 €	1 014 588,86 €
Capacidade de veículos	54 086,54 €	54 086,54 €	96 153,85 €	81 129,81 €	67 141,91 €	67 141,91 €
Estacionamento/paragem	432 692,31 €	432 692,31 €	54 086,54 €	108 173,08 €	315 193,97 €	315 193,97 €
Limitações p/condições climáticas	17,31 €	17,31 €	346,15 €	181,73 €	119,36 €	119,36 €
Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 014,42 €	9 014,42 €	9 615,38 €	10 817,31 €	9 200,93 €	9 200,93 €
Total	**1 577 541,35 €**	**1 577 541,35 €**	**1 025 586,54 €**	**1 173 859,62 €**	**1 406 245,03 €**	**1 406 245,03 €**

Observam-se as diferenças expressivas entre os vários cenários, refletindo o impacto direto do tipo de veículo no desempenho e na eficiência das operações de última milha. Os cenários baseados nas vans registam os valores mais elevados, enquanto as bicicletas de carga elétricas apresentam o menor custo total. As scooters situam-se numa posição intermédia, abaixo dos valores registados para as vans, mas acima das bicicletas de carga. Os cenários híbridos evidenciam reduções parciais dos custos, resultantes da combinação das diferentes tipologias de veículos. A decomposição dos custos indica que o tempo médio de entrega constitui a principal componente em todos os cenários, assumindo maior relevância nos veículos de maior dimensão. Adicionalmente, os custos associados ao estacionamento e às paragens apresentam um peso significativo nas vans, contrastando com os valores reduzidos observados nas bicicletas de carga, o que evidencia a influência das condições da operação no contexto urbano. A figura 5 permite visualizar a distribuição dos custos operacionais por componente, facilitando a comparação entre os cenários.

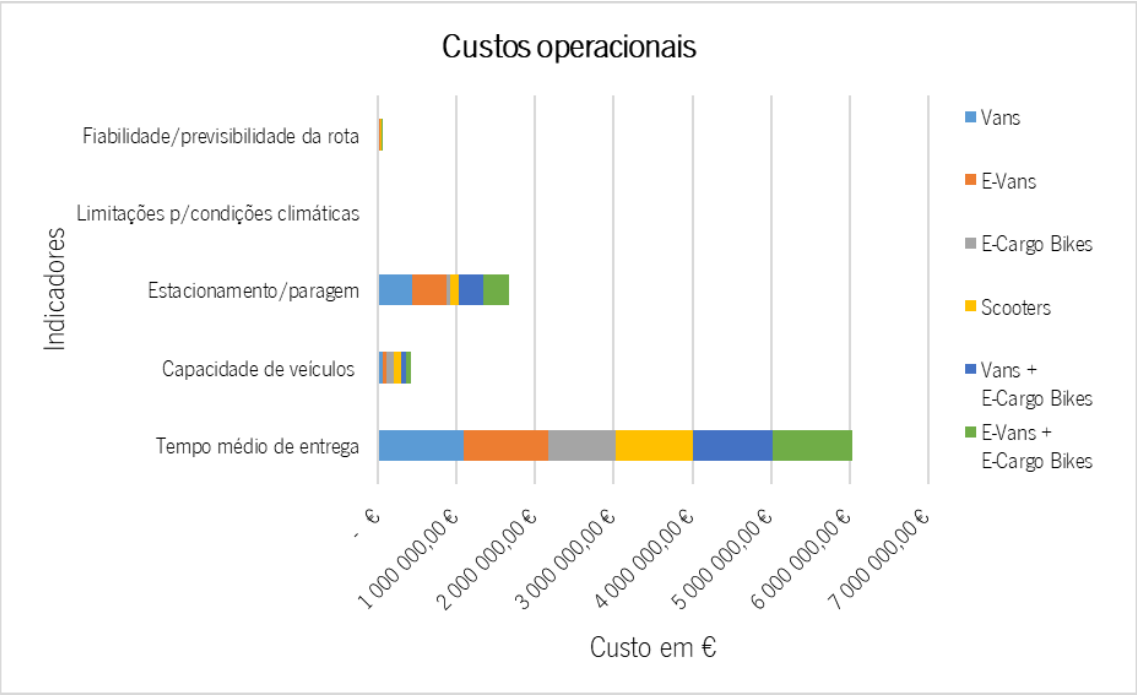


Figura 5 - Custos Operacionais

Por sua vez, a tabela 14 regista os benefícios operacionais associados aos diferentes cenários.

Tabela 14 - Benefícios operacionais anuais por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Indicadores	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios	Benefícios
Acesso a zonas urbanas restritas	194,71 €	519,23 €	649,04 €	584,13 €	335,71 €	559,52 €
Infraestruturas disponíveis	- €	- €	24 038,46 €	10 817,31 €	7 460,21 €	7 460,21 €
Flexibilidade operacional	- €	- €	519,23 €	324,52 €	161,14 €	161,14 €
Total	**194,71 €**	**519,23 €**	**25 206,73 €**	**11 725,96 €**	**7 957,06 €**	**8 180,87 €**

No que respeita aos benefícios operacionais, as bicicletas de carga destacam-se com o valor mais elevado, seguidas pelas scooters. Os cenários híbridos registam valores intermédios, enquanto os cenários baseados nas vans apresentam valores residuais. Este resultado evidencia as limitações operacionais associadas aos veículos de maior dimensão no meio urbano, em contraste com a maior adaptação das bicicletas de carga às condições do centro da cidade. De uma forma geral, verifica-se que os cenários com um melhor desempenho operacional são aqueles que apresentam uma maior adaptação ao contexto urbano, nomeadamente em termos da acessibilidade, da mobilidade e da facilidade da operação. A figura 6 ilustra a distribuição dos benefícios operacionais entre os cenários considerados.

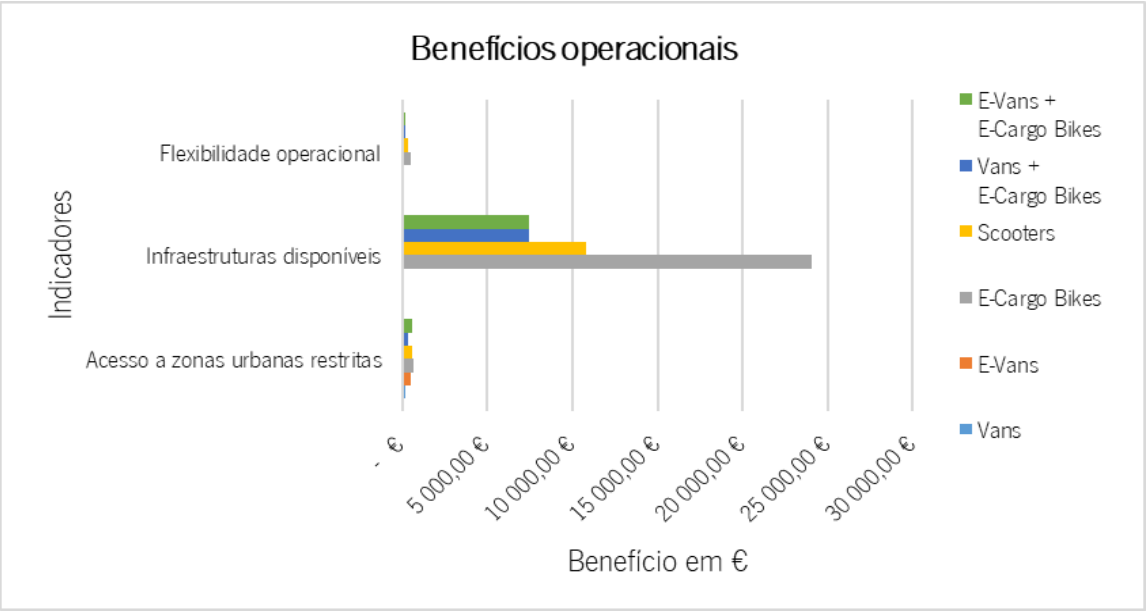


Figura 6 - Benefícios operacionais

5.2 Comparação face ao cenário base

O cenário baseado nas vans a combustível constitui o cenário de referência da situação atual da distribuição urbana, pelo que se torna pertinente analisar o desempenho relativo das restantes alternativas face ao cenário base. A tabela 15 apresenta os impactos incrementais dos diferentes cenários face ao cenário base, evidenciando as variações observadas ao nível do investimento inicial, dos custos anuais, dos benefícios anuais e do resultado anual.

Tabela 15 – Impacto dos resultados face ao cenário base

Cenário	CAPEX Inicial (€)	Custos anuais (€)	Benefícios anuais (€)	Saldo anual (€)
E-Vans	510 000,00 €	- 88 468,00 €	136 724,52 €	225 192,52 €
E-cargo bikes	- 570 000,00 €	197 517,13 €	2 025 532,21 €	1 828 015,08 €
Scooters	- 832 000,00 €	- 375 096,02 €	682 412,38 €	1 057 508,40 €
Vans + E-Cargo Bikes	- 366 000,00 €	- 530 874,19 €	- 148 876,21 €	381 997,97 €
E-Vans + E-Cargo Bikes	- 66 000,00 €	- 582 914,19 €	- 68 376,54 €	514 537,64 €

A comparação com o cenário base revela diferenças significativas entre as alternativas analisadas. Ao nível do investimento inicial, observa-se que todas as soluções, com a exceção das vans elétricas, apresentam reduções face ao cenário de referência. As maiores diminuições verificam-se no cenário das scooters, seguido das bicicletas de carga elétricas e dos cenários híbridos, enquanto as vans elétricas implicam um acréscimo do investimento inicial. No que respeita aos custos anuais, verificam-se reduções nos cenários das vans elétricas, das scooters e dos cenários híbridos, sendo o

maior decréscimo observado no cenário híbrido das e-vans e as e-cargo bikes. Em sentido oposto, o cenário das bicicletas de carga elétricas apresenta um aumento dos custos anuais face ao cenário base. Já ao nível dos benefícios anuais, todos os cenários apresentam acréscimos, com destaque para as bicicletas de carga elétricas, que registam a maior variação positiva, seguidas das scooters. Os cenários das vans elétricas também apresentam um aumento dos benefícios, embora menos expressivo. Nos cenários híbridos, os benefícios diminuem face ao cenário de referência. Relativamente ao saldo anual, todos os cenários apresentam variações positivas face ao cenário base, com incrementos mais expressivos nas bicicletas de carga elétricas e nas scooters. Os cenários híbridos também registam melhorias no saldo, embora em menor magnitude. Em termos globais, os resultados mostram que as alternativas analisadas geram efeitos distintos nas componentes económicas da análise, não sendo possível identificar um padrão uniforme em todas as dimensões consideradas.

5.3 Síntese global dos resultados

Após a apresentação detalhada dos resultados por categoria e a comparação com o cenário base, apresenta-se agora uma síntese global dos resultados da análise custo-benefício, com o objetivo de consolidar a avaliação do desempenho dos diferentes cenários. A tabela 16 sintetiza os principais indicadores da análise, permitindo uma comparação direta e integrada entre as alternativas consideradas.

Tabela 16 - Síntese global dos resultados da análise custo-benefício por cenário

Cenário	CAPEX Inicial (€)	Custos anuais (€)	Benefícios anuais (€)	Saldo anual (€)	Ranking Saldo	Rácio B/C	Custo por entrega (€)
Vans	1 020 000,00 €	3 118 216,04 €	1 360 194,71 €	-1 758 021,33 €	6º	0,44	4,16 €
E-Vans	1 530 000,00 €	3 029 748,04 €	1 496 919,23 €	-1 532 828,81 €	5º	0,49	4,04 €
E-cargo bikes	450 000,00 €	3 315 733,17 €	3 385 726,92 €	69 993,75 €	1º	1,02	4,42 €
Scooters	188 000,00 €	2 743 120,02 €	2 042 607,09 €	- 700 512,93 €	2º	0,74	3,66 €
Vans + E-Cargo Bikes	654 000,00 €	2 587 341,85 €	1 211 318,50 €	-1 376 023,35 €	4º	0,47	3,45 €
E-Vans + E-Cargo Bikes	954 000,00 €	2 535 301,85 €	1 291 818,17 €	-1 243 483,68 €	3º	0,51	3,38 €

A tabela mostra que os cenários analisados apresentam desempenhos diferenciados. O cenário das vans regista um saldo negativo, seguido das vans elétricas. Os cenários híbridos também apresentam saldos negativos, embora menos desfavoráveis do que os cenários baseados exclusivamente nas vans. As scooters ocupam uma posição intermédia, enquanto as bicicletas de carga elétricas são o único cenário com saldo positivo. Em termos de rácio benefício/custo, o cenário das bicicletas de carga elétricas é o único a apresentar um valor superior a um, enquanto os restantes cenários

registam valores inferiores a esse limiar. Ainda assim, este resultado deve ser interpretado com prudência, uma vez que é fortemente influenciado pelo indicador da produtividade, o qual depende diretamente do número dos trabalhadores envolvidos. Quanto aos custos por entrega, as scooters e os cenários híbridos destacam-se pelos valores mais baixos, ao passo que as vans e as e-cargo bikes apresentam os mais elevados. Estes resultados mostram que a eficiência económica e o custo unitário por entrega não coincidem necessariamente com a posição no ranking do saldo anual, evidenciando as diferenças entre as várias dimensões analisadas. A maioria dos cenários apresenta saldos líquidos negativos e rácios benefício/custo inferiores a um. O único cenário com saldo positivo é o das bicicletas de carga elétricas, que também apresenta o rácio benefício/custo mais elevado. As scooters e os cenários híbridos destacam-se pelos valores mais favoráveis no custo por entrega, enquanto os cenários baseados exclusivamente nas vans registam os resultados mais desfavoráveis. A figura 7 permite visualizar de forma sintética a comparação global entre os cenários, facilitando a leitura das principais diferenças.

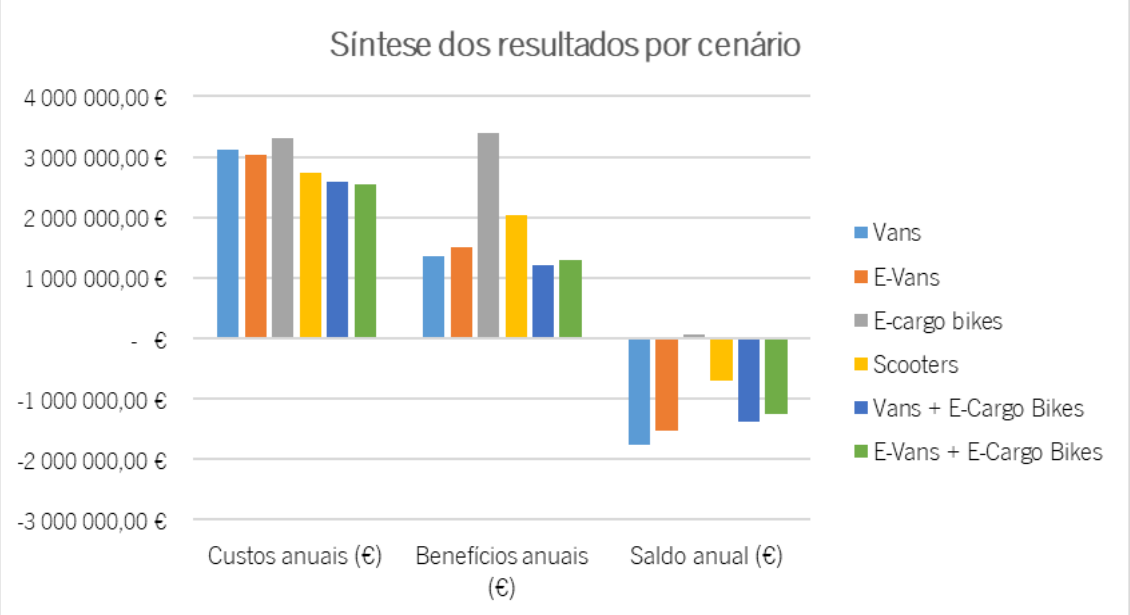


Figura 7 - Síntese dos resultados por cenário

5.4 Desequilíbrio entre os custos e os benefícios

A análise dos resultados evidencia um desequilíbrio entre os custos e os benefícios na maioria dos cenários, refletido na predominância dos resultados negativos e dos rácios benefício/custo inferiores a um. Este resultado decorre de um conjunto de fatores estruturais e metodológicos que importa explicitar.

Em primeiro lugar, verifica-se uma tendência para a subavaliação dos benefícios. Muitos dos impactos positivos associados às soluções de logística urbana sustentável têm uma natureza difusa, coletiva e de longo prazo, o que dificulta a sua quantificação monetária. Em particular, os efeitos ambientais e sociais nem sempre são totalmente captados, conduzindo a uma representação incompleta do valor real gerado por estas alternativas mais sustentáveis. Em segundo lugar, destaca-se o peso significativo dos custos laborais na estrutura global dos custos, sobretudo nos cenários mais intensivos em mão de obra, como o das bicicletas de carga. Esta dependência do fator trabalho contribui de forma direta e significativamente para o aumento dos custos totais, influenciando o desequilíbrio entre os custos e os benefícios. Acresce ainda que o horizonte temporal anual adotado na análise condiciona a leitura dos resultados, na medida em que os custos tendem a materializar-se de forma imediata, enquanto parte dos benefícios se concretiza de forma progressiva ao longo do tempo. Esta assimetria temporal pode conduzir a uma subestimação do impacto real dos benefícios no período considerado. Por outro lado, a metodologia adotada segue uma abordagem conservadora na monetização dos benefícios, incluindo apenas os efeitos para os quais existe um suporte metodológico mais robusto. Embora esta opção aumente a consistência da análise, também limita o valor total estimado dos benefícios. Por fim, importa referir à dissociação entre os custos privados e os benefícios sociais. Enquanto os custos são suportados diretamente pelos operadores logísticos, uma parte significativa dos benefícios gerados é apropriada pela sociedade em geral, nomeadamente através da melhoria das condições ambientais e urbanas, o que dificulta a sua plena internalização na análise económica privada.

Neste contexto, os resultados devem ser interpretados considerando estas limitações, não refletindo necessariamente a ausência de viabilidade das soluções analisadas, mas antes as restrições inerentes a uma avaliação baseada em valores monetários e num horizonte temporal de curto prazo. Assim, a sua leitura deverá ser complementada por uma perspetiva mais ampla da sustentabilidade urbana e da eficiência do sistema logístico.

5.5 Análise de sensibilidade

Por fim, procede-se à realização de uma análise de sensibilidade unifatorial, com o objetivo de avaliar a robustez dos resultados face à variação das variáveis críticas nos diferentes cenários. Foram selecionadas três variáveis: o investimento inicial (CAPEX), os custos com o combustível ou a eletricidade e os custos com os trabalhadores, por representarem componentes estruturais da estrutura dos custos e por evidenciarem níveis distintos de incerteza. A análise considera uma

variação 30% em cada variável individualmente, mantendo as restantes constantes, de modo a isolar o seu impacto específico no resultado anual.

A análise inicia-se com o investimento inicial (CAPEX), dada a sua relevância na fase da decisão e o seu peso na implementação das diferentes soluções logísticas. A tabela 17 apresenta os resultados da análise de sensibilidade ao investimento inicial, considerando uma variação de ± 30% nos custos de aquisição dos veículos.

Tabela 17 - Análise de sensibilidade ao investimento inicial (CAPEX) (±30%)

Cenário	CAPEX Base (€)	CAPEX (-30%)	CAPEX (+30%)
Vans	1 020 000,00 €	714 000,00 €	1 326 000,00 €
E-Vans	1 530 000,00 €	1 071 000,00 €	1 989 000,00 €
E-cargo bikes	450 000,00 €	315 000,00 €	585 000,00 €
Scooters	188 000,00 €	131 600,00 €	244 400,00 €
Vans + E-Cargo Bikes	654 000,00 €	457 800,00 €	850 200,00 €
E-Vans + E-Cargo Bikes	954 000,00 €	667 800,00 €	1 240 200,00 €

Os resultados evidenciam as diferenças expressivas na exposição dos cenários à variação do investimento inicial. Os cenários baseados nos veículos com maior custo de aquisição, em particular as vans elétricas, revelam uma maior sensibilidade a esta variável, enquanto as bicicletas de carga elétricas e as scooters apresentam impactos mais reduzidos, refletindo os seus menores custos unitários de aquisição. Os cenários híbridos assumem uma posição intermédia, resultante da combinação entre os veículos com níveis distintos de investimento inicial. Verifica-se que o CAPEX tem um papel relevante na estruturação económica dos cenários, embora a sua influência se manifeste sobretudo na fase da decisão e da entrada em operação.

Seguidamente, analisa-se a sensibilidade dos resultados face à variação dos custos associados ao consumo do combustível ou da eletricidade, dada a sua relevância operacional e a sua exposição às flutuações de mercado. A tabela 18 ilustra o impacto da variação de ±30% nos custos energéticos sobre o resultado anual de cada cenário.

Tabela 18 - Análise de sensibilidade aos custos com o combustível ou a eletricidade (±30%)

Cenário	Saldo Base (€)	Saldo (-30%)	Variação (-30%)	Saldo (+30%)	Variação (+30%)
Vans	- 1 758 021,33 €	- 1 727 727,33 €	-1,72%	- 1 788 315,33 €	1,72%
E-Vans	- 1 532 828,81 €	- 1 521 812,81 €	-0,72%	- 1 543 844,81 €	0,72%
E-cargo bikes	69 993,75 €	72 271,88 €	3,25%	67 715,63 €	-3,25%
Scooters	- 700 512,93 €	- 690 043,68 €	-1,49%	- 710 982,18 €	1,49%
Vans + E-Cargo Bikes	- 1 376 023,35 €	- 1 357 929,98 €	-1,31%	- 1 394 116,73 €	1,31%
E-Vans + E-Cargo Bikes	- 1 243 483,68 €	- 1 236 730,31 €	-0,54%	- 1 250 237,06 €	0,54%

Verifica-se que esta variável apresenta, de uma forma geral, um impacto reduzido na maioria dos cenários, com variações no saldo anual pouco acentuadas e, na maioria dos casos, inferiores a 2%. Este comportamento sugere uma baixa sensibilidade dos resultados às alterações nos custos com o combustível ou a eletricidade. O cenário das bicicletas de carga apresenta o comportamento mais sensível, com uma variação de ±3,25%, embora ainda limitada em termos absolutos. Ainda assim, estas alterações não são suficientes para modificar a ordenação relativa dos cenários, o que indica que os custos com o combustível ou com a eletricidade não constituem o principal fator de incerteza do modelo.

Por fim, analisa-se a sensibilidade dos resultados face à variação dos custos com os trabalhadores, dada a sua elevada representatividade na estrutura dos custos dos diferentes cenários. A tabela 19 apresenta o impacto da variação de ±30% nos custos laborais sobre o resultado anual de cada cenário, bem como as respetivas percentagens de variação.

Tabela 19 - Análise de sensibilidade aos custos com os trabalhadores (±30%)

Cenário	Saldo Base (€)	Saldo (-30%)	Variação (-30%)	Saldo (+30%)	Variação (+30%)
Vans	- 1 758 021,33 €	- 1 489 418,06 €	-15,28%	- 2 026 624,60 €	15,28%
E-Vans	- 1 532 828,81 €	- 1 264 225,54 €	-17,52%	- 1 801 432,08 €	17,52%
E-cargo bikes	69 993,75 €	662 500,96 €	846,51%	- 491 359,62 €	-802,00%
Scooters	- 700 512,93 €	- 329 208,41 €	-53,00%	- 1 071 817,45 €	53,00%
Vans + E-Cargo Bikes	- 1 376 023,35 €	- 1 146 920,56 €	-16,65%	- 1 605 126,14 €	16,65%
E-Vans + E-Cargo Bikes	- 1 243 483,68 €	- 1 014 380,90 €	-18,42%	- 1 472 586,47 €	18,42%

Os resultados demonstram que os custos laborais exercem um impacto significativamente mais elevado do que as restantes variáveis analisadas, confirmando o seu peso dominante na estrutura económica do modelo. Uma redução de 30% nos custos com os trabalhadores conduz a melhorias expressivas no saldo anual de todos os cenários, enquanto um aumento equivalente agrava

substancialmente os resultados. O cenário das bicicletas de carga revela a maior sensibilidade, com uma variação muito acentuada, suficiente para inverter o seu resultado económico positivo. Este comportamento evidencia a forte dependência deste modelo em relação à mão de obra, tornando-o particularmente vulnerável às alterações nos custos laborais. As scooters também apresentam uma elevada exposição, enquanto os cenários baseados nas vans registam uma sensibilidade moderada, mas ainda significativa, entre os 15% e os 18%. Em termos globais, estes resultados confirmam que os custos com os recursos humanos constituem um dos principais fatores da incerteza do modelo e podem assumir um papel determinante na viabilidade económica das diferentes soluções. A figura 8 permite visualizar o impacto percentual da variação dos custos laborais no saldo anual, facilitando a comparação entre os cenários.

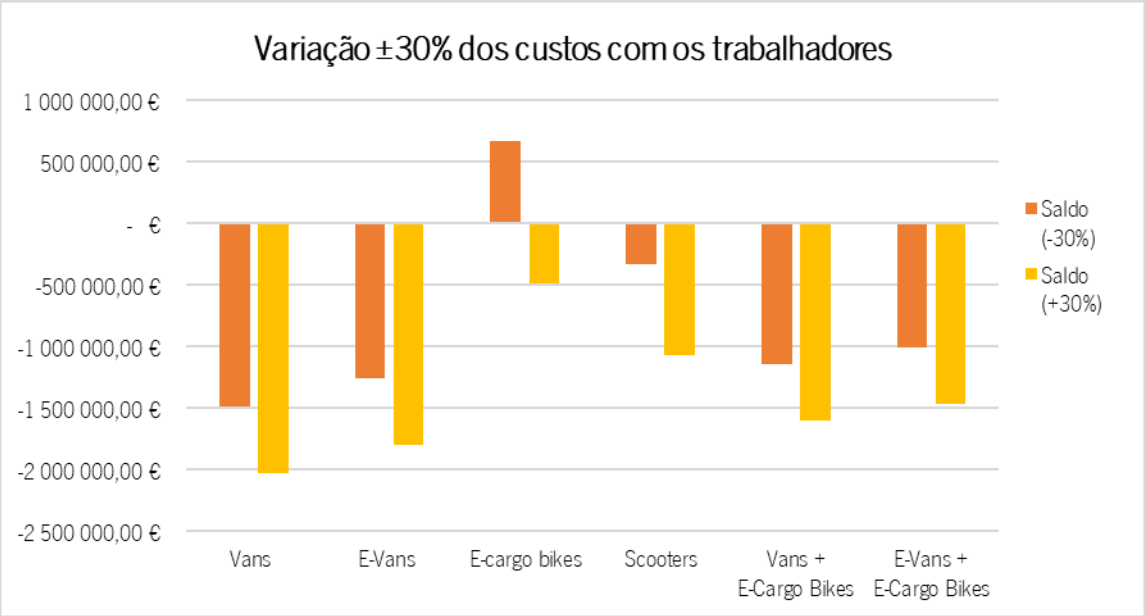


Figura 8 - Variação de ±30% dos custos com os trabalhadores

Em síntese, a análise de sensibilidade mostra que os custos laborais constituem um dos principais fatores críticos do modelo, os custos energéticos apresentam uma influência mais marginal, e o investimento inicial assume uma maior relevância sobretudo na fase da implementação e da decisão estratégica. Estes resultados reforçam a importância de considerar não apenas os valores médios estimados, mas também a sua potencial variabilidade, sobretudo quando se analisam soluções logísticas em que o seu desempenho depende fortemente da composição da estrutura dos custos.

A análise custo-benefício evidenciou as diferenças relevantes no desempenho dos cenários considerados para a entrega de última milha no centro urbano de Braga, abrangendo as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais. De forma complementar, a análise de sensibilidade demonstrou que os resultados apresentam níveis de robustez diferenciados, sendo particularmente

sensíveis às variações nos custos com os trabalhadores, enquanto as outras variáveis, como os custos energéticos, revelam impactos mais reduzidos no desempenho global dos cenários. Ainda assim, a leitura isolada destes resultados não permite, por si só, concluir a superioridade inequívoca de uma solução, uma vez que persistem trade-offs entre a eficiência económica, a intensidade dos recursos e os impactos externos. O capítulo seguinte aprofunda a discussão crítica dos resultados, enquadrando-os à luz da literatura existente e analisando as implicações práticas para o contexto urbano em estudo.

6. Discussão dos resultados

O presente capítulo tem como objetivo discutir criticamente os resultados obtidos na análise custo-benefício e na análise de sensibilidade, procurando compreender os principais fatores que explicam o desempenho dos diferentes cenários da distribuição de última milha no centro urbano de Braga. A discussão é desenvolvida numa perspetiva integrada, articulando as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais, de modo a identificar os principais trade-offs entre as alternativas analisadas. Sempre que possível, os resultados são confrontados com a literatura, permitindo avaliar o grau de consistência, assim como identificar as convergências e as divergências face a estudos anteriores. Complementarmente, a análise de sensibilidade permite aferir a robustez dos resultados e evidenciar os fatores mais críticos para a viabilidade das soluções consideradas. Esta discussão permite, assim, aprofundar a interpretação dos resultados e retirar as implicações relevantes para o planeamento dos sistemas da distribuição urbana mais eficientes e sustentáveis.

6.1 Discussão comparativa dos cenários

A análise comparativa dos diferentes cenários evidencia as diferenças marcadas no seu desempenho económico, social, ambiental e operacional, refletindo tanto as características específicas de cada solução como os pressupostos adotados no modelo. Em conjunto, os resultados mostram que não existe uma alternativa superior em todas as dimensões, mas antes perfis de desempenho distintos, com vantagens e limitações específicas que importam interpretar à luz do contexto urbano de Braga.

No que respeita ao investimento inicial, observa-se uma clara distinção entre as diferentes tipologias analisadas. Os cenários baseados nos veículos convencionais, em particular as e-vans, apresentam os níveis mais elevados do investimento inicial, em resultado do custo unitário mais elevado destes veículos elétricos e das potenciais necessidades associadas às infraestruturas. Em contraste, as bicicletas de carga elétricas destacam-se pelo seu reduzido investimento inicial, enquanto os cenários híbridos assumem uma posição intermédia, configurando-se como uma solução alternativa mais flexível e financeiramente menos exigente do que as alternativas baseadas exclusivamente nos veículos motorizados. Esta diferença é relevante porque condiciona não apenas o custo de entrada no sistema, mas também a atratividade das soluções para os operadores com menor capacidade financeira ou com uma maior aversão ao risco.

Na dimensão dos custos económicos anuais, o cenário das e-cargo bikes, apresenta os valores mais elevados, fortemente influenciados pela necessidade de um maior número de trabalhadores para assegurar o volume das entregas considerado. Este resultado evidencia uma característica estrutural deste modelo: a sua eficiência ambiental e operacional é acompanhada por uma elevada intensidade da mão de obra, o que compromete a sua competitividade económica quando o custo do trabalho é elevado. Importa notar que este resultado se traduz num aumento significativo dos custos laborais, mas também nos benefícios associados à produtividade, evidenciando a elevada intensidade da mão de obra desta solução, o que demonstra que a comparação entre os cenários não pode ser feita apenas com base no custo absoluto, mas também considerar a relação entre os recursos utilizados e os benefícios produzidos. Os cenários híbridos tendem, por sua vez, a apresentar os custos anuais mais reduzidos, sugerindo os ganhos de eficiência associados à complementaridade entre os diferentes modos de transporte. Esta evidência é particularmente relevante porque indica que a combinação dos veículos pode permitir conciliar melhor os diferentes objetivos da logística urbana do que a adoção exclusiva de uma única tecnologia. Os resultados estão em linha com a literatura, nomeadamente com os de Llorca & Moeckel (2021), em Munique, e Ceccato & Gastaldi (2023), em Pádua, que mostram que as soluções híbridas podem mitigar algumas das limitações operacionais e económicas das alternativas puramente baseadas nas bicicletas de carga ou nas vans. No presente estudo, esta tendência é reforçada, sugerindo que, no contexto de Braga, a combinação entre as vans e as bicicletas de carga também pode constituir a resposta mais equilibrada às exigências da distribuição urbana.

Na dimensão social, os cenários híbridos apresentam consistentemente os menores custos sociais, sobretudo ao nível da sinistralidade, do congestionamento e da pressão sobre o espaço urbano. Este resultado indica que a articulação entre os veículos de maior capacidade e os veículos mais leves e flexíveis permite reduzir parte dos impactos negativos associados à circulação intensiva dos veículos de distribuição no centro urbano. Em sentido oposto, os cenários baseados nas vans registam os impactos mais elevados, o que é coerente com a maior ocupação do espaço público, a maior dificuldade de estacionamento e a maior interferência com os restantes utilizadores da cidade. Apesar das bicicletas de carga e as scooters contribuírem para as melhorias na acessibilidade urbana, os benefícios sociais monetarizados permanecem relativamente limitados, o que revela uma das fragilidades metodológicas do modelo: a dificuldade em captar plenamente os efeitos sociais difusos, como a melhoria da qualidade do espaço público, da poluição atmosférica ou da redução do

incómodo urbano. Este ponto é particularmente importante, porque mostra que a análise monetária, embora útil, não esgota a avaliação do valor social criado por estas alternativas.

Relativamente à dimensão ambiental, verifica-se uma clara vantagem das soluções elétricas, com destaque para as bicicletas de carga elétricas, que apresentam os menores impactos ambientais, seguidas das e-vans. Os veículos a combustível registam, como esperado, os valores mais elevados, refletindo a sua maior intensidade emissora e o maior custo ambiental associado à sua utilização. Estes resultados são consistentes com a literatura, nomeadamente com Melo & Baptista (2017), no Porto e com EIT InnoEnergy (2023), que apontam para as reduções significativas das emissões e dos impactos ambientais com a adoção de veículos elétricos e das bicicletas de carga em contextos urbanos. O presente estudo reforça esta evidência e sugere que, em Braga, a transição para as soluções de baixo carbono pode ter benefícios ambientais significativos, sobretudo se for acompanhada por uma reorganização operacional que maximize a adequação entre o modo de transporte e a distância percorrida.

Por fim, na dimensão operacional, as bicicletas de carga elétricas apresentam um desempenho particularmente favorável, beneficiando da sua flexibilidade, da facilidade de circulação nas zonas urbanas restritas e da maior capacidade de acesso às áreas com limitações de tráfego e de estacionamento. Em contrapartida, os veículos convencionais são penalizados pelo maior tempo médio de entrega, pelas dificuldades associadas ao estacionamento e às paragens e pela menor adaptabilidade a um centro urbano denso e congestionado. Os cenários híbridos voltam a apresentar um comportamento intermédio, beneficiando da complementaridade entre a capacidade das vans e a agilidade das bicicletas. Este padrão é coerente com os estudos de Ceccato & Gastaldi (2023) e Colonna et al. (2025), que sublinham a importância da integração dos diferentes modos de transporte como forma de melhorar a eficiência operacional em contextos urbanos complexos. No caso de Braga, esta evidência insinua que a eficiência logística não depende apenas do tipo do veículo utilizado, mas também da forma como os meios são combinados e adaptados ao território.

6.2 Discussão global dos cenários

Os resultados evidenciam os desempenhos diferenciadores entre os cenários analisados, confirmando a inexistência de uma solução dominante em todas as dimensões consideradas. Esta heterogeneidade resulta não apenas da tipologia dos veículos, mas também da forma como cada solução responde às exigências operacionais do contexto urbano de Braga, ao peso da estrutura dos custos e à capacidade de gerar benefícios monetarizáveis.

O cenário das bicicletas de carga destaca-se como o único a apresentar um saldo líquido positivo e um rácio benefício/custo superior a um, evidenciando, em termos estritamente económicos, o desempenho global mais favorável. Contudo, este resultado deve ser interpretado com prudência, uma vez que assenta de forma significativa na componente da produtividade, diretamente associada à necessidade de um maior número de trabalhadores. Isto significa que a aparente superioridade económica deste cenário depende fortemente dos pressupostos adotados para o custo do trabalho e para a capacidade operacional do sistema, o que limita a sua robustez enquanto solução universalmente replicável. Em contraste, os cenários baseados nas vans, tanto a combustível como elétricas, apresentam os desempenhos mais desfavoráveis, caracterizados por custos totais elevados e pelos saldos negativos. Esta fragilidade não decorre apenas do investimento inicial, mas sobretudo das limitações operacionais impostas pelo contexto urbano, nomeadamente os tempos de entrega mais elevados, a dificuldade do estacionamento e das paragens e a menor agilidade nas zonas centrais densas. Assim, os resultados sugerem que, em Braga, a eficiência destas soluções é penalizada pela incompatibilidade entre o seu perfil operacional e as restrições espaciais e funcionais do centro urbano. O cenário das scooters assume uma posição intermédia, combinando os custos do investimento relativamente baixos com um desempenho económico moderado. Embora não alcance um saldo positivo, apresenta resultados mais equilibrados do que os cenários baseados exclusivamente nas vans, o que indica o potencial como solução complementar em contextos urbanos.

Relativamente aos cenários híbridos, observa-se uma melhoria face às soluções baseadas exclusivamente nas vans, traduzida numa redução dos custos totais e num maior equilíbrio entre as dimensões económicas e operacionais. Em particular, a combinação das e-vans com as e-cargo bikes evidencia um desempenho relativamente mais equilibrado, embora ainda condicionado pelos resultados negativos. Este resultado indica que estes cenários podem constituir uma resposta mais ajustada à realidade urbana do que a adoção de uma única tecnologia, na medida em que permite explorar a complementaridade entre os veículos de maior capacidade e os veículos mais ágeis no contexto urbano. Ainda assim, a sua viabilidade económica continua dependente das condições operacionais, da escala de operação e dos pressupostos relativos ao trabalho e à produtividade.

A comparação com o cenário base reforça estas tendências, evidenciando que as soluções mais sustentáveis tendem, em geral, a reduzir os custos totais e/ou a aumentar os benefícios, embora estes ganhos nem sempre sejam suficientes para garantir a viabilidade económica no curto prazo. Destaca-se o caso das bicicletas de carga, que apresentam um aumento significativo dos

benefícios, ainda que acompanhado por um aumento dos custos também expressivos, resultando numa melhoria global do saldo. Por sua vez, os cenários híbridos permitem reduções relevantes nos custos anuais, mas sem gerar benefícios suficientes para compensar integralmente a estrutura dos custos associada. Já as scooters evidenciam uma redução acentuada dos custos face ao cenário base, acompanhada por um aumento dos benefícios, posicionando-se como uma solução intermédia em termos de desempenho global.

De forma transversal, destaca-se o peso dominante dos custos com os trabalhadores em todos os cenários, em contraste com a reduzida expressão monetária dos benefícios sociais e ambientais. Esta assimetria ajuda a explicar o desequilíbrio global observado entre os custos e os benefícios e revela uma limitação central da abordagem adotada: a dificuldade em monetizar de forma completa os impactos externos positivos das soluções mais sustentáveis. Em particular, os benefícios como a melhoria da qualidade urbana, a redução da pressão sobre o espaço público ou a diminuição das externalidades associadas ao tráfego são apenas parcialmente captados pelo modelo, o que tende a subestimar o valor real destas alternativas e reforça a necessidade de uma interpretação integrada dos resultados.

Estes resultados encontram-se, em grande medida, alinhados com a literatura analisada, que identifica as e-cargo bikes como uma solução particularmente eficiente em contextos urbanos densos, devido à sua flexibilidade, à menor exposição ao congestionamento e à maior adequação às zonas restritas, apesar das limitações associadas à sua capacidade e ao alcance. De igual forma, a relevância das soluções híbridas é amplamente sublinhada nos estudos aplicados as cidades europeias, sendo apontadas como estratégias eficazes para equilibrar a eficiência operacional e a sustentabilidade, ainda que enfrentem desafios ao nível da operacionalidade e da coordenação entre os modos de transporte (Llorca & Moeckel, 2021). Neste sentido, o presente estudo confirma que a combinação modal pode ser uma resposta mais robusta do que a dependência exclusiva de um único veículo, sobretudo nos ambientes urbanos com elevada complexidade logística.

Em síntese, os resultados demonstram que o desempenho dos cenários depende fortemente dos pressupostos adotados, em particular ao nível da produtividade e da estrutura dos custos da operação. As bicicletas de carga destacam-se pelo seu desempenho global, mas apresentam limitações operacionais relevantes. As vans, embora assegurem uma maior capacidade e robustez operacional, revelam-se menos eficientes no meios urbanos. Por sua vez, as scooters e os cenários híbridos surgem como alternativas intermédias, capazes de equilibrar melhor as diferentes dimensões

de desempenho, ainda que continuem a apresentar restrições que impedem uma superioridade inequívoca.

6.3 Trade-offs entre os cenários

A análise dos resultados evidencia que o desempenho dos diferentes cenários resulta dos compromissos claros entre as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais, não sendo possível identificar uma solução que maximize simultaneamente todas as dimensões consideradas. Esta constatação confirma que a escolha da alternativa mais adequada na logística de última milha não deve ser baseada apenas num critério isolado, mas sim numa avaliação integrada das diferentes vantagens e limitações associadas a cada solução.

O cenário das bicicletas de carga elétricas constitui o exemplo mais evidente destes trade-offs. Por um lado, apresenta um desempenho claramente superior nas dimensões sociais, ambientais e operacionais, beneficiando da sua elevada adaptabilidade ao contexto urbano, da menor exposição ao congestionamento e dos reduzidos impactos ambientais. Por outro lado, esta solução é penalizada na dimensão económica, registando os custos anuais mais elevados, sobretudo devido à forte dependência da mão de obra. Este resultado mostra que a sustentabilidade e a eficiência urbana podem estar associadas a uma maior intensidade operacional, o que fragiliza a viabilidade económica da solução quando os custos laborais assumem um peso elevado. Assim, a superioridade das e-cargo bikes nos vários indicadores não se traduz automaticamente numa superioridade económica global, revelando um trade-off central entre o desempenho sustentável e a estrutura dos custos.

Os cenários híbridos, em particular a combinação das e-vans com as e-cargo bikes, surgem como a configuração que melhor mitiga estes trade-offs. A complementaridade entre estes modos de transporte permite conjugar a capacidade de carga e a autonomia dos veículos de maior dimensão com a flexibilidade e a eficiência urbana das bicicletas de carga. Estes cenários apresentam uma redução relevante dos custos operacionais e um desempenho mais equilibrado entre os custos e os benefícios, ainda que não eliminem totalmente os desequilíbrios económicos identificados. Esta evidência indica que as soluções multimodais tendem a oferecer uma maior adaptabilidade ao contexto urbano, precisamente porque permitem ajustar o meio de transporte às características da encomenda, à distância percorrida e às restrições do espaço urbano. Neste sentido, os cenários híbridos traduzem melhor a lógica de um sistema logístico flexível do que as soluções monomodais.

Em contraste, os cenários baseados exclusivamente nas vans, quer a combustível quer elétricas, apresentam, de forma consistente, os desempenhos menos favoráveis. Para além dos custos operacionais elevados, estes cenários são penalizados pelas limitações associadas ao tempo de entrega e às dificuldades de estacionamento e das paragens no meio urbano, bem como pelos impactos negativos ambientais e sociais mais expressivos. A eletrificação das vans atenua parcialmente os impactos ambientais, mas não altera de forma suficiente os constrangimentos operacionais que decorrem da sua menor adequação ao centro urbano de Braga. Isto mostra que a transição tecnológica, embora importante, não resolve por si só os problemas estruturais da distribuição urbana quando o modo de transporte permanece pouco compatível com o ambiente em que opera.

O cenário das scooters posiciona-se como uma solução intermédia, combinando os baixos custos de investimento com uma maior flexibilidade operacional face às vans. Ainda assim, o seu desempenho global permanece limitado, não sendo suficiente para compensar os custos totais nem para atingir os níveis de sustentabilidade comparáveis às alternativas baseadas na eletrificação ou à integração modal. Este resultado sugere que a redução do investimento inicial, por si só, não garante uma melhoria substancial do desempenho global, sobretudo quando a solução mantém restrições operacionais relevantes e benefícios externos relativamente modestos.

Estes resultados corroboram com a literatura que identifica as bicicletas de carga como as soluções altamente eficientes nas áreas urbanas densas, embora dependentes de uma gestão eficiente dos recursos humanos, e os sistemas híbridos como a abordagem mais equilibrada para otimizar o desempenho global. A literatura também tem sublinhado que a logística urbana sustentável exige frequentemente a combinação da eficiência operacional, da redução dos impactos ambientais e da adaptação ao espaço urbano, o que explica por que razão as soluções híbridas e modais têm ganho centralidade nos contextos urbanos complexos.

Em síntese, a escolha da solução mais adequada depende dos objetivos estratégicos definidos. Quando o foco está na sustentabilidade ambiental, na acessibilidade urbana e na redução das externalidades negativas, as bicicletas de carga elétricas destacam-se como a opção mais forte. Quando o objetivo é conciliar melhor o desempenho económico, operacional e ambiental, os cenários híbridos surgem como a alternativa mais robusta para o contexto específico da cidade de Braga. Assim, os resultados evidenciam trade-offs claros entre a sustentabilidade e os custos operacionais, entre a flexibilidade urbana e a capacidade de carga, e entre a viabilidade económica de curto prazo e a geração dos benefícios coletivos de mais longo prazo.

6.4 Robustez dos resultados (análise de sensibilidade)

A análise de sensibilidade permite aprofundar a interpretação dos resultados, evidenciando em que medida o desempenho dos cenários varia perante alterações de ±30%, nos parâmetros críticos e, consequentemente, avaliando a robustez das conclusões obtidas. De uma forma geral, os resultados mostram que os cenários apresentam diferentes níveis de sensibilidade, confirmando que o desempenho económico não depende apenas dos valores estimados no cenário base, mas também da sua exposição às principais fontes de incerteza associadas à operação.

Os custos com os trabalhadores destacam-se como a variável mais crítica em todos os cenários. A sua variação provoca alterações significativas no saldo anual, sendo particularmente evidente no cenário das bicicletas de carga elétricas, onde pequenas oscilações nos custos laborais são suficientes para inverter o resultado económico. Este comportamento reflete a elevada intensidade da mão de obra deste modelo e evidencia a sua vulnerabilidade estrutural a alterações nos custos com os trabalhadores. Nos restantes cenários, embora o impacto seja menos acentuado, continua a ser relevante, o que confirma o papel dominante dos custos laborais na estrutura global dos resultados. Assim, a análise sugere que a viabilidade económica das soluções depende, em larga medida, da capacidade de controlar e estabilizar esta componente do custo.

Contrariamente, os custos associados ao consumo do combustível ou da eletricidade apresentam um impacto relativamente reduzido nos resultados. As variações observadas no resultado anual são, na maioria dos cenários, pouco expressivas, indicando que esta variável não constitui o principal fator de incerteza do modelo no contexto analisado. Este resultado reflete que, apesar da relevância mediática dos preços energéticos no debate sobre a logística urbana sustentável, o seu efeito na viabilidade económica é inferior ao dos custos associados aos recursos humanos. Ou seja, a estrutura do modelo mostra-se mais sensível à organização do trabalho do que à evolução dos custos energéticos.

O investimento inicial (CAPEX) revela um impacto diferenciado entre os cenários. Embora não afete diretamente o saldo anual, condiciona o nível de risco associado à implementação das soluções e, por isso, assume particular relevância na fase de decisão. Os cenários mais intensivos em capital, como as e-vans, apresentam uma maior exposição às variações nos custos de aquisição, enquanto as soluções como as bicicletas de carga elétricas e as scooters evidenciam uma maior resiliência neste domínio. Este resultado é importante porque mostra que a robustez de uma solução não depende apenas do desempenho operacional corrente, mas também do grau de exigência financeira necessário para a sua entrada em funcionamento.

Estes resultados evidenciam que a robustez dos cenários depende fundamentalmente da sua exposição aos custos operacionais, em particular aos dos recursos humanos. Neste contexto, os cenários híbridos distinguem-se por apresentarem um comportamento relativamente mais estável, combinando os níveis moderados da sensibilidade com um desempenho global equilibrado. Em contrapartida, o cenário das bicicletas de carga, apesar do seu desempenho favorável, revela uma maior volatilidade, exigindo condições operacionais mais controladas para garantir a sua viabilidade. Esta diferença é particularmente relevante porque mostra que uma solução pode ser muito atrativa em condições de referência, mas simultaneamente mais frágil perante alterações moderadas nos pressupostos.

Em síntese, a análise de sensibilidade demonstra que a avaliação das soluções não deve assentar exclusivamente nos valores médios estimados, devendo incorporar também o risco associado a cada cenário. Num contexto urbano dinâmico como o de Braga, esta dimensão é especialmente importante, uma vez que as variações nos custos de trabalho, na estrutura operacional ou nas condições da implementação podem alterar de forma significativa a atratividade das alternativas analisadas. Assim, a robustez dos resultados constitui um critério decisivo na leitura global da viabilidade das soluções da entrega de última milha.

6.5 Implicações práticas para Braga

Os resultados discutidos permitem retirar implicações relevantes para a organização das operações de logística urbana no contexto específico de Braga, tanto para os operadores logísticos como para as entidades públicas.

Os cenários híbridos, em particular a combinação das e-vans com as e-cargo bikes, destacam-se como a solução mais equilibrada e operacionalmente viável. Esta configuração permite articular as diferentes escalas da distribuição, utilizando os veículos com maior capacidade para os percursos periféricos e as bicicletas de carga para as zonas centrais, onde o acesso é mais condicionado e a eficiência urbana assume maior relevância. Para além de apresentarem um desempenho mais equilibrado entre os custos e os benefícios, estes cenários também demonstram uma maior estabilidade face às variações analisadas, evidenciando uma menor exposição ao risco. O seu posicionamento intermédio ao nível do investimento inicial facilita uma adoção progressiva e reduz as possíveis barreiras financeiras à sua implementação. Neste sentido, os resultados reforçam que os modelos híbridos podem funcionar como uma solução de transição particularmente adequada para Braga, permitindo compatibilizar a necessidade da eficiência operacional com os objetivos da sustentabilidade urbana. O cenário baseado exclusivamente nas bicicletas de carga,

apesar das vantagens evidentes ao nível ambiental e operacional, apresenta limitações associadas à sua elevada dependência dos recursos humanos. A sua viabilidade prática dependerá, por isso, da capacidade dos operadores para aumentar a produtividade, através de uma melhoria da organização das rotas, da consolidação das entregas e da gestão mais eficiente das equipas. Assim, os resultados indicam que uma estratégia de transição gradual poderá ser mais realista do que uma substituição imediata das soluções convencionais. A integração progressiva das bicicletas de carga nas áreas urbanas, mantendo simultaneamente os veículos tradicionais para garantir a capacidade e a cobertura do serviço, pode permitir testar os modelos operacionais, ajustar os processos e reduzir o risco associado à mudança.

Do ponto de vista das políticas públicas, os resultados evidenciam a necessidade de medidas complementares que reforcem a viabilidade destas soluções. Entre as várias medidas, destacam-se a criação das infraestruturas de apoio, como os micro-hubs logísticos em localizações estratégicas, a expansão das zonas de acesso condicionado aos veículos mais poluentes e o reforço dos incentivos à eletrificação das frotas ou até mesmo do uso das bicicletas. A revisão das regras do estacionamento e das operações de carga e descarga assume também um papel relevante, podendo contribuir para reduzir os custos operacionais associados ao tempo das paragens e à ineficiência das entregas. Importa ainda salientar que uma parte significativa dos benefícios associados às soluções mais sustentáveis não é capturada diretamente pelos operadores logísticos, mas sim pela população em geral, nomeadamente através da redução da poluição, do ruído e do congestionamento. Esta dissociação entre os custos privados e os benefícios sociais limita a adoção destas soluções numa lógica estritamente económica, reforçando o papel das políticas públicas na sua promoção e na criação de condições que tornem a transição mais atrativa para os agentes económicos.

Em comparação com outras cidades europeias, Braga apresenta características favoráveis à implementação das soluções híbridas, nomeadamente pela sua dimensão intermédia e pela relativa compacidade do centro urbano. Ainda assim, o sucesso destas soluções dependerá da articulação entre os operadores, as infraestruturas e o enquadramento regulatório. Embora os resultados indicam que Braga reúne condições favoráveis para à adoção de soluções mais sustentáveis de logística urbana, a sua implementação deverá ser cuidadosamente planeada, tendo em conta os trade-offs identificados e a necessidade de equilibrar as diferentes dimensões de desempenho.

6.6 Limitações do estudo

Apesar do contributo do presente estudo, importa reconhecer um conjunto de limitações que condicionam a interpretação dos resultados.

Em primeiro lugar, a análise incide sobre um contexto geográfico específico, o centro urbano de Braga, e assenta num conjunto de pressupostos relativos à procura e à organização das operações. Embora esta abordagem permita uma avaliação detalhada e contextualizada, limita a generalização direta dos resultados para outros contextos urbanos sem a devida adaptação. Em segundo lugar, a análise custo-benefício baseia-se em pressupostos e em estimativas, nomeadamente na monetização dos impactos sociais e ambientais com recurso aos valores de referência da literatura. Apesar de amplamente utilizados, estes valores têm uma natureza aproximada, podendo influenciar os resultados, sobretudo nos indicadores de difícil quantificação, como os impactos na saúde pública ou na qualidade do espaço urbano. Esta limitação é particularmente relevante porque parte do valor gerado pelas soluções mais sustentáveis não é facilmente traduzível em termos monetários, o que pode conduzir a uma subestimação dos seus benefícios reais. Adicionalmente, as variáveis operacionais como a produtividade e os custos com os trabalhadores foram estimadas com base em valores médios, não tendo sido consideradas as flutuações associadas aos fatores como a sazonalidade da procura, a variabilidade do desempenho operacional, o absentismo e a rotatividade do pessoal. Esta simplificação, embora necessária para manter a comparabilidade entre os cenários, reduz o grau de realismo da modelação e pode afetar a magnitude dos resultados obtidos. Outra limitação prende-se com o horizonte temporal adotado. A análise assume uma perspetiva anual e estática, não incorporando a evolução futura das variáveis como os preços dos combustíveis ou da eletricidade, os custos dos veículos, os níveis salariais ou o desenvolvimento tecnológico. Neste sentido, os resultados devem ser interpretados como um retrato de curto prazo, que poderá alterar-se em função das mudanças económicas, regulatórias e tecnológicas.

Relativamente à análise de sensibilidade, foi adotada uma abordagem unifatorial, baseada na variação isolada de cada variável. Embora esta metodologia permita identificar os principais fatores críticos, não capta as possíveis interações entre as variáveis, que poderiam influenciar os resultados de uma forma conjunta. Por fim, não foram considerados explicitamente alguns fatores relevantes para a implementação prática das soluções, como os custos de transição, a necessidade da adaptação organizacional ou os aspetos comportamentais associados aos operadores e aos utilizadores. Estes elementos poderão ter impacto na viabilidade real das soluções analisadas e

merecem atenção em investigações futuras. Apesar destas limitações, o estudo permite identificar as tendências consistentes e fornece uma base robusta para a análise comparativa das diferentes soluções, contribuindo para uma melhor compreensão dos fatores que condicionam a logística urbana no contexto urbano de Braga.

Em síntese, a discussão desenvolvida ao longo deste capítulo mostra que o desempenho das diferentes soluções da distribuição de última milha resulta de compromissos entre as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais, não sendo possível identificar uma alternativa universalmente superior. Os resultados reforçam a importância das abordagens integradas e adaptadas ao contexto urbano, bem como a necessidade de considerar simultaneamente o desempenho médio e a robustez das soluções. Em última análise, a transição para uma entrega de última milha mais sustentável não é apenas uma questão técnica ou económica, mas sim uma decisão estratégica que exige um alinhamento entre os operadores logísticos, o poder local e as políticas de mobilidade. Os resultados deste estudo demonstram que Braga reúne as condições favoráveis para liderar esta transição, desde que se opte por uma abordagem faseada, apoiada por medidas municipais adequadas e por uma gestão cuidadosa dos principais fatores de risco identificados.

7. Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo desenvolver e aplicar um modelo de análise custo-benefício multicritério para avaliar e comparar as diferentes soluções da entrega de última milha no centro urbano de Braga, considerando as dimensões económicas, sociais, ambientais e operacionais. Com base na definição dos cenários alternativos e na monetização dos principais impactos associados a cada solução, foi possível construir uma avaliação integrada do seu desempenho, identificando os respetivos trade-offs e o grau de robustez dos resultados obtidos.

Os resultados permitem concluir que não existe uma solução universalmente superior em todas as dimensões analisadas. As bicicletas de carga elétricas destacam-se pelo seu desempenho favorável nas dimensões sociais, ambientais e operacionais, bem como pela sua adaptação ao contexto urbano. No entanto, este cenário revela uma forte dependência dos custos com os trabalhadores, o que limita o seu equilíbrio económico global. Em sentido oposto, os cenários baseados exclusivamente nas vans apresentam os desempenhos menos favoráveis, sobretudo devido aos custos operacionais mais elevados, às restrições da circulação no centro urbano e aos impactos ambientais e sociais mais expressivos. As soluções híbridas surgem como as alternativas intermédias, assumindo particular relevância pela sua maior estabilidade e pela capacidade de conciliar as diferentes dimensões do desempenho. A análise de sensibilidade confirmou ainda que os custos laborais constituem o principal fator de incerteza do modelo, enquanto os custos energéticos apresentam um impacto reduzido nos resultados globais. O investimento inicial, por sua vez, assume uma maior relevância na fase da decisão e da implementação, sobretudo nos cenários mais intensivos em capital. Estes resultados reforçam a importância de não considerar apenas os valores médios estimados, mas também a exposição dos cenários às variações dos parâmetros críticos, sobretudo num contexto urbano dinâmico e sujeito a alterações operacionais e económicas.

Do ponto de vista prático, a dissertação evidencia que a transição para as soluções de última milha mais sustentáveis em Braga deverá assentar numa abordagem faseada e ajustada às características do centro urbano. A implementação de micro-hubs, a articulação entre os modos de transporte e a criação de condições operacionais favoráveis podem desempenhar um papel decisivo na viabilização destas alternativas. Neste sentido, os resultados evidenciam que a adoção das soluções híbridas pode constituir uma estratégia promissora para melhorar o equilíbrio entre a eficiência, a sustentabilidade e a viabilidade operacional.

Em termos académicos, o estudo contribui para a literatura sobre a logística urbana ao propor uma abordagem integrada da avaliação custo-benefício aplicada ao contexto específico de Braga, demonstrando a utilidade de considerar simultaneamente as múltiplas dimensões de desempenho. Apesar das limitações associadas aos pressupostos adotados, à monetização de alguns impactos e o horizonte temporal considerado, a dissertação fornece uma base consistente para uma análise comparativa e para o apoio à decisão. Em termos futuros, seria relevante aprofundar o modelo com dados empíricos mais detalhados, incorporar a evolução temporal das variáveis e explorar a aplicabilidade da metodologia a outros contextos urbanos.

Em síntese, esta dissertação mostra que a entrega de última milha mais sustentável não depende apenas da escolha de veículos menos poluentes, mas da construção de um sistema logístico mais adaptado ao espaço urbano, aos recursos disponíveis e às exigências da eficiência e da sustentabilidade. No caso de Braga, os resultados apontam para a importância de uma transição progressiva, suportada por soluções híbridas, por infraestruturas adequadas e por políticas públicas capazes de alinhar os interesses dos operadores com os benefícios coletivos gerados para a cidade.

Referências

Arregui, H., Cejudo, I., Arandia, I., Mujika, A., Irigoyen, E., Rabadan, L., & Loyo, E. (2025). Last-Mile Delivery Through Electric Motorbikes: Modelling Considerations for Parcel vs. Food Delivery. Em C. McNally, P. Carroll, B. Martinez-Pastor, B. Ghosh, M. Efthymiou, & N. Valantasis-Kanellos (Eds.), *Transport Transitions: Advancing Sustainable and Inclusive Mobility* (pp. 446–452). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95284-5_63

Bertolini, M., De Matteis, G., & Nava, A. (2024). Sustainable Last-Mile Logistics in Economics Studies: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *16*(3), 1205. https://doi.org/10.3390/su16031205

Bothof, S., Te Boveldt, G., & Boussauw, K. (2025). Identifying transport policy priorities through a meta-analysis of cost-benefit analysis in the Netherlands and Flanders. *Transport Policy*, *172*, 103765. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.103765

Ceccato, R., & Gastaldi, M. (2023). Last mile distribution using cargo bikes: A simulation study in Padova. *European Transport/Trasporti Europei*, (90), 1–11. https://doi.org/10.48295/ET.2023.90.3

Chatziioannou, I., Bakogiannis, E., Karolemeas, C., Kourmpa, E., Papadaki, K., & Vlastos, T. (2024). Urban Environment's Contributory Factors for the Adoption of Cargo Bike Usage: A Systematic Literature Review. *Future Transportation*, *4*(1), 92–106. https://doi.org/10.3390/futuretransp4010006

CIM Cávado (Coordenação), Município de Braga, & rittma® (Equipa de projeto). (2024). *Plano de Desenvolvimento Social de Braga 2024-2030*. https://staging.cm-braga.pt/files/BRAGA-DS-E-PDS-2030_V1.4.pdf

Colonna, L., Marcucci, E., Gatta, V., & Comi, A. (2025). Cargo Bikes and Van Deliveries in Rome: A Comparative Analysis. *Future Transportation*, *5*(4), 145. https://doi.org/10.3390/futuretransp5040145

EIT InnoEnergy. (2023). *Finding the Right Mix: The Hidden Costs, Complexities, and Benefits of Mixed Electric Fleets in Last-Mile-Logistics*. https://3416096.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/3416096/Reports/20231211%20Innoenergy%20Mixed%20Fleet%20Study.pdf

Gläser, S., Jahnke, H., & Strassheim, N. (2023). Opportunities and challenges of crowd logistics on the last mile for courier, express and parcel service providers – a literature review. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *26*(8), 1006–1034. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.2005005

Gruber, J., Plener, M., Damer, L., & Dubernet, I. (2024). Car or Cargo Bike? Determinants for the Use of a Small Vehicle Type in Urban Logistics: A Stated Preference Survey Among Commercial Transport Operators. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2678*(11), 1548–1561. https://doi.org/10.1177/03611981241245676

Janinhoff, L., Klein, R., Sailer, D., & Schoppa, J. M. (2024). Out-of-home delivery in last-mile logistics: A review. *Computers & Operations Research*, *168*, 106686. https://doi.org/10.1016/j.cor.2024.106686

Konečný, V., Zuzaniak, M., & Jonasíková, D. (2025). Greenhouse Gas Emissions from Road Transport and Their Economic Value in the Assessment of Transport Projects Using a Cost–Benefit Analysis: Approaches Implemented in the Slovak Republic and Selected Central European Countries. *Applied Sciences*. https://doi.org/10.3390/%20app15031283

Llorca, C., & Moeckel, R. (2021). Assesment of the potential of cargo bikes and electrification for last-mile parcel delivery by means of simulation of urban freight flows. *European Transport Research Review*, *13*(1), 33. https://doi.org/10.1186/s12544-021-00491-5

Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, *9*(2), 30. https://doi.org/10.1007/s12544-017-0246-8

OECD. (2024). *Urban Logistics Hubs*. OECD. https://doi.org/10.1787/da4dee9f-en

Shuaibu, A. S., Mahmoud, A. S., & Sheltami, T. R. (2025). A Review of Last-Mile Delivery Optimization: Strategies, Technologies, Drone Integration, and Future Trends. *Drones*, *9*(3), 158. https://doi.org/10.3390/drones9030158

Silva, V., Amaral, A., & Fontes, T. (2023a). Sustainable Urban Last-Mile Logistics: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *15*(3), 2285. https://doi.org/10.3390/su15032285

Silva, V., Amaral, A., & Fontes, T. (2023b). Towards sustainable last-mile logistics: A decision-making model for complex urban contexts. *Sustainable Cities and Society*, *96*, 104665. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104665

Szmelter-Jarosz, A., Chmiel, B., Weiland, D., Wierzbowski, P., & Reszka, L. (2023). *DEBATE ON THE DEFINITION OF URBAN LOGISTICS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*. *18*(2).

Teles, P., Ribeiro, A., Rei, A., Rocha, I., Ribeiro, J., Gorito, J., Lopes, P., & Ferreira, T. (2020). *Plano de Mobilidade Urbana Sustentável para a Cidade de Braga*. https://www.cm-braga.pt/archive/doc/PMUS_Versao_Final.pdf

Temporelli, A., Brambilla, P. C., Brivio, E., & Girardi, P. (2022). Last Mile Logistics Life Cycle Assessment: A Comparative Analysis from Diesel Van to E-Cargo Bike. *Energies*, *15*(20), 7817. https://doi.org/10.3390/en15207817

Veličković, M., Stojanović, Đ., Ilin, V., & Mirčetić, D. (2025). A Combined Multi-Criteria Decision-Making and Social Cost–Benefit Analysis Approach for Evaluating Sustainable City Logistics Initiatives. *Sustainability*, *17*(3), 884. https://doi.org/10.3390/su17030884

Yangbin Zeng. (2024). *Problems of «Last-Mile Delivery»And Discussion*. https://doi.org/10.5281/ZENODO.13208433

Apêndices

Apêndice A – Parâmetros detalhados do modelo

Categoria	Parâmetro	Vans	E -Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Unidade
Económicos	N° de veículos	34	34	75	47	n° de veículos
	Investimento inicial	30 000,00 €	45 000,00 €	6 000,00 €	4 000,00 €	€/veículo
	Vida útil veículo	8	10	6	5	anos/veículo
	Consumo de combustível/eletricidade	9	18	3	3	L/100 km / kWh/100km
	Preço combustível/eletricidade	1,65 €	0,30 €	0,30 €	1,65 €	€/L ou €/kWh
	Manutenção	1 500,00 €	1 000,00 €	300,00 €	600,00 €	€/ano
	Seguros/Certificações	1 200,00 €	1 000,00 €	200,00 €	500,00 €	€/ano
	Espaço ocupado p/veículo	15	15	2	5	m^2/veículo
	Custo do espaço p/m^2	100 €	100 €	100 €	100 €	€/m^2/ano
	Distância média rotas p/dia	80	80	45	60	km/dia p/veículo
	Distância média rotas p/ano	20 000	20 000	11 250	15 000	km/ano p/veículo
	Tempo médio de rota	1	1	0,67	0,75	hora/rota
	N° de rotas p/dia	8	8	10	9	n° rotas p/dia
	N° de rotas p/ano	2 000	2 000	2 500	2 250	n° rotas p/ano
	Dias de operação p/ano	250	250	250	250	dias úteis p/ano
	N° de colaboradores necessários	34	34	75	47	n° colaboradores
	Operadores p/veículo	1	1	1	1	n° estafetas p/veículo
	Horas de trabalho p/dia	8	8	8	8	h/dia
	Horas de trabalho p/ano	2 000	2 000	2 000	2 000	h/ano
	Salário p/trabalhador mensal	1 500,00 €	1 500,00 €	1 500,00 €	1 500,00 €	€/mês
	Salário p/trabalhador anual	21 000,00 €	21 000,00 €	21 000,00 €	21 000,00 €	€/ano
	Custo p/hora p/trabalhador	8,65 €	8,65 €	8,65 €	8,65 €	€/hora
	Custo p/hora extra p/trabalhador	12,98 €	12,98 €	12,98 €	12,98 €	€/hora extra
	Formação p/trabalhador	346,15 €	346,15 €	346,15 €	346,15 €	€/ano
	Encargos Sociais c/trabalhador (TSU=23,75%)	4 987,50 €	4 987,50 €	4 987,50 €	4 987,50 €	€/ano
	N° de entregas p/hora p/colaborador	10	10	8	9	n° entregas/h
	Margem média p/entrega	2,00 €	2,20 €	2,80 €	2,40 €	€/entrega
	Veículos adicionais necessários	0%	0%	20%	10%	%
	Tempo perdido no congestionamento	30%	30%	5%	10%	%
	Custos com atrasos (congestionamento)	3,60 €	3,60 €	0,60 €	1,20 €	€/hora
	N° médio de multas	8	8	1	3	n°/ano
	Valor médio da multa	40 €	40 €	40 €	40 €	€/multa
Sociais	Ruído	75	65	45	70	dB(A)
	Custo Social médio do ruído p/veículo	150,00 €	50,00 €	5,00 €	100,00 €	€/veículo p/ano
	Horas perdidas no congestionamento p/ano	40	40	10	20	hora/ano
	"Valor" do tempo da população	10,00 €	10,00 €	10,00 €	10,00 €	€/hora
	Poluição do ar	0,65	0	0	0,25	g/km
	Custo Social da poluição do ar	30,00 €	30,00 €	30,00 €	30,00 €	€/kg poluente
	Taxa de acidentes (probabilidade)	0,8	0,8	0,6	0,7	n°acidentes/100 000Km
	Custo social médio p/acidente	20 000,00 €	20 000,00 €	20 000,00 €	20 000,00 €	€/ano
	Tempo médio poupado por rota	0	0	0,33	0,25	min/rota
	Dias médios de baixa	10	10	6	7	anuais
	Impacto no espaço urbano	250,00 €	250,00 €	50,00 €	100,00 €	€/veículo/ano
Ambientais	Emissões GEE	180	50	5	75	g CO_2 eq/km
	Custo Social do Carbono	80,00 €	80,00 €	80,00 €	80,00 €	€/ton CO_2 eq
	Custo da poluição do ar	0,008 €	0,005 €	0,001 €	0,003 €	€/Km
	Peso do veículo	2 000	2 300	120	150	Kg
	Custo de tratamento €/kg	0,20 €	0,20 €	0,20 €	0,20 €	€/Kg
	N° de entradas em zonas restritas/sensíveis	200	200	200	200	entradas/ano
	Taxa urbana ambiental potencial	2,00 €	2,00 €	2,00 €	2,00 €	€/entrada
	Fator permissão (em políticas futuras)	0	1	1	1	1pode entrar; 0 não pode
Operacionais	N° de entregas p/dia	3 000	3 000	3 000	3 000	n° entregas/dia
	N° de entregas p/ano	750 000	750 000	750 000	750 000	n° entregas/ano
	N° de entregas p/rota p/veículo	120	120	45	60	n° entregas/rota/veículo
	N° rotas p/ano	6 250	6 250	16 667	12 500	rotas/ano/veículo
	% de rotas com acesso	30%	80%	100%	90%	%
	N° rotas p/ano em zonas restritas	300	300	300	300	rotas/ano
	Tempo médio p/entrega	10	10	8	9	min/entrega
	Tempo médio poupado p/rota (acessos)	0,25	0,25	0,25	0,25	h/rota (15 min)
	Tempo médio perdido p/entrega	4	4	0,5	1	min/entrega
	Tempo poupado p/rota (infraestruturas)	0	0	10	6	min poupados/rota
	% dias afetados pelas condições climáticas	2%	2%	10%	7%	% dias afetados p/ano
	Horas adicionais necessárias p/dia afetado	0,40	0,40	1,60	1,20	horas/dia
	Tempo perdido p/rota (imprevisibilidade)	10	10	4	6	minutos perdidos/rota
	Horas extra evitadas p/ano	0	0	40	25	horas extra evitadas/ano

Apêndice B – Investimento inicial por cenário

					Cenários Híbridos	
	Vans	E-Vans	E-Cargo Bikes	Scooters	Vans + E-Cargo Bikes	E-Vans + E-Cargo Bikes
Investimento Inicial	1 020 000,00 €	1 530 000,00 €	450 000,00 €	188 000,00 €	654 000,00 €	954 000,00 €

Apêndice C – Vans a combustível (cenário base) e Vans elétricas

		Cenário base - Vans a combustível		Cenário - Vans elétricas	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	127 500,00 €		153 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	51 000,00 €		51 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	100 980,00 €		36 720,00 €	
	Manutenções	51 000,00 €		34 000,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	40 800,00 €		34 000,00 €	
	Custos com o trabalhador	895 344,23 €		895 344,23 €	
	Custos com atrasos	73 440,00 €		73 440,00 €	
	Paragens ilegais	10 880,00 €		10 880,00 €	
	Produtividade		1 360 000,00 €		1 496 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	- €		- €	
Sociais	Poluição atmosférica	13 260,00 €		- €	
	Ruído	5 100,00 €		1 700,00 €	
	Impacto no espaço urbano	8 500,00 €		8 500,00 €	
	Congestionamento Social	13 600,00 €		13 600,00 €	
	Acessibilidade urbana		- €		- €
	Acidentes	108 800,00 €		108 800,00 €	
	Saúde pública	23 538,46 €		23 538,46 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	9 792,00 €		2 720,00 €	
	Qualidade do ar	5 440,00 €		3 400,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 700,00 €		1 564,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		- €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 081 730,77 €		1 081 730,77 €	
	Capacidade de veículos	54 086,54 €		54 086,54 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		194,71 €		519,23 €
	Estacionamento/paragem	432 692,31 €		432 692,31 €	
	Infraestruturas disponíveis		- €		- €
	Limitações p/condições climáticas	17,31 €		17,31 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 014,42 €		9 014,42 €	
	Flexibilidade operacional		- €		- €
	Total	3 118 216,04 €	1 360 194,71 €	3 029 748,04 €	1 496 919,23 €

Apêndice D – E-Cargo Bikes e Scooters

		Cenário - E-Cargo Bikes		Cenário - Scooters	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	75 000,00 €		37 600,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	15 000,00 €		23 500,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	7 593,75 €		34 897,50 €	
	Manutenções	22 500,00 €		28 200,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	15 000,00 €		23 500,00 €	
	Custos com o trabalhador	1 975 024,04 €		1 237 681,73 €	
	Custos com atrasos	4 500,00 €		11 280,00 €	
	Paragens ilegais	3 000,00 €		5 640,00 €	
	Produtividade		3 360 000,00 €		2 030 400,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	27 018,75 €		14 769,75 €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		5 287,50 €	
	Ruído	375,00 €		4 700,00 €	
	Impacto no espaço urbano	3 750,00 €		4 700,00 €	
	Congestionamento Social	7 500,00 €		9 400,00 €	
	Acessibilidade urbana		120,19 €		81,13 €
	Acidentes	101 250,00 €		98 700,00 €	
	Saúde pública	31 153,85 €		22 776,92 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	337,50 €		4 230,00 €	
	Qualidade do ar	843,75 €		2 115,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	300,00 €		282,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	865 384,62 €		973 557,69 €	
	Capacidade de veículos	96 153,85 €		81 129,81 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		649,04 €		584,13 €
	Estacionamento/paragem	54 086,54 €		108 173,08 €	
	Infraestruturas disponíveis		24 038,46 €		10 817,31 €
	Limitações p/condições climáticas	346,15 €		181,73 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 615,38 €		10 817,31 €	
	Flexibilidade operacional		519,23 €		324,52 €
	Total	3 315 733,17 €	3 385 726,92 €	2 743 120,02 €	2 042 607,09 €

Apêndice E – Cenário híbridos: Vans + E-Cargo Bikes e E-Vans + E-Cargo Bikes

		Cenário Hibrído Vans + E-Cargo Bikes		Cenário Hibrído E-Vans + E-Cargo Bikes	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	84 000,00 €		99 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	31 800,00 €		31 800,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	60 311,25 €		22 511,25 €	
	Manutenções	32 700,00 €		22 700,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	25 800,00 €		21 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	763 675,96 €		763 675,96 €	
	Custos com atrasos	43 740,00 €		43 740,00 €	
	Paragens ilegais	6 760,00 €		6 760,00 €	
	Produtividade	- €	1 203 200,00 €	- €	1 283 200,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	3 242,25 €	- €	3 242,25 €	- €
Sociais	Poluição atmosférica	7 800,00 €		- €	
	Ruído	3 045,00 €		1 045,00 €	
	Impacto no espaço urbano	5 450,00 €		5 450,00 €	
	Congestionamento Social	8 900,00 €		8 900,00 €	
	Acessibilidade urbana		37,30 €		37,30 €
	Acidentes	76 150,00 €		76 150,00 €	
	Saúde pública	17 584,62 €		17 584,62 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	5 800,50 €		1 640,50 €	
	Qualidade do ar	3 301,25 €		2 101,25 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 036,00 €		956,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais	- €	124,14 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 014 588,86 €		1 014 588,86 €	
	Capacidade de veículos	67 141,91 €		67 141,91 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		335,71 €		559,52 €
	Estacionamento/paragem	315 193,97 €		315 193,97 €	
	Infraestruturas disponíveis		7 460,21 €		7 460,21 €
	Limitações p/condições climáticas	119,36 €		119,36 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 200,93 €		9 200,93 €	
	Flexibilidade operacional		161,14 €		161,14 €
	Total	**2 587 341,85 €**	**1 211 318,50 €**	**2 535 301,85 €**	**1 291 818,17 €**

Apêndice F – Comparação com o cenário base (Cenário x - Cenário base)

		Vans Elétricas		E-Cargo Bikes		Scooters		Cenário Híbrido Vans + E-Cargo Bikes		Cenário Híbrido E-Vans + E-Cargo Bikes	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	25 500,00 €		- 52 500,00 €		- 89 900,00 €		- 43 500,00 €		- 28 500,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	- €		- 36 000,00 €		- 27 500,00 €		- 19 200,00 €		- 19 200,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	- 64 260,00 €		- 93 386,25 €		- 66 082,50 €		- 40 668,75 €		- 78 468,75 €	
	Manutenções	- 17 000,00 €		- 28 500,00 €		- 22 800,00 €		- 18 300,00 €		- 28 300,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	- 6 800,00 €		- 25 800,00 €		- 17 300,00 €		- 15 000,00 €		- 19 000,00 €	
	Custos com o trabalhador	- €		1 079 679,81 €		342 337,50 €		- 131 668,27 €		- 131 668,27 €	
	Custos com atrasos	- €		- 68 940,00 €		- 62 160,00 €		- 29 700,00 €		- 29 700,00 €	
	Paragens ilegais	- €		- 7 880,00 €		- 5 240,00 €		- 4 120,00 €		- 4 120,00 €	
	Produtividade		136 000,00 €		2 000 000,00 €		670 400,00 €		- 156 800,00 €		- 76 800,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	- €		27 018,75 €		14 769,75 €		3 242,25 €		3 242,25 €	
Sociais	Poluição atmosférica	- 13 260,00 €		- 13 260,00 €		- 7 972,50 €		- 5 460,00 €		- 13 260,00 €	
	Ruído	- 3 400,00 €		- 4 725,00 €		- 400,00 €		- 2 055,00 €		- 4 055,00 €	
	Impacto no espaço urbano	- €		- 4 750,00 €		- 3 800,00 €		- 3 050,00 €		- 3 050,00 €	
	Congestionamento Social	- €		- 6 100,00 €		- 4 200,00 €		- 4 700,00 €		- 4 700,00 €	
	Acessibilidade urbana		- €		120,19 €		81,13 €		37,30 €		37,30 €
	Acidentes	- €		- 7 550,00 €		- 10 100,00 €		- 32 650,00 €		- 32 650,00 €	
	Saúde pública	- €		7 615,38 €		- 761,54 €		- 5 953,85 €		- 5 953,85 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	- 7 072,00 €		- 9 454,50 €		- 5 562,00 €		- 3 991,50 €		- 8 151,50 €	
	Qualidade do ar	- 2 040,00 €		- 4 596,25 €		- 3 325,00 €		- 2 138,75 €		- 3 338,75 €	
	Fim de vida/reciclagem	- 136,00 €		- 1 400,00 €		- 1 418,00 €		- 664,00 €		- 744,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €		124,14 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	- €		- 216 346,15 €		- 108 173,08 €		- 67 141,91 €		- 67 141,91 €	
	Capacidade de veículos	- €		42 067,31 €		27 043,27 €		13 055,37 €		13 055,37 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		324,52 €		454,33 €		389,42 €		141,00 €		364,80 €
	Estacionamento/paragem	- €		- 378 605,77 €		- 324 519,23 €		- 117 498,34 €		- 117 498,34 €	
	Infraestruturas disponíveis		- €		24 038,46 €		10 817,31 €		7 460,21 €		7 460,21 €
	Limitações p/condições climáticas	- €		328,85 €		164,42 €		102,06 €		102,06 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	- €		600,96 €		1 802,88 €		186,51 €		186,51 €	
	Flexibilidade operacional		- €		519,23 €		324,52 €		161,14 €		161,14 €
	Total	- 88 468,00 €	136 724,52 €	197 517,13 €	2 025 532,21 €	- 375 096,02 €	682 412,38 €	- 530 874,19 €	- 148 876,21 €	- 582 914,19 €	- 68 376,54 €

Apêndice G – Análise de sensibilidade ao investimento inicial

Cenário	Investimento Inicial (-30%)	Investimento Inicial Base (€)	Investimento Inicial (+30%)
Vans	714 000,00 €	1 020 000,00 €	1 326 000,00 €
E-Vans	1 071 000,00 €	1 530 000,00 €	1 989 000,00 €
E-cargo bikes	315 000,00 €	450 000,00 €	585 000,00 €
Scooters	131 600,00 €	188 000,00 €	244 400,00 €
Vans + E-Cargo Bikes	457 800,00 €	654 000,00 €	850 200,00 €
E-Vans + E-Cargo Bikes	667 800,00 €	954 000,00 €	1 240 200,00 €

Apêndice H – Análise de sensibilidade (±30%) ao consumo do combustível das vans

		Vans a Combustível					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	127 500,00 €		127 500,00 €		127 500,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	51 000,00 €		51 000,00 €		51 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	**70 686,00 €**		**100 980,00 €**		**131 274,00 €**	
	Manutenções	51 000,00 €		51 000,00 €		51 000,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	40 800,00 €		40 800,00 €		40 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	895 344,23 €		895 344,23 €		895 344,23 €	
	Custos com atrasos	73 440,00 €		73 440,00 €		73 440,00 €	
	Paragens ilegais	10 880,00 €		10 880,00 €		10 880,00 €	
	Produtividade		1 360 000,00 €		1 360 000,00 €		1 360 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	- €		0		- €	
Sociais	Poluição atmosférica	13 260,00 €		13 260,00 €		13 260,00 €	
	Ruído	5 100,00 €		5 100,00 €		5 100,00 €	
	Impacto no espaço urbano	8 500,00 €		8 500,00 €		8 500,00 €	
	Congestionamento Social	13 600,00 €		13 600,00 €		13 600,00 €	
	Acessibilidade urbana		- €		- €		- €
	Acidentes	108 800,00 €		108 800,00 €		108 800,00 €	
	Saúde pública	23 538,46 €		23 538,46 €		23 538,46 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	9 792,00 €		9 792,00 €		9 792,00 €	
	Qualidade do ar	5 440,00 €		5 440,00 €		5 440,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 700,00 €		1 700,00 €		1 700,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		- €		- €		- €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 081 730,77 €		1 081 730,77 €		1 081 730,77 €	
	Capacidade de veículos	54 086,54 €		54 086,54 €		54 086,54 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		194,71 €		194,71 €		194,71 €
	Estacionamento/paragem	432 692,31 €		432 692,31 €		432 692,31 €	
	Infraestruturas disponíveis		- €		- €		- €
	Limitações p/condições climáticas	17,31 €		17,31 €		17,31 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 014,42 €		9 014,42 €		9 014,42 €	
	Flexibilidade operacional		- €		- €		- €
	Total	**3 087 922,04 €**	**1 360 194,71 €**	**3 118 216,04 €**	**1 360 194,71 €**	**3 148 510,04 €**	**1 360 194,71 €**

Apêndice I – Análise de sensibilidade (±30%) ao consumo da eletricidade das vans

		Vans Elétricas					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	153 000,00 €		153 000,00 €		153 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	51 000,00 €		51 000,00 €		51 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	**25 704,00 €**		**36 720,00 €**		**47 736,00 €**	
	Manutenções	34 000,00 €		34 000,00 €		34 000,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	34 000,00 €		34 000,00 €		34 000,00 €	
	Custos com o trabalhador	895 344,23 €		895 344,23 €		895 344,23 €	
	Custos com atrasos	73 440,00 €		73 440,00 €		73 440,00 €	
	Paragens ilegais	10 880,00 €		10 880,00 €		10 880,00 €	
	Produtividade		1 496 000,00 €		1 496 000,00 €		1 496 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	- €		0		- €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		- €		- €	
	Ruído	1 700,00 €		1 700,00 €		1 700,00 €	
	Impacto no espaço urbano	8 500,00 €		8 500,00 €		8 500,00 €	
	Congestionamento Social	13 600,00 €		13 600,00 €		13 600,00 €	
	Acessibilidade urbana		- €		- €		- €
	Acidentes	108 800,00 €		108 800,00 €		108 800,00 €	
	Saúde pública	23 538,46 €		23 538,46 €		23 538,46 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	2 720,00 €		2 720,00 €		2 720,00 €	
	Qualidade do ar	3 400,00 €		3 400,00 €		3 400,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 564,00 €		1 564,00 €		1 564,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 081 730,77 €		1 081 730,77 €		1 081 730,77 €	
	Capacidade de veículos	54 086,54 €		54 086,54 €		54 086,54 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		519,23 €		519,23 €		519,23 €
	Estacionamento/paragem	432 692,31 €		432 692,31 €		432 692,31 €	
	Infraestruturas disponíveis		- €		- €		- €
	Limitações p/condições climáticas	17,31 €		17,31 €		17,31 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 014,42 €		9 014,42 €		9 014,42 €	
	Flexibilidade operacional		- €		- €		- €
	Total	**3 018 732,04 €**	**1 496 919,23 €**	**3 029 748,04 €**	**1 496 919,23 €**	**3 040 764,04 €**	**1 496 919,23 €**

Apêndice J – Análise de sensibilidade (±30%) ao consumo da eletricidade das E-Cargo Bikes

		E-Cargo Bikes					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	75 000,00 €		75 000,00 €		75 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	15 000,00 €		15 000,00 €		15 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	**5 315,63 €**		**7 593,75 €**		**9 871,88 €**	
	Manutenções	22 500,00 €		22 500,00 €		22 500,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	15 000,00 €		15 000,00 €		15 000,00 €	
	Custos com o trabalhador	1 975 024,04 €		1 975 024,04 €		1 975 024,04 €	
	Custos com atrasos	4 500,00 €		4 500,00 €		4 500,00 €	
	Paragens ilegais	3 000,00 €		3 000,00 €		3 000,00 €	
	Produtividade		3 360 000,00 €		3 360 000,00 €		3 360 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	27 018,75 €		27 018,75 €		27 018,75 €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		- €		- €	
	Ruído	375,00 €		375,00 €		375,00 €	
	Impacto no espaço urbano	3 750,00 €		3 750,00 €		3 750,00 €	
	Congestionamento Social	7 500,00 €		7 500,00 €		7 500,00 €	
	Acessibilidade urbana		120,19 €		120,19 €		120,19 €
	Acidentes	101 250,00 €		101 250,00 €		101 250,00 €	
	Saúde pública	31 153,85 €		31 153,85 €		31 153,85 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	337,50 €		337,50 €		337,50 €	
	Qualidade do ar	843,75 €		843,75 €		843,75 €	
	Fim de vida/reciclagem	300,00 €		300,00 €		300,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	865 384,62 €		865 384,62 €		865 384,62 €	
	Capacidade de veículos	96 153,85 €		96 153,85 €		96 153,85 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		649,04 €		649,04 €		649,04 €
	Estacionamento/paragem	54 086,54 €		54 086,54 €		54 086,54 €	
	Infraestruturas disponíveis		24 038,46 €		24 038,46 €		24 038,46 €
	Limitações p/condições climáticas	346,15 €		346,15 €		346,15 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 615,38 €		9 615,38 €		9 615,38 €	
	Flexibilidade operacional		519,23 €		519,23 €		519,23 €
	Total	**3 313 455,05 €**	**3 385 726,92 €**	**3 315 733,17 €**	**3 385 726,92 €**	**3 318 011,30 €**	**3 385 726,92 €**

Apêndice K – Análise de sensibilidade (±30%) ao consumo do combustível das scooters

		Scooters					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	37 600,00 €		37 600,00 €		37 600,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	23 500,00 €		23 500,00 €		23 500,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	**24 428,25 €**		**34 897,50 €**		**45 366,75 €**	
	Manutenções	28 200,00 €		28 200,00 €		28 200,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	23 500,00 €		23 500,00 €		23 500,00 €	
	Custos com o trabalhador	1 237 681,73 €		1 237 681,73 €		1 237 681,73 €	
	Custos com atrasos	11 280,00 €		11 280,00 €		11 280,00 €	
	Paragens ilegais	5 640,00 €		5 640,00 €		5 640,00 €	
	Produtividade		2 030 400,00 €		2 030 400,00 €		2 030 400,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	14 769,75 €		14769,75		14 769,75 €	
Sociais	Poluição atmosférica	5 287,50 €		5 287,50 €		5 287,50 €	
	Ruído	4 700,00 €		4 700,00 €		4 700,00 €	
	Impacto no espaço urbano	4 700,00 €		4 700,00 €		4 700,00 €	
	Congestionamento Social	9 400,00 €		9 400,00 €		9 400,00 €	
	Acessibilidade urbana		81,13 €		81,13 €		81,13 €
	Acidentes	98 700,00 €		98 700,00 €		98 700,00 €	
	Saúde pública	22 776,92 €		22 776,92 €		22 776,92 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	4 230,00 €		4 230,00 €		4 230,00 €	
	Qualidade do ar	2 115,00 €		2 115,00 €		2 115,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	282,00 €		282,00 €		282,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	973 557,69 €		973 557,69 €		973 557,69 €	
	Capacidade de veículos	81 129,81 €		81 129,81 €		81 129,81 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		584,13 €		584,13 €		584,13 €
	Estacionamento/paragem	108 173,08 €		108 173,08 €		108 173,08 €	
	Infraestruturas disponíveis		10 817,31 €		10 817,31 €		10 817,31 €
	Limitações p/condições climáticas	181,73 €		181,73 €		181,73 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	10 817,31 €		10 817,31 €		10 817,31 €	
	Flexibilidade operacional		324,52 €		324,52 €		324,52 €
	Total	**2 732 650,77 €**	**2 042 607,09 €**	**2 743 120,02 €**	**2 042 607,09 €**	**2 753 589,27 €**	**2 042 607,09 €**

Apêndice L – Análise de sensibilidade (±30%) ao consumo de combustível/eletricidade no cenário híbrido: Vans + E-Cargo Bikes

		Cenário Hibrído - Vans + E-Cargo Bikes					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	84 000,00 €		84 000,00 €		84 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	31 800,00 €		31 800,00 €		31 800,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	**42 217,88 €**		60 311,25 €		**78 404,63 €**	
	Manutenções	32 700,00 €		32 700,00 €		32 700,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	25 800,00 €		25 800,00 €		25 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	763 675,96 €		763 675,96 €		763 675,96 €	
	Custos com atrasos	43 740,00 €		43 740,00 €		43 740,00 €	
	Paragens ilegais	6 760,00 €		6 760,00 €		6 760,00 €	
	Produtividade		1 203 200,00 €	- €	1 203 200,00 €		1 203 200,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	3 242,25 €		3 242,25 €	- €	3 242,25 €	
Sociais	Poluição atmosférica	7 800,00 €		7 800,00 €		7 800,00 €	
	Ruído	3 045,00 €		3 045,00 €		3 045,00 €	
	Impacto no espaço urbano	5 450,00 €		5 450,00 €		5 450,00 €	
	Congestionamento Social	8 900,00 €		8 900,00 €		8 900,00 €	
	Acessibilidade urbana		37,30 €		37,30 €		37,30 €
	Acidentes	76 150,00 €		76 150,00 €		76 150,00 €	
	Saúde pública	17 584,62 €		17 584,62 €		17 584,62 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	5 800,50 €		5 800,50 €		5 800,50 €	
	Qualidade do ar	3 301,25 €		3 301,25 €		3 301,25 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 036,00 €		1 036,00 €		1 036,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		124,14 €	- €	124,14 €		124,14 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 014 588,86 €		1 014 588,86 €		1 014 588,86 €	
	Capacidade de veículos	67 141,91 €		67 141,91 €		67 141,91 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		335,71 €		335,71 €		335,71 €
	Estacionamento/paragem	315 193,97 €		315 193,97 €		315 193,97 €	
	Infraestruturas disponíveis		7 460,21 €		7 460,21 €		7 460,21 €
	Limitações p/condições climáticas	119,36 €		119,36 €		119,36 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 200,93 €		9 200,93 €		9 200,93 €	
	Flexibilidade operacional		161,14 €		161,14 €		161,14 €
	Total	**2 569 248,48 €**	**1 211 318,50 €**	**2 587 341,85 €**	**1 211 318,50 €**	**2 605 435,23 €**	**1 211 318,50 €**

Apêndice M – Análise de sensibilidade (±30%) ao consumo da eletricidade no cenário híbrido: E-Vans + E-Cargo Bikes

		Cenário Hibrído - E-Vans + E-Cargo Bikes					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	99 000,00 €		99 000,00 €		99 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	31 800,00 €		31 800,00 €		31 800,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	**15 757,88 €**		**22 511,25 €**		**29 264,63 €**	
	Manutenções	22 700,00 €		22 700,00 €		22 700,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	21 800,00 €		21 800,00 €		21 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	763 675,96 €		763 675,96 €		763 675,96 €	
	Custos com atrasos	43 740,00 €		43 740,00 €		43 740,00 €	
	Paragens ilegais	6 760,00 €		6 760,00 €		6 760,00 €	
	Produtividade		1 283 200,00 €		1 283 200,00 €		1 283 200,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	3 242,25 €		3 242,25 €		3 242,25 €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		- €		- €	
	Ruído	1 045,00 €		1 045,00 €		1 045,00 €	
	Impacto no espaço urbano	5 450,00 €		5 450,00 €		5 450,00 €	
	Congestionamento Social	8 900,00 €		8 900,00 €		8 900,00 €	
	Acessibilidade urbana		37,30 €		37,30 €		37,30 €
	Acidentes	76 150,00 €		76 150,00 €		76 150,00 €	
	Saúde pública	17 584,62 €		17 584,62 €		17 584,62 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	1 640,50 €		1 640,50 €		1 640,50 €	
	Qualidade do ar	2 101,25 €		2 101,25 €		2 101,25 €	
	Fim de vida/reciclagem	956,00 €		956,00 €		956,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 014 588,86 €		1 014 588,86 €		1 014 588,86 €	
	Capacidade de veículos	67 141,91 €		67 141,91 €		67 141,91 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		559,52 €		559,52 €		559,52 €
	Estacionamento/paragem	315 193,97 €		315 193,97 €		315 193,97 €	
	Infraestruturas disponíveis		7 460,21 €		7 460,21 €		7 460,21 €
	Limitações p/condições climáticas	119,36 €		119,36 €		119,36 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 200,93 €		9 200,93 €		9 200,93 €	
	Flexibilidade operacional		161,14 €		161,14 €		161,14 €
	Total	**2 528 548,48 €**	**1 291 818,17 €**	**2 535 301,85 €**	**1 291 818,17 €**	**2 542 055,23 €**	**1 291 818,17 €**

Apêndice N – Análise de sensibilidade (±30%) aos custos com os trabalhadores no cenário das Vans

		Vans a combustível					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	127 500,00 €		127 500,00 €		127 500,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	51 000,00 €		51 000,00 €		51 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	100 980,00 €		100 980,00 €		100 980,00 €	
	Manutenções	51 000,00 €		51 000,00 €		51 000,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	40 800,00 €		40 800,00 €		40 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	**626 740,96 €**		**895 344,23 €**		**1 163 947,50 €**	
	Custos com atrasos	73 440,00 €		73 440,00 €		73 440,00 €	
	Paragens ilegais	10 880,00 €		10 880,00 €		10 880,00 €	
	Produtividade		1 360 000,00 €		1 360 000,00 €		1 360 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	- €		0		- €	
Sociais	Poluição atmosférica	13 260,00 €		13 260,00 €		13 260,00 €	
	Ruído	5 100,00 €		5 100,00 €		5 100,00 €	
	Impacto no espaço urbano	8 500,00 €		8 500,00 €		8 500,00 €	
	Congestionamento Social	13 600,00 €		13 600,00 €		13 600,00 €	
	Acessibilidade urbana		- €		- €		- €
	Acidentes	108 800,00 €		108 800,00 €		108 800,00 €	
	Saúde pública	23 538,46 €		23 538,46 €		23 538,46 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	9 792,00 €		9 792,00 €		9 792,00 €	
	Qualidade do ar	5 440,00 €		5 440,00 €		5 440,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 700,00 €		1 700,00 €		1 700,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		- €		- €		- €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 081 730,77 €		1 081 730,77 €		1 081 730,77 €	
	Capacidade de veículos	54 086,54 €		54 086,54 €		54 086,54 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		194,71 €		194,71 €		194,71 €
	Estacionamento/paragem	432 692,31 €		432 692,31 €		432 692,31 €	
	Infraestruturas disponíveis		- €		- €		- €
	Limitações p/condições climáticas	17,31 €		17,31 €		17,31 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 014,42 €		9 014,42 €		9 014,42 €	
	Flexibilidade operacional		- €		- €		- €
	Total	**2 849 612,77 €**	**1 360 194,71 €**	**3 118 216,04 €**	**1 360 194,71 €**	**3 386 819,31 €**	**1 360 194,71 €**

Apêndice O – Análise de sensibilidade (±30%) aos custos com os trabalhadores no cenário E-Vans

		Vans Elétricas					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	153 000,00 €		153 000,00 €		153 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	51 000,00 €		51 000,00 €		51 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	36 720,00 €		36 720,00 €		36 720,00 €	
	Manutenções	34 000,00 €		34 000,00 €		34 000,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	34 000,00 €		34 000,00 €		34 000,00 €	
	Custos com o trabalhador	**626 740,96 €**		**895 344,23 €**		**1 163 947,50 €**	
	Custos com atrasos	73 440,00 €		73 440,00 €		73 440,00 €	
	Paragens ilegais	10 880,00 €		10 880,00 €		10 880,00 €	
	Produtividade		1 496 000,00 €		1 496 000,00 €		1 496 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	- €		0		- €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		- €		- €	
	Ruído	1 700,00 €		1 700,00 €		1 700,00 €	
	Impacto no espaço urbano	8 500,00 €		8 500,00 €		8 500,00 €	
	Congestionamento Social	13 600,00 €		13 600,00 €		13 600,00 €	
	Acessibilidade urbana		- €		- €		- €
	Acidentes	108 800,00 €		108 800,00 €		108 800,00 €	
	Saúde pública	23 538,46 €		23 538,46 €		23 538,46 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	2 720,00 €		2 720,00 €		2 720,00 €	
	Qualidade do ar	3 400,00 €		3 400,00 €		3 400,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 564,00 €		1 564,00 €		1 564,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 081 730,77 €		1 081 730,77 €		1 081 730,77 €	
	Capacidade de veículos	54 086,54 €		54 086,54 €		54 086,54 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		519,23 €		519,23 €		519,23 €
	Estacionamento/paragem	432 692,31 €		432 692,31 €		432 692,31 €	
	Infraestruturas disponíveis		- €		- €		- €
	Limitações p/condições climáticas	17,31 €		17,31 €		17,31 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 014,42 €		9 014,42 €		9 014,42 €	
	Flexibilidade operacional		- €		- €		- €
	Total	**2 761 144,77 €**	**1 496 919,23 €**	**3 029 748,04 €**	**1 496 919,23 €**	**3 298 351,31 €**	**1 496 919,23 €**

Apêndice P – Análise de sensibilidade (±30%) aos custos com os trabalhadores no cenário das E-Cargo Bikes

		E-Cargo Bikes					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	75 000,00 €		75 000,00 €		75 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	15 000,00 €		15 000,00 €		15 000,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	7 593,75 €		7 593,75 €		7 593,75 €	
	Manutenções	22 500,00 €		22 500,00 €		22 500,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	15 000,00 €		15 000,00 €		15 000,00 €	
	Custos com o trabalhador	**1 382 516,83 €**		**1 975 024,04 €**		**2 567 531,25 €**	
	Custos com atrasos	4 500,00 €		4 500,00 €		4 500,00 €	
	Paragens ilegais	3 000,00 €		3 000,00 €		3 000,00 €	
	Produtividade		3 360 000,00 €		3 360 000,00 €		3 360 000,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	27 018,75 €		27 018,75 €		27 018,75 €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		- €		- €	
	Ruído	375,00 €		375,00 €		375,00 €	
	Impacto no espaço urbano	3 750,00 €		3 750,00 €		3 750,00 €	
	Congestionamento Social	7 500,00 €		7 500,00 €		7 500,00 €	
	Acessibilidade urbana		120,19 €		120,19 €		120,19 €
	Acidentes	101 250,00 €		101 250,00 €		101 250,00 €	
	Saúde pública	31 153,85 €		31 153,85 €		31 153,85 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	337,50 €		337,50 €		337,50 €	
	Qualidade do ar	843,75 €		843,75 €		843,75 €	
	Fim de vida/reciclagem	300,00 €		300,00 €		300,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	865 384,62 €		865 384,62 €		865 384,62 €	
	Capacidade de veículos	96 153,85 €		96 153,85 €		96 153,85 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		649,04 €		649,04 €		649,04 €
	Estacionamento/paragem	54 086,54 €		54 086,54 €		54 086,54 €	
	Infraestruturas disponíveis		24 038,46 €		24 038,46 €		24 038,46 €
	Limitações p/condições climáticas	346,15 €		346,15 €		346,15 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 615,38 €		9 615,38 €		9 615,38 €	
	Flexibilidade operacional		519,23 €		519,23 €		519,23 €
	Total	**2 723 225,96 €**	**3 385 726,92 €**	**3 315 733,17 €**	**3 385 726,92 €**	**3 908 240,38 €**	**3 385 726,92 €**

Apêndice Q – Análise de sensibilidade (±30%) aos custos com os trabalhadores no cenário das Scooters

		Scooters					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	37 600,00 €		37 600,00 €		37 600,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	23 500,00 €		23 500,00 €		23 500,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	34 897,50 €		34 897,50 €		34 897,50 €	
	Manutenções	28 200,00 €		28 200,00 €		28 200,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	23 500,00 €		23 500,00 €		23 500,00 €	
	Custos com o trabalhador	**866 377,21 €**		**1 237 681,73 €**		**1 608 986,25 €**	
	Custos com atrasos	11 280,00 €		11 280,00 €		11 280,00 €	
	Paragens ilegais	5 640,00 €		5 640,00 €		5 640,00 €	
	Produtividade		2 030 400,00 €		2 030 400,00 €		2 030 400,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	14 769,75 €		14769,75		14 769,75 €	
Sociais	Poluição atmosférica	5 287,50 €		5 287,50 €		5 287,50 €	
	Ruído	4 700,00 €		4 700,00 €		4 700,00 €	
	Impacto no espaço urbano	4 700,00 €		4 700,00 €		4 700,00 €	
	Congestionamento Social	9 400,00 €		9 400,00 €		9 400,00 €	
	Acessibilidade urbana		81,13 €		81,13 €		81,13 €
	Acidentes	98 700,00 €		98 700,00 €		98 700,00 €	
	Saúde pública	22 776,92 €		22 776,92 €		22 776,92 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	4 230,00 €		4 230,00 €		4 230,00 €	
	Qualidade do ar	2 115,00 €		2 115,00 €		2 115,00 €	
	Fim de vida/reciclagem	282,00 €		282,00 €		282,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	973 557,69 €		973 557,69 €		973 557,69 €	
	Capacidade de veículos	81 129,81 €		81 129,81 €		81 129,81 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		584,13 €		584,13 €		584,13 €
	Estacionamento/paragem	108 173,08 €		108 173,08 €		108 173,08 €	
	Infraestruturas disponíveis		10 817,31 €		10 817,31 €		10 817,31 €
	Limitações p/condições climáticas	181,73 €		181,73 €		181,73 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	10 817,31 €		10 817,31 €		10 817,31 €	
	Flexibilidade operacional		324,52 €		324,52 €		324,52 €
	Total	**2 371 815,50 €**	**2 042 607,09 €**	**2 743 120,02 €**	**2 042 607,09 €**	**3 114 424,54 €**	**2 042 607,09 €**

Apêndice R – Análise de sensibilidade (±30%) aos custos com os trabalhadores no cenário híbrido: Vans + E-Cargo Bikes

		Cenário Híbrido - Vans + E-Cargo Bikes					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	84 000,00 €		84 000,00 €		84 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	31 800,00 €		31 800,00 €		31 800,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	60 311,25 €		60 311,25 €		60 311,25 €	
	Manutenções	32 700,00 €		32 700,00 €		32 700,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	25 800,00 €		25 800,00 €		25 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	**534 573,17 €**		**763 675,96 €**		**992 778,75 €**	
	Custos com atrasos	43 740,00 €		43 740,00 €		43 740,00 €	
	Paragens ilegais	6 760,00 €		6 760,00 €		6 760,00 €	
	Produtividade		1 203 200,00 €	- €	1 203 200,00 €		1 203 200,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	3 242,25 €		3 242,25 €	- €	3 242,25 €	
Sociais	Poluição atmosférica	7 800,00 €		7 800,00 €		7 800,00 €	
	Ruído	3 045,00 €		3 045,00 €		3 045,00 €	
	Impacto no espaço urbano	5 450,00 €		5 450,00 €		5 450,00 €	
	Congestionamento Social	8 900,00 €		8 900,00 €		8 900,00 €	
	Acessibilidade urbana		37,30 €		37,30 €		37,30 €
	Acidentes	76 150,00 €		76 150,00 €		76 150,00 €	
	Saúde pública	17 584,62 €		17 584,62 €		17 584,62 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	5 800,50 €		5 800,50 €		5 800,50 €	
	Qualidade do ar	3 301,25 €		3 301,25 €		3 301,25 €	
	Fim de vida/reciclagem	1 036,00 €		1 036,00 €		1 036,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		124,14 €	- €	124,14 €		124,14 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 014 588,86 €		1 014 588,86 €		1 014 588,86 €	
	Capacidade de veículos	67 141,91 €		67 141,91 €		67 141,91 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		335,71 €		335,71 €		335,71 €
	Estacionamento/paragem	315 193,97 €		315 193,97 €		315 193,97 €	
	Infraestruturas disponíveis		7 460,21 €		7 460,21 €		7 460,21 €
	Limitações p/condições climáticas	119,36 €		119,36 €		119,36 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 200,93 €		9 200,93 €		9 200,93 €	
	Flexibilidade operacional		161,14 €		**161,14 €**		161,14 €
	Total	**2 358 239,06 €**	**1 211 318,50 €**	**2 587 341,85 €**	**1 211 318,50 €**	**2 816 444,64 €**	**1 211 318,50 €**

Apêndice S – Análise de sensibilidade (±30%) aos custos com os trabalhadores no cenário híbrido: E-Vans + E-Cargo Bikes

		Cenário Híbrido - E-Vans + E-Cargo Bikes					
		- 30%		Base		+ 30%	
Categoria	Indicador	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual	Custo anual	Benefício anual
Económicos	Depreciações	99 000,00 €		99 000,00 €		99 000,00 €	
	Espaço para armazenamento da frota	31 800,00 €		31 800,00 €		31 800,00 €	
	Consumo de combustível/eletricidade	22 511,25 €		22 511,25 €		22 511,25 €	
	Manutenções	22 700,00 €		22 700,00 €		22 700,00 €	
	Seguros/certificações c/veículos	21 800,00 €		21 800,00 €		21 800,00 €	
	Custos com o trabalhador	**534 573,17 €**		**763 675,96 €**		**992 778,75 €**	
	Custos com atrasos	43 740,00 €		43 740,00 €		43 740,00 €	
	Paragens ilegais	6 760,00 €		6 760,00 €		6 760,00 €	
	Produtividade		1 283 200,00 €		1 283 200,00 €		1 283 200,00 €
	Adequação ao tipo/volume de carga	3 242,25 €		3 242,25 €		3 242,25 €	
Sociais	Poluição atmosférica	- €		- €		- €	
	Ruído	1 045,00 €		1 045,00 €		1 045,00 €	
	Impacto no espaço urbano	5 450,00 €		5 450,00 €		5 450,00 €	
	Congestionamento Social	8 900,00 €		8 900,00 €		8 900,00 €	
	Acessibilidade urbana		37,30 €		37,30 €		37,30 €
	Acidentes	76 150,00 €		76 150,00 €		76 150,00 €	
	Saúde pública	17 584,62 €		17 584,62 €		17 584,62 €	
Ambientais	Emissões de gases c/efeitos de estufa	1 640,50 €		1 640,50 €		1 640,50 €	
	Qualidade do ar	2 101,25 €		2 101,25 €		2 101,25 €	
	Fim de vida/reciclagem	956,00 €		956,00 €		956,00 €	
	Compatibilidade c/políticas ambientais		400,00 €		400,00 €		400,00 €
Operacionais	Tempo médio de entrega	1 014 588,86 €		1 014 588,86 €		1 014 588,86 €	
	Capacidade de veículos	67 141,91 €		67 141,91 €		67 141,91 €	
	Acesso a zonas urbanas restritas		559,52 €		559,52 €		559,52 €
	Estacionamento/paragem	315 193,97 €		315 193,97 €		315 193,97 €	
	Infraestruturas disponíveis		7 460,21 €		7 460,21 €		7 460,21 €
	Limitações p/condições climáticas	119,36 €		119,36 €		119,36 €	
	Fiabilidade/previsibilidade da rota	9 200,93 €		9 200,93 €		9 200,93 €	
	Flexibilidade operacional		161,14 €		161,14 €		161,14 €
	Total	**2 306 199,06 €**	**1 291 818,17 €**	**2 535 301,85 €**	**1 291 818,17 €**	**2 764 404,64 €**	**1 291 818,17 €**