

OTIMIZAÇÃO BASEADA EM SIMULAÇÃO PARA A EQUIDADE DAS ENTREGAS DE ÚLTIMA MILHA DO E-COMMERCE EM ASSENTAMENTOS URBANOS INFORMAIS

Cecília Aparecida Pereira – d2020100357@unifei.edu.br
Ana Flávia de Oliveira Carvalho – d2022005885@unifei.edu.br
Renato da Silva Lima – rslima@unifei.edu.br

Palavras-chave: transporte urbano de cargas, logística urbana, exclusão social relacionada a transportes, justiça social, favela.

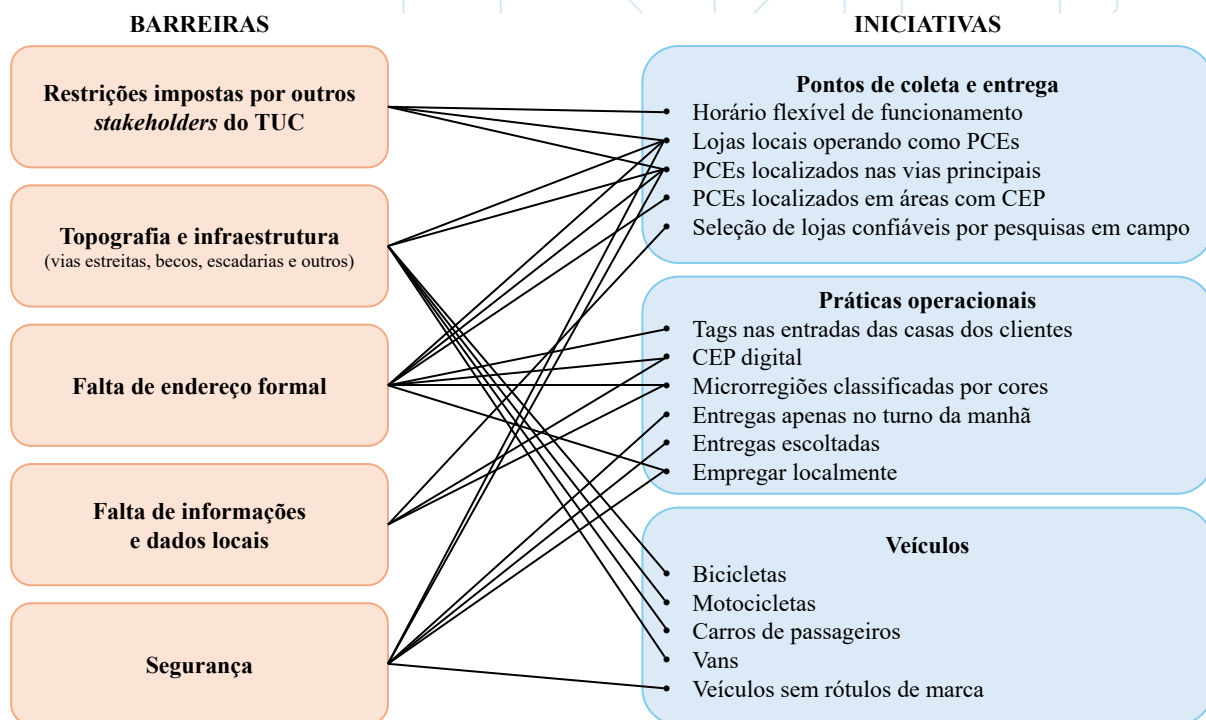
1. INTRODUÇÃO

O transporte urbano de cargas (TUC) desempenha papel essencial ao garantir o acesso da população a bens essenciais, conectando áreas produtoras e consumidoras. Porém, na prática, diversos grupos e territórios desfavorecidos permanecem negligenciados pelo planejamento logístico, acentuando a exclusão social relacionada a transportes (Pereira *et al.*, 2025). Dentre esses territórios, citam-se os assentamentos urbanos informais (AUI), onde vivem mais de um bilhão de pessoas no mundo (ONU, 2022).

No Brasil, cerca de 16,4 milhões de pessoas residem em favelas e movimentam aproximadamente R\$120 bilhões anuais (Data Favela e Locomotiva, 2020; IBGE, 2024). Apesar dessa relevância econômica, essa população enfrenta obstáculos logísticos que limitam o acesso ao *e-commerce*, como infraestrutura precária, endereços informais, escassez de dados locais, restrições de *stakeholders* e questões de segurança (Duarte *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2025).

Essas barreiras comprometem as entregas em domicílio de AUIs, elevando custos de frete e tempos de espera, enquanto parte dos consumidores segue sem acesso a esse serviço e seus benefícios (Navarro *et al.*, 2021; Pongeluppe, 2022). Nesse cenário, conforme ilustrado na Figura 1, os pontos de coleta e entrega (PCE) representam alternativa promissora para viabilizar e simplificar a logística em AUIs (Pereira *et al.*, 2025).

Figura 1 - Barreiras e iniciativas para entregas do e-commerce em AUIs



Diante desse contexto, esta pesquisa tem como objetivo investigar os PCEs como uma solução eficiente e equitativa para as entregas de última milha do e-commerce em AUIs. Para tanto, um modelo de otimização baseado em simulação multiagente será desenvolvido para definir a quantidade e distribuição espacial de PCEs em um AUI, minimizando, simultaneamente, os custos operacionais das transportadoras e os esforços dos consumidores para acessar os PCEs.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

Uma revisão sistemática de literatura foi realizada nas bases Scopus e Web of Science, a qual revelou escassez de estudos sobre equidade do TUC em AUIs. No Senegal, Green *et al.* (2013) mostraram que a viabilidade econômica do transporte de resíduos em AUIs depende de modificações na rede viária local. No Brasil, Duarte *et al.* (2019) destacaram cinco princípios para entregas em favelas: gerar emprego local, retribuir à comunidade, flexibilizar pontos de entrega, reconhecer a criminalidade e transportar discretamente. Navarro *et al.* (2021) identificaram

diferentes desafios logísticos entre regiões com e sem AUIs em São Paulo. Pongeluppe (2022) demonstrou que as entregas do *e-commerce* podem ser 90% mais caras em favelas. Tuomala e Grant (2022) analisaram como a gestão da cadeia de suprimentos impacta a segurança alimentar em uma *township* sul-africana. Recentemente, Pereira *et al.* (2025) identificaram barreiras logísticas comuns a favelas brasileiras e *townships* sul-africanas, destacando os PCEs como solução promissora. Conclui-se que, até o momento, não há estudos que utilizam modelagem matemática para definir redes ótimas de PCEs considerando as especificidades logísticas dos AUIs. Além disso, com exceção de Pereira *et al.* (2025), a literatura carece de abordagens que integrem o TUC às teorias de justiça social. Esta pesquisa busca preencher essas lacunas ao adotar o Igualitarismo de Rawls e a Abordagem das Capacidades como fundamentos teóricos centrais, articulados a uma metodologia quantitativa.

2.2 Metodologia

A metodologia adota uma abordagem de otimização baseada em simulação estruturada em cinco etapas, conforme Bertrand e Fransoo (2002). A primeira etapa consiste na contextualização da pesquisa, conforme introduzida na Seção 1. O estudo é aplicado na Rocinha, Rio de Janeiro, Brasil. Segundo o IBGE (2024), trata-se da favela mais populosa do país com 72.021 habitantes. Seu relevo acentuado, aliado à presença de vias de difícil acesso e endereços informais, impõe restrições à logística local e, conseqüentemente, ao acesso ao *e-commerce*. Assim, estabelecimentos comerciais situados em vias locais acessíveis foram selecionados como possíveis PCEs, alinhando-se às recomendações de Duarte *et al.* (2019) e Pereira *et al.* (2025).

Na segunda etapa, desenvolve-se o modelo conceitual conforme modelagem e simulação baseada em agentes (MBSA). Embora amplamente utilizada em pesquisas sobre TUC, essa abordagem demanda elevado nível de detalhamento estrutural. Com isso, o modelo segue o Protocolo *Overview, Design, Details* de Grimm *et al.* (2020). A coleta de dados envolveu fontes primárias, a partir de visitas em empresas de logística em AUIs, e fontes secundárias complementares.

A terceira etapa consiste na implementação do modelo computacional no *software* AnyLogic®, que integra MSBA e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esse modelo apresenta a base da etapa seguinte, voltada à otimização baseada em simulação. Essa técnica envolve um *loop* iterativo que combina algoritmos de otimização com elementos estocásticos da simulação (Juan *et al.*, 2019).

Dessa forma, a otimização é desenvolvida de forma multiobjetivo, cujo propósito é determinar redes ótimas de PCEs a partir de duas funções objetivo (FO): (Z1) minimizar os custos operacionais das transportadoras e (Z2) minimizar o tempo de deslocamento dos consumidores para acessar os PCEs. O equilíbrio entre essas funções gera um *trade-off*, resultando em soluções representadas por uma Fronteira de Pareto. Por fim, a quinta etapa consiste na validação e verificação contínuas do modelo até que os resultados atendam aos objetivos propostos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o momento, resultados preliminares foram obtidos a partir de uma replicação de dois cenários-piloto. O Cenário S1 corresponde à minimização da FO Z1, em que todos os consumidores retiram seus pedidos exclusivamente no distribuidor local. Nesse cenário, a distância média percorrida pelos consumidores foi de 1.054,69 metros, enquanto o tempo médio de deslocamento foi de 21,44 minutos, conforme ilustrado na Figura 2a. Estudos anteriores apontam que esses valores ultrapassam o limite de aceitabilidade do consumidor, além de que os valores máximos registrados (5.520,97 metros e 112,21 minutos) evidenciam desigualdades de acesso.

O Cenário S2 baseia-se na FO Z2, permitindo que os consumidores escolham o PCE potencial mais próximo para retirar suas mercadorias. Dentre os 287 PCEs candidatos, 179 foram selecionados, conforme a Figura 3. Apenas 18,5% desses pontos receberam mais de 50 pedidos ao longo do período simulado de 30 dias, o que corresponde aos PCEs mais isolados e, portanto, com maior demanda concentrada.

Figura 2 - Tempo de viagem do consumidor por pedido coletado

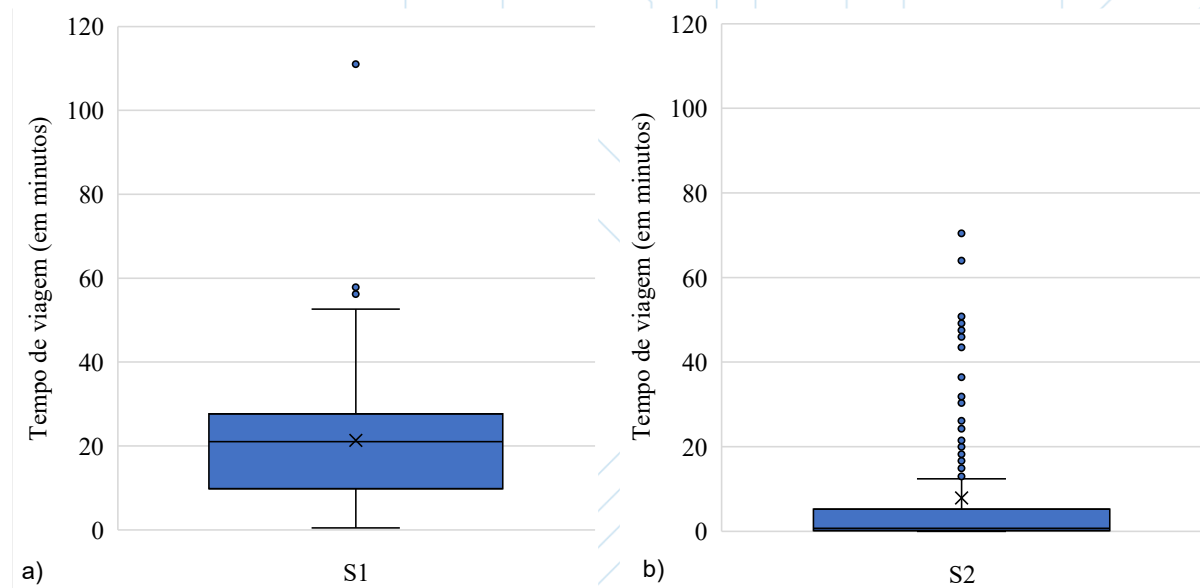
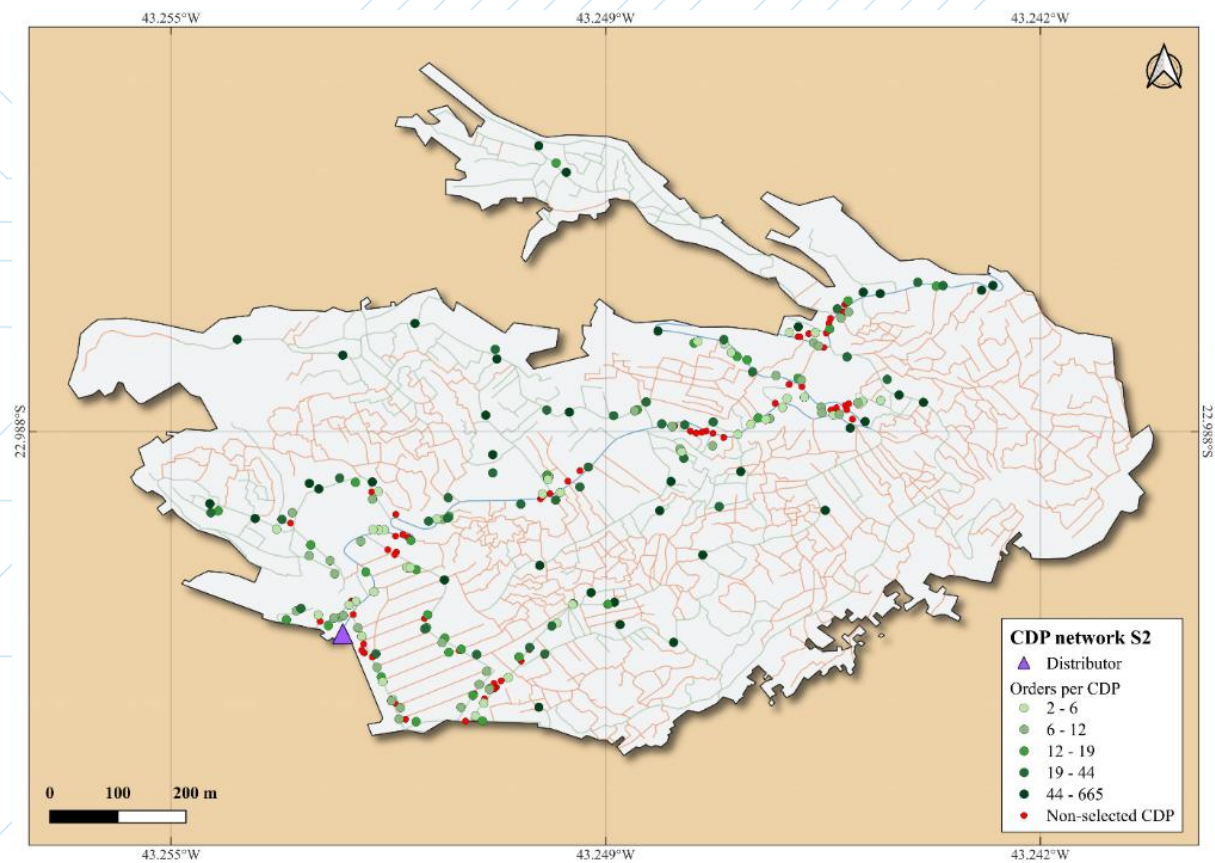


Figura 3 - Rede de PCE em S2



Conforme a Figura 2b, o Cenário S2 reduz significativamente a distância média percorrida e tempo médio de deslocamento, apresentando valores de 387,73 metros e 7,88 minutos, respectivamente. Esses números são coerentes com as preferências dos consumidores, já que a maioria se dispõe a caminhar até 15 minutos para acessar um PCE. Os resultados do terceiro quartil reforçam esse alinhamento, indicando que aproximadamente 75% dos consumidores acessam um PCE em até 15 minutos. Contudo, parte da população ainda enfrenta deslocamentos excessivos, chegando a 71,51 minutos de caminhada, o que revela necessidades de ações de melhoria sob a perspectiva da equidade horizontal.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa busca investigar PCEs como solução eficiente e equitativa para as entregas do *e-commerce* em AULs. Baseando-se em resultados preliminares, os PCEs trazem avanços substanciais na acessibilidade e na equidade para a população de AULs. Para a versão final desta pesquisa, o Cenário S2 será ampliado à solução descrita na Seção 3. Espera-se que a Fronteira de Pareto permita identificar soluções simultaneamente equitativas, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, contribuindo para o debate teórico e prático sobre a equidade no TUC em AULs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES pelo apoio concedido aos projetos que subsidiaram este trabalho.

REFERÊNCIAS

BERTRAND, J.; FRANSOO, J. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v.22, n.2, p.241–264, 2002.

DATA FAVELA; LOCOMOTIVA. **Economia das Favelas - Renda e Consumo nas Favelas Brasileiras**. 2020.

DUARTE, A.; MACAU, F.; SILVA, C.; SANCHES, L. Last mile delivery to the bottom of the pyramid in Brazilian slums. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v.49, n.5, p.473–491, 2019.

GREEN, J.; WECK, O.; SUAREZ, P. Evaluating the economic sustainability of sanitation logistics in Senegal. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, v.3, n.1, p.7–21, 2013.

GRIMM, V.; *et al.* The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: A second Update to improve clarity, replication, and structural realism. **The Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v.23, n.2, 2020.

IBGE. **Censo Demográfico 2022: Favelas e Comunidades Urbanas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024

JUAN, A.; PANADERO, J.; REYES-RUBIANO, L.; FAULIN, J.; TORRE, R.; LATORRE, I. **Simulation-Based Optimization in Transportation and Logistics: Comparing Sample Average Approximation with Simheuristics**. In: Winter Simulation Conference, 2019.

NAVARRO, H.; VIEIRA, J.; FRANSOO, J. Understanding urban logistics and consumer behavior in São Paulo city. **Case Studies on Transport Policy**, v.9, n.4, p.1630–1640, 2021.

ONU. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**, 2022.

PEREIRA, C.; ZUIDGEEST, M.; LIMA, R. How about including urban informal settlements in city logistics? An equity comparative analysis of e-commerce last mile deliveries. **International Journal of Logistics Management**, v.36, n.4, p.1326–1345, 2025.

PONGELUPPE, L. The favela effect: Spatial inequalities and firm strategies in disadvantaged urban communities. **Strategic Management Journal**, v.43, n.13, p.2777–2808, 2022.

TUOMALA, V., GRANT, D. Exploring supply chain issues affecting food access and security among urban poor in South Africa, **International Journal of Logistics Management**, v.33, n.5, 2022.