

Estudos em Ciências Exatas e da Terra

Desafios, Avanços e Possibilidades

Alireza Mohebi Ashtiani
(organizador)

VOL III



EDITORA
ARTEMIS
2025

Estudos em Ciências Exatas e da Terra

Desafios, Avanços e Possibilidades

Alireza Mohebi Ashtiani
(organizador)

VOL III

 EDITORA
ARTEMIS
2025



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Alireza Mohebi Ashtiani
Imagem da Capa	Abstract Style Landscapes /123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
 Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
 Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
 Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*
 Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
 Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
 Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
 Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
 Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
 Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
 Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
 Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*
 Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
 Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
 Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
 Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*
 Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
 Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
 Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*
 Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*
 Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
 Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
 Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
 Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*
 Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
 Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*
 Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
 Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
 Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
 Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*
 Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal

Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
 Prof.ª Dr.ª MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
 Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País Vasco, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
 Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
 Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
 Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
 Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
 Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
 Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) **(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E82 Estudos em Ciências Exatas e da Terra: Desafios, Avanços e Possibilidades III / Organizador Alireza Mohebi Ashtiani. – Curitiba, PR: Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-75-8

DOI 10.37572/EdArt_101225758

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Ashtiani, Alireza Mohebi.

CDD 509

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

O volume III de **Estudos em Ciências Exatas e da Terra: Desafios, Avanços e Possibilidades** reúne um conjunto plural de pesquisas que refletem a vitalidade, a complexidade e o caráter interdisciplinar das ciências contemporâneas. Os dez capítulos aqui apresentados, provenientes de diversos países e contextos institucionais, oferecem um panorama abrangente dos desafios científicos atuais e das soluções inovadoras que emergem do diálogo entre matemática, física, química, engenharia, geociências, sustentabilidade ambiental e desenvolvimento territorial, reafirmando a amplitude teórica e aplicada dessas áreas.

Para favorecer a leitura e destacar as afinidades conceituais entre os temas, a obra foi organizada em três eixos temáticos que evidenciam os diferentes modos pelos quais o conhecimento científico se articula com problemas reais e necessidades sociais urgentes, propondo uma aproximação integradora e contemporânea das Ciências Exatas e da Terra.

1. Modelagem Matemática, Simulação, Processos Físicos e Engenharia Aplicada

O primeiro eixo reúne estudos orientados pela lógica da modelagem, da caracterização de materiais e da investigação de sistemas físico-químicos complexos. Aqui, a matemática desempenha um papel central, seja na descrição do crescimento populacional, na interpretação de curvas de relações molares ou na análise termoestrutural de concretos refratários usados na indústria siderúrgica. A ênfase comum está na busca por métodos rigorosos de análise, na construção de modelos interpretativos e na compreensão dos comportamentos materiais sob diferentes condições. Esses capítulos mostram como a formulação matemática e a experimentação se complementam, de forma decisiva, na explicação de fenômenos fundamentais para a ciência e a engenharia, evidenciando a potência dos métodos quantitativos na resolução de problemas complexos.

2. Sustentabilidade, Meio Ambiente, Tecnologias de Remediação e Ecodesign

O segundo eixo destaca pesquisas alinhadas aos desafios ambientais contemporâneos, trazendo propostas inovadoras para o desenvolvimento de tecnologias limpas, novos materiais sustentáveis e soluções de remediação ecológica. Os capítulos abordam desde práticas de ecodesign em produtos plásticos, passando pela criação de adsorventes de origem agroindustrial, até aplicações de biomassa vegetal para remoção de contaminantes e estratégias que ampliam o desempenho energético de sistemas fotovoltaicos, articulando ciência de materiais e preocupações ambientais. O núcleo

unificador deste eixo é o compromisso com a sustentabilidade, com a valorização de resíduos, com a mitigação de impactos ambientais e com a promoção de alternativas tecnológicas responsáveis e acessíveis que dialogam diretamente com demandas sociais emergentes.

3. Território, Geociências e Desenvolvimento Agrário-Industrial

O terceiro eixo aborda temas relacionados à organização do espaço, à história das indústrias de base e às dinâmicas socioeconômicas ligadas ao uso da terra. Os capítulos discutem a trajetória de figuras marcantes das geociências, analisam políticas e práticas de consolidação fundiária em escala nacional e refletem sobre as transformações industriais que moldam setores-chave como o agrícola e o petrolífero. Ao articular perspectivas históricas, econômicas e territoriais, este eixo evidencia como as ciências exatas e da terra também se expressam na compreensão dos processos sociais e produtivos que estruturam países e regiões, demonstrando que a pesquisa científica contribui igualmente para interpretações críticas sobre o desenvolvimento nacional.

A estrutura temática proposta pretende, portanto, facilitar a leitura e realçar o alcance multidisciplinar das pesquisas reunidas. Cada eixo demonstra, a seu modo, como o rigor científico pode contribuir para o entendimento de problemas concretos e para o desenvolvimento de soluções inovadoras, sejam elas de caráter teórico, tecnológico ou socioambiental, reforçando o papel estratégico da ciência na construção de futuros possíveis.

Esperamos que esta obra inspire pesquisadores, estudantes e profissionais a aprofundar o diálogo entre diferentes áreas do conhecimento e a reconhecer, na diversidade temática aqui apresentada, novas possibilidades de investigação e ação.

Desejo a todos uma excelente leitura!

Alireza Mohebi Ashtiani

SUMÁRIO

MODELAGEM MATEMÁTICA, SIMULAÇÃO, PROCESSOS FÍSICOS E ENGENHARIA APLICADA

CAPÍTULO 1.....1

THERMOSTRUCTURAL BEHAVIOR OF A REFRACTORY CONCRETE FOR LADLE FURNACE

Edgardo Benavidez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257581

CAPÍTULO 2.....17

HOJAS DE CÁLCULO PARA PREDECIR CURVAS DE RELACIONES MOLARES EN SISTEMAS DONDE SE FORMAN COMPLEJOS DE INCLUSIÓN ENTRE FÁRMACOS (FAR) Y CICLODEXTRINAS (CD)

Alberto Rojas-Hernández

Daniel Alejandro Ramos-Hernández

Linda Alzucena Luna-Ortega

Lucero Hernández-García

María Teresa Ramírez-Silva

Jorge Martínez-Guerra

Manuel Eduardo Palomar-Pardavé

Giaan Arturo Álvarez-Romero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257582

CAPÍTULO 3..... 33

MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO APLICADAS À DINÂMICA DE FILAS EM SERVIÇOS

Alireza Mohebi Ashtiani

Tatielen Demarchi

Pedro Henrique Rodrigues Petrelli

Rebeca Mitiko Ito Faria

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257583

CAPÍTULO 4.....47

MATHEMATICAL METHODS IN POPULATION DYNAMICS

Alberto Gutiérrez Borda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257584

SUSTENTABILIDADE, MEIO AMBIENTE, TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO E
ECODESIGN

CAPÍTULO 5..... 56

REMOCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA POR LA BIOMASA DE LA
CASCARA DE SEMILLA DE GIRASOL (*Helianthus annuus*)

Pedro Pablo Zapata Hernández

Claudia M. Martínez Rodríguez

Adriana Rodríguez Pérez

Juan Fernando Cárdenas González

Víctor Manuel Martínez Juárez

Ismael Acosta Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257585

CAPÍTULO 6.....67

DE RESIDUO AGROINDUSTRIAL A SOLUCIÓN AMBIENTAL: DISEÑO DE
ADSORBENTES CATIÓNICOS SUSTENTABLES A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE
LA SOJA

Malena Castagnino Schirmer

Nerina Meglio

Gonzalo Benedetti

Fernando Ariel Bertoni

Enrique David Victor Giordano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257586

CAPÍTULO 7.....72

ENFRIAMIENTO DE PANEL FOTOVOLTAICO PARA AUMENTAR SU DESEMPEÑO
ELÉCTRICO

Vicente Flores Lara

Jorge Bedolla Hernández

Carlos Alberto Mora Santos

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257587

CAPÍTULO 8..... 81

ECODESIGN: SHAPING A SUSTAINABLE FUTURE WITH PLASTIC PRODUCTS

Ana Barroso

André Gomes

Bruno Sousa

Ângelo Marques

Rui Oliveira

Filipa Carneiro

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257588

TERRITÓRIO, GEOCIÊNCIAS E DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO-INDUSTRIAL

CAPÍTULO 9..... 98

EL DR. BRACACCINI, SU PASO POR YPF (1932-1955)

Ricardo Juan Calegari

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1012257589

CAPÍTULO 10..... 109

DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL LAND CONSOLIDATION IN RUSSIA ON THE
PLATFORM OF LAND MARKET

Alexander Sagaydak

Anna Sagaydak

 https://doi.org/10.37572/EdArt_10122575810

SOBRE O ORGANIZADOR..... 120

ÍNDICE REMISSIVO 121

CAPÍTULO 3

MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO APLICADAS À DINÂMICA DE FILAS EM SERVIÇOS

Data de submissão: 24/11/2025

Data de aceite: 06/12/2025

Alireza Mohebi Ashtiani

Universidade Tecnológica
Federal do Paraná - UTFPR
Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/5025709771742662>

Tatielen Demarchi

Universidade Tecnológica
Federal do Paraná - UTFPR
Cornélio Procópio - PR

<http://lattes.cnpq.br/6161889316551237>

Pedro Henrique Rodrigues Petrelli

Universidade Tecnológica
Federal do Paraná - UTFPR
Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/7015038369020637>

Rebeca Mitiko Ito Faria

Universidade Tecnológica
Federal do Paraná - UTFPR
Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/4389932788998212>

RESUMO: Atualmente, em diferentes setores e sistemas contemporâneos, a busca por maior eficiência e produtividade tornou-se não apenas relevante, mas indispensável.

Entre as diversas metodologias disponíveis, a modelagem e a simulação surgem como ferramentas fundamentais, capazes de oferecer uma análise mais profunda e precisa desses sistemas. Nos setores de serviço, a formação de filas é muitas vezes inevitável, e a busca por qualidade e eficiência pode envolver desde o treinamento adequado das equipes até a adoção de práticas de manutenção preventiva e a reorganização de processos internos. Nesse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar com maior clareza sistemas que envolvem filas, de modo a ampliar a compreensão e a gestão desse tipo de dinâmica operacional.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas; modelagem; simulação; filas.

**MATHEMATICAL MODELING AND
SIMULATION APPLIED TO THE DYNAMICS
OF QUEUES IN SERVICE SYSTEMS**

ABSTRACT: Currently, across a wide range of contemporary sectors and systems, the pursuit of greater efficiency and productivity has become not only relevant but essential. Among the various methodologies available, modeling and simulation emerge as fundamental tools that provide deeper and more accurate analyses of such systems. In service-oriented environments, the formation of queues is often unavoidable, and efforts to enhance quality and efficiency may involve actions ranging from proper staff training to the adoption of

preventive maintenance practices and the reorganization of internal processes. In this context, the present study aims to provide a more detailed analysis of systems involving queues, thereby contributing to a broader understanding and more effective management of this type of operational dynamic.

KEYWORDS: systems; modeling; simulation; queues.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, em diferentes setores econômicos, como o industrial, o de serviços, o financeiro, o logístico e o portuário, a busca por eficiência e produtividade tornou-se ainda mais urgente. Esse crescimento depende de fatores internos e externos específicos de cada setor, sendo que alguns processos são naturalmente mais complexos que outros. Um exemplo é o setor logístico, frequentemente visto como mais desafiador do que o de serviços ou o financeiro.

No setor de serviços, muitas vezes, ações simples, como o treinamento adequado dos funcionários ou uma reorganização interna dos fluxos de trabalho, já são capazes de elevar a qualidade do atendimento. Ainda assim, em praticamente todos os setores, a permanência em filas é quase inevitável, podendo gerar insatisfação, desgastes e impactos diretos na produtividade.

Pesquisas como as da Mintel (2015) ajudam a ilustrar esse cenário. Segundo os dados apresentados, 33% dos brasileiros evitam locais onde geralmente há filas, 22% procuram serviços que economizem tempo e cerca de 31% afirmam desejar mais tempo com a família, percentual que sobe para 47% entre jovens de 25 a 34 anos. Além disso, 17% utilizam aplicativos para acompanhar tempos de espera e outros 35% demonstram interesse em fazê-lo. Esses números deixam claro que o problema vai muito além da conveniência: o tempo de espera tem uma relação direta com a qualidade de vida, bem-estar e organização da rotina.

Diante desse contexto, empresas de diversos segmentos têm buscado soluções para reduzir a insatisfação causada por longos tempos de espera. Filas excessivas podem fazer clientes desistirem do atendimento, o que significa perda de receita e, muitas vezes, desgaste da imagem da empresa. No setor industrial, atrasos na produção não apenas prejudicam o desempenho, mas podem ocasionar custos elevados e comprometer prazos. Por outro lado, sistemas com ociosidade constante também representam desperdício de recursos. Assim, entender o funcionamento das filas e suas causas é fundamental para encontrar o equilíbrio entre demanda e capacidade de atendimento.

A Teoria das Filas, baseada em conceitos de matemática e estatística, surge justamente para apoiar esse tipo de análise (GROSS & HARRIS, 1985). Em grande parte

dos sistemas, o processo de chegada costuma seguir uma distribuição de Poisson, enquanto o tempo de atendimento tende a se ajustar à distribuição exponencial. Esses modelos permitem prever o comportamento das filas, estimar tempos médios de espera e identificar pontos de melhoria, como ajustes na velocidade de atendimento, reorganização de processos e até melhorias nas condições de trabalho das equipes.

A simulação, quando integrada à Teoria das Filas, amplia ainda mais as possibilidades de análise. Em Ribeiro et al. (2017), por exemplo, os autores demonstram como o uso dessa abordagem contribuiu para reduzir o tempo de espera no setor de embalagem de uma fábrica de móveis em Passos/MG. Já Faria et al. (2024) mostram que combinar simulação com Teoria das Filas pode ser muito eficaz para compreender o comportamento das filas em um restaurante universitário, permitindo propor soluções alinhadas com os dados reais.

Neste trabalho, examinamos dois cenários distintos: (i) o comportamento das filas nos caixas rápidos de um hipermercado, utilizando o modelo M/M/c para investigar a distribuição do atendimento entre quatro servidores; e (ii) os impactos do crescimento da frota de veículos na mobilidade urbana de Londrina, com foco especial em um cruzamento semaforizado de alto fluxo. Em ambos os casos, aplicamos a Teoria das Filas e ferramentas de simulação para entender melhor como os sistemas se comportam, identificar gargalos e refletir sobre ajustes possíveis, seja no ambiente de atendimento ao consumidor, seja na dinâmica do trânsito urbano.

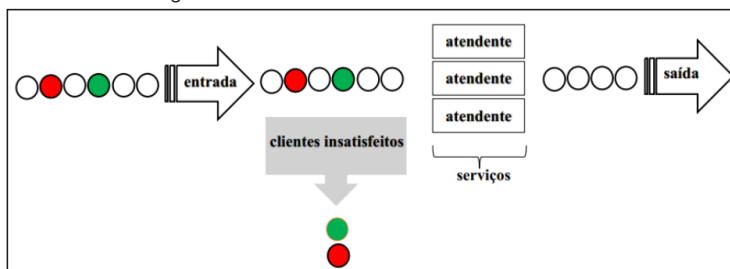
2. TEORIA DAS FILAS: DEFINIÇÕES E ELEMENTOS BÁSICOS

Segundo PRADO (2004), a Teoria das Filas é utilizada para a modelagem de sistemas e constitui um método analítico que aborda o problema por meio de fórmulas matemáticas. Na prática, a Teoria das Filas, quando combinada à Teoria da Simulação, transforma-se em uma ferramenta poderosa, capaz de representar, com fidelidade, um sistema real caracterizado pela presença de filas. Essa abordagem torna possível simular o funcionamento do sistema e, a partir disso, determinar a quantidade ideal de atendentes ou operários em cada setor.

Em muitas situações reais, parte da população solicita determinados serviços, formando filas compostas por aqueles que aguardam atendimento até que este seja realizado. Em essência, filas surgem sempre que a demanda supera a capacidade de atendimento do sistema, ou seja, quando a taxa de chegada é maior que a taxa de atendimento disponível. O termo *cliente* não se restringe a pessoas: pode se referir também a peças em linhas de produção, navios aguardando atracação em portos ou até documentos que circulam em setores administrativos.

O atendimento em sistemas que envolvem filas pode ocorrer por meio de um ou mais canais. As filas mais simples apresentam uma única fila atendida por um único canal; já as mais complexas podem envolver várias filas distribuídas entre múltiplos atendentes. A maioria dos sistemas do cotidiano, incluindo o analisado neste estudo, opera com uma única fila que alimenta diferentes canais de atendimento. Na Figura 1, observamos os elementos básicos de um sistema desse tipo. Nota-se também que parte dos clientes pode abandonar a fila devido à lentidão do atendimento ou à ocorrência de gargalos no sistema.

Figura 1: Elementos básicos de um sistema de fila.



Fonte: Autoria própria.

Com clientes cada vez mais exigentes e com menos tempo disponível, filas longas e demoradas podem levar à desistência e à busca por outros estabelecimentos. No setor industrial, o congestionamento em etapas da produção pode atrasar a entrega do produto final, gerar prejuízos e comprometer a satisfação dos clientes.

As filas apresentam características específicas que permitem sua análise sistemática, conforme descrito por PRADO (2004) e ANDRADE (2009). Entre essas características, destacam-se:

- **Processo de chegada:** definido pela taxa média de chegada, que corresponde à razão entre a quantidade de clientes que chegam em determinado período e o intervalo médio entre chegadas;
- **Processo de atendimento:** relacionado ao ritmo médio e à duração média do serviço;
- **Número de servidores:** sistemas simples possuem um único servidor, mas, à medida que a taxa de chegada aumenta, o número de atendentes pode ser ampliado;
- **Disciplina da fila:** refere-se à ordem de atendimento, podendo ser FIFO (first in, first out – o primeiro que chega é o primeiro a ser atendido) ou LIFO (last in, first out – o último a chegar é o primeiro a ser atendido);

- **Tamanho da fila:** o número de clientes é considerado suficientemente grande para que a população seja tratada como infinita.
- **Tempo médio de espera na fila:** o tempo médio que um cliente permanece no sistema até ser atendido.

De acordo com PRADO (2004), algumas variáveis-chave permitem caracterizar e analisar uma fila. Entre elas, destacam-se: o ritmo médio de chegada (λ) e o ritmo médio de atendimento (μ); a capacidade de atendimento, representada pelo número de atendentes (C); o intervalo entre chegadas, calculado como $IC = 1/\lambda$; e o tempo de atendimento ou serviço, definido como $TA = 1/\mu$. A intensidade de tráfego do sistema é dada por $I = |\lambda/\mu| = |TA/IC|$. Além disso, é possível determinar o número médio de clientes na fila ($NF = \lambda^2/[\mu^*(\lambda - \mu)]$), o tempo médio de espera na fila ($TF = \lambda/[\mu^*(\lambda - \mu)]$), o número médio de clientes sendo atendidos ($NA = \lambda/\mu$), o tempo médio de atendimento ($TA = 1/\mu$), o tempo médio de permanência na fila ($TF = NF/\lambda$) e o número médio de clientes no sistema ($NS = NF + NA$). Estas variáveis permitem uma análise detalhada do desempenho das filas e auxiliam na tomada de decisões sobre dimensionamento de atendimento e melhoria do serviço.

Estas variáveis referem-se ao sistema como um todo, ao processo de chegada, à fila e ao processo de atendimento. Por exemplo, as variáveis TF e NS estão relacionadas ao sistema, enquanto TA , C e μ correspondem ao processo de atendimento de um determinado sistema.

Quando o sistema possui apenas uma única fila e um único atendente, a taxa de utilização do atendente (número médio de clientes sendo atendidos) é dada por $\rho = \lambda/\mu$. Para um sistema com uma única fila, mas vários canais de atendimento, a taxa de utilização dos atendentes é calculada como $\rho = \lambda / (c\mu)$, onde C representa o número de atendentes. Essa variável é considerada como o **grau de congestionamento** ou **taxa de intensidade de tráfego do sistema**.

Um sistema é estável quando não há formação contínua de filas, ou seja, quando os atendentes conseguem atender à demanda. Isso ocorre apenas quando o ritmo médio de chegada é menor que o ritmo médio de atendimento, isto é, $\lambda < \mu$, pois neste caso $\rho < 1$. Nos sistemas estáveis, o fluxo que entra é sempre igual ao fluxo que sai do sistema. Quando $\rho = 1$, ocorre que $\lambda = \mu$, significando que os atendentes estão ocupados 100% do tempo atendendo os clientes. A situação mais crítica ocorre quando $\rho > 1$, ou seja, quando o ritmo médio de chegada supera o ritmo médio de atendimento. Nessa condição, a fila tende a crescer indefinidamente, caracterizando um sistema **supersaturado**, no qual os atendentes não têm tempo de descanso.

Quanto ao processo de chegada, na maioria dos sistemas sua distribuição ajusta-se bem ao modelo de Poisson. Quando isso ocorre, os intervalos entre chegadas seguem a distribuição exponencial negativa (PRADO, 2004).

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi estruturada em duas etapas complementares, cada uma relacionada a um dos sistemas de filas investigados: (i) o sistema de atendimento em caixas-rápidos de um hipermercado localizado na região central de Londrina (PR) e (ii) o sistema de tráfego urbano em um cruzamento crítico da cidade paranaense, composto por uma interseção semaforizada. Embora tratem de contextos distintos, ambos os estudos compartilham a mesma lógica metodológica, baseada na coleta de dados reais, na modelagem matemática fundamentada na Teoria das Filas e na aplicação de ferramentas computacionais para análise e simulação dos comportamentos observados, buscando sempre aproximar o modelo teórico da realidade prática.

3.1. ESTUDO 1: FILAS EM CAIXAS-RÁPIDOS DE UM HIPERMERCADO

O primeiro estudo tem como objetivo avaliar o comportamento das filas nos caixas rápidos de um grande hipermercado situado no centro de Londrina (PR). Devido à localização estratégica, o estabelecimento apresenta um fluxo especialmente elevado nos horários de pico, principalmente entre 19h00min e 20h30min, quando muitos trabalhadores retornam para casa e aproveitam para realizar pequenas compras. Por esse motivo, as coletas foram realizadas no mês de novembro de 2024, em dias distintos e sempre dentro desse intervalo de maior movimento, a fim de capturar com precisão a dinâmica real do sistema.

Para mensurar os tempos relacionados às etapas do processo – entrada na fila, início do atendimento e término do atendimento – foram utilizados cronômetros digitais acionados por meio de um aplicativo capaz de registrar múltiplos marcadores simultaneamente. Em cada versão de coleta, três tempos foram registrados: (a) o momento em que o cliente entra na fila, (b) o instante em que deixa a fila e inicia o atendimento e (c) o momento em que conclui o atendimento e deixa o caixa. Esses registros permitiram calcular o tempo de espera, o tempo de serviço e o intervalo entre chegadas, fornecendo estimativas empíricas das taxas λ (chegadas) e μ (atendimento).

Como o sistema operava com uma única fila direcionada a quatro atendentes, sua modelagem matemática-estocástica foi conduzida sob o arcabouço do modelo **M/M/c**,

adequado para representar sistemas com múltiplos servidores e chegadas aleatórias. Esse modelo permite avaliar a distribuição do atendimento entre os servidores, a taxa de utilização de cada caixa, o tempo médio de espera e o número médio de clientes no sistema. Os dados coletados constituíram a base para validar empiricamente as hipóteses da Teoria das Filas e, além disso, subsidiar simulações posteriores para verificar o impacto de diferentes configurações de atendimento – como a variação do número de atendentes, ajustes na velocidade média de atendimento ou reorganização operacional.

3.2. ESTUDO 2: FILAS VEICULARES EM UM CRUZAMENTO URBANO SEMAFORIZADO

O rápido crescimento da frota de veículos nas cidades brasileiras tem tornado o trânsito cada vez mais lento e desgastante. Nesse contexto, a cidade de Londrina, localizada na região norte do Paraná, apresenta um cenário típico de grande centro urbano, com alta circulação de veículos e intensa dinâmica de serviços. Fundada em 10 de dezembro de 1934, é atualmente a segunda maior cidade do estado e a quarta maior do Sul do Brasil, contando com aproximadamente 600 mil habitantes e mais de 400 mil veículos.

Segundo dados recentes da Prefeitura de Londrina (2024), o município possui mais de 50 mil estabelecimentos distribuídos entre comércio, prestação de serviços, instituições financeiras e uma ampla rede de saúde – incluindo hospitais e dezenas de Unidades Básicas de Saúde (UBS). Essa diversidade de atividades reforça a complexidade dos fluxos de deslocamento, tornando ainda mais relevante a análise de sistemas de filas em ambientes como o transporte urbano.

Um dos pontos mais críticos da cidade, analisado neste estudo, é o cruzamento entre a Avenida Juscelino Kubitschek (JK) e a Rua Pernambuco, uma interseção muito utilizada pela população e controlada por **dois semáforos sincronizados**. O objetivo deste estudo é, por meio da Teoria das Filas, avaliar o comportamento do cruzamento como um sistema de fila, verificar se está corretamente dimensionado e propor melhorias com base em evidências empíricas.

Como o fluxo varia conforme o período do dia, as coletas foram realizadas no mês de **julho de 2024**, contemplando períodos matutino, vespertino e noturno, garantindo assim uma visão mais completa do comportamento viário. Nesses levantamentos, foram registrados o tempo dos ciclos semaforicos, o tamanho das filas formadas e o tipo de veículos que compunham o fluxo. Esses dados possibilitaram construir um modelo fiel ao que realmente ocorre no cruzamento.

A coleta exigiu um procedimento diferenciado: para identificar quantos veículos atravessavam os semáforos tanto da Av. JK, quanto da Rua Pernambuco, em um intervalo

de 10 minutos, optou-se por realizar uma gravação completa no horário de pico (por volta das 18h00). Posteriormente, os vídeos foram analisados para contabilizar com precisão a quantidade de veículos que passaram por cada via. A partir dessas observações, foram calculadas médias de veículos por minuto e por hora, necessárias para alimentar os modelos matemáticos e computacionais.

A literatura indica que ajustes inteligentes nos ciclos semafóricos, aliados ao uso de ferramentas de simulação, podem melhorar significativamente a fluidez do tráfego (MUNIZ et al., 2019). Por isso, este estudo adotou o software **PTV Vissim** como ferramenta central para modelar e testar diferentes alternativas para o cruzamento. A modelagem considerou dados reais coletados em campo, incluindo tempos de verde, amarelo e vermelho dos semáforos; a quantidade de veículos parados em cada fechamento; e a composição do fluxo por tipo de veículo.

Com o modelo finalizado, indicadores como **Delay** (atraso adicional médio por veículo) e **Number of Stops** (quantidade de paradas ao longo do trajeto) foram avaliados para identificar gargalos e propor melhorias. Além dos benefícios técnicos, o estudo traz impactos sociais diretos, contribuindo para deslocamentos mais rápidos, menos estressantes e mais seguros, especialmente para estudantes e trabalhadores que utilizam essa via diariamente.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Nesta seção, apresentamos e discutimos os resultados obtidos nos dois estudos realizados. Apesar de lidarem com cenários muito distintos, um dentro de um hipermercado movimentado e outro em um cruzamento urbano semaforizado, ambos compartilham uma questão central: a necessidade de compreender como as filas se formam, por que se tornam mais longas em determinados momentos e quais estratégias podem tornar esses sistemas mais eficientes. Para manter a análise mais clara e organizada, esta seção foi dividida em duas partes.

4.1. FILAS EM CAIXAS-RÁPIDOS DE UM HIPERMERCADO

Com o uso do aplicativo *Multi Timer Cronômetro*, que permite acionar vários cronômetros simultaneamente, foi possível registrar com precisão dois momentos essenciais: o instante em que cada pessoa entrava na fila e o momento em que concluía o atendimento e deixava o caixa. Esses registros permitiram compreender, com clareza, tanto o tempo de espera quanto a duração efetiva do atendimento.

Durante o período de coleta, os caixas rápidos operavam com quatro atendentes. A análise dos registros revelou que 165 clientes entraram na fila. Desses, 8 desistiram, alguns por demora, outros por saírem da fila para buscar mais produtos. Assim, 157 clientes foram efetivamente atendidos, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados para os cálculo das variáveis do hipermercado.

Clientes que entram na fila	Clientes que saem do caixa	Tempo	Atendentes
165	8	90 min	4

Fonte: Autoria própria.

A partir da Tabela 1, obtém-se $\lambda = 1,83$ clientes por minuto. Isso significa que, em média, mais de um cliente entra na fila por minuto, revelando um fluxo constante e intenso. Como discutido anteriormente, a taxa de chegada pode ser modelada por uma distribuição de Poisson, o que possibilitou gerar um gráfico dessa distribuição e compará-la aos dados coletados. Essa simulação foi realizada com o software estatístico **RStudio**. Com base nos registros, as demais variáveis aleatórias foram estimadas como $IC = 32,72$ e $\mu = 1,74$.

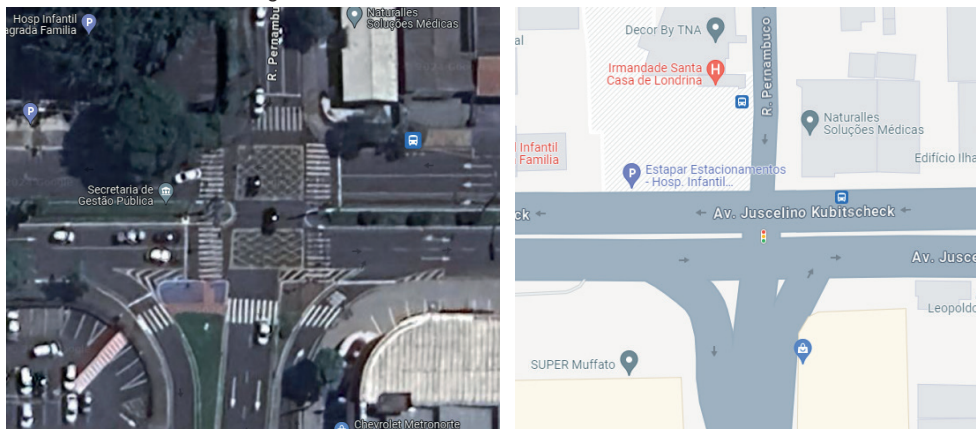
Assim, $\rho = 1,05$, indicando que o sistema opera acima de sua capacidade. Nesse cenário, o hipermercado sempre apresentará filas e os atendentes não terão intervalos para descanso. Segundo Prado (2004), quando $\rho > 1$, “estranhos fatos ocorrerão”, o que reforça o desequilíbrio do sistema.

A partir desses dados, observou-se que o tempo médio de permanência dos clientes na fila (TF) é de aproximadamente 11 minutos e 53 segundos, calculado pela Lei de Little. Esses valores deixam evidente que o tempo de espera e o tamanho da fila ultrapassam a capacidade de atendimento do sistema. Em outras palavras, o fluxo de chegada é maior que o ritmo de atendimento, fazendo com que a fila cresça continuamente e os atendentes permaneçam em estado de sobrecarga.

4.2. RESULTADOS DO ESTUDO 2: CRUZAMENTO SEMAFÓRICO

Com o objetivo de reunir as informações necessárias para avaliar como mudanças nos tempos dos semáforos poderiam otimizar o fluxo de veículos no cruzamento, tanto pela Teoria das Filas quanto por meio da simulação no software, foi realizada uma coleta de dados no cruzamento entre a Av. JK e Rua Pernambuco. Essa etapa consistiu em gravar o fluxo de veículos que atravessava o semáforo da Av. JK em direção à Av. Santos Dumont e, ao mesmo tempo, o movimento no semáforo da Rua Pernambuco no sentido Zerão.

Figura 2 – Cruzamento entre a Av. JK e Rua Pernambuco.



Fonte: Autoria própria.

Após a gravação, o vídeo foi analisado em intervalos de cinco minutos, permitindo calcular o número médio de veículos por minuto e por hora em cada via. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Informações obtidas através da coleta de dados.

Intervalo (minutos)	Rua/Avenida	Veículos	Veículos /min	Veículos /hora
0- 5	Pernambuco	54	10,8	648
5-10	Pernambuco	60	12	720
0-5	JK	86	17,2	1032
5-10	JK	114	22,8	1368

Fonte: Autoria própria.

Esses números mostram uma clara diferença de demanda entre as vias: a Av. JK apresenta fluxo médio de cerca de 1200 veículos por hora, enquanto a Rua Pernambuco registra cerca de 684 veículos por hora. Além disso, registrou-se quantos veículos conseguiam atravessar os semáforos durante o período de abertura (verde). A Tabela 3 apresenta esses dados.

Tabela 3 – Número de veículos que conseguiram ser atendidos.

Atendimento (semáforo verde)	Veículos que foram atendidos na JK	Veículos que foram atendidos na Pernambuco
1	43	20
2	37	17
3	42	25
4	38	28
MÉDIA	40,0	22,5

Fonte: Autoria própria.

A análise do vídeo também permitiu registrar, com precisão, o tempo de duração de cada cor do semáforo nos dois pontos observados, fornecendo assim as informações necessárias sobre os períodos de verde, amarelo e vermelho para cada via.

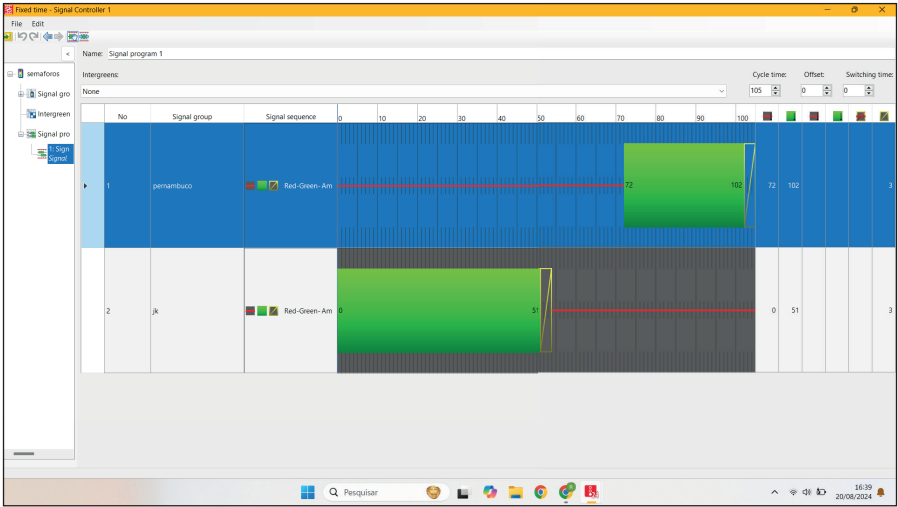
Tabela 4 – Duração de cada cor nos semáforos da Av. JK e da Rua Pernambuco.

	Duração do semáforo JK (segundos)	Duração dosemáforo Pernambuco (segundos)
Verde	45	24
Amarelo	3	3
Vermelho	57	78

Fonte: Autoria própria.

Com todos esses dados em mãos, foi possível alimentar o software PTV Vissim e construir uma simulação fiel ao comportamento real do cruzamento. As mesmas informações também foram aplicadas à Teoria das Filas, permitindo analisar o sistema tanto do ponto de vista matemático quanto por meio da simulação computacional.

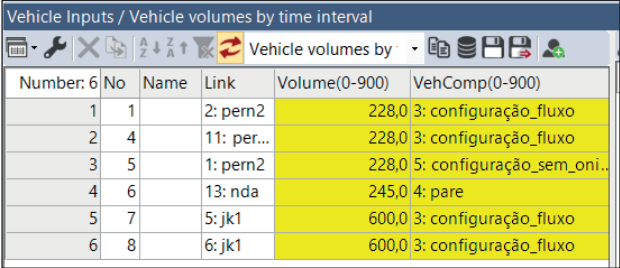
Figura 3 – Programação dos semáforos da Rua Pernambuco e da Av. JK.



Fonte: autoria própria.

Após a coleta dos dados, iniciou-se a construção do cruzamento estudado no software PTV Vissim. Isto foi feito com base no desenho inicial que o programa fornece da área de estudo e foram acrescentadas ainda as informações obtidas através do vídeo contidas nas tabelas anteriormente apresentadas, como, por exemplo, a programação dos semáforos e a quantidade de veículos que passavam por hora. Na Figura 3, pode ser vista a ferramenta que permite personalizar os tempos de duração de cada cor do semáforo.

Figura 4 – Ferramenta para definir o volume de carros em cada via.



Number: 6	No	Name	Link	Volume(0-900)	VehComp(0-900)
1	1		2: pern2	228,0	3: configuração_fluxo
2	4		11: per...	228,0	3: configuração_fluxo
3	5		1: pern2	228,0	5: configuração_sem_oni...
4	6		13: nda	245,0	4: pare
5	7		5: jk1	600,0	3: configuração_fluxo
6	8		6: jk1	600,0	3: configuração_fluxo

Fonte: autoria própria.

Depois de finalizar a construção do cruzamento com base no cenário real, iniciou-se a etapa de ajustes na programação dos semáforos da Av. JK e da Rua Pernambuco, com o objetivo de identificar configurações que pudessem melhorar o fluxo de veículos. As alterações foram feitas de forma gradual: o tempo de verde e de vermelho foi modificado em incrementos de dois segundos, tanto individualmente, em cada semáforo separadamente, quanto simultaneamente nos dois sentidos.

A cada ajuste realizado, a simulação era executada novamente, permitindo observar com precisão como aquela mudança impactava a formação de filas e o comportamento geral do tráfego. Ao final desse processo, verificou-se que aumentar o tempo de verde em quatro segundos ou mais em ambos os semáforos reduziu significativamente o acúmulo de veículos na Av. JK. No entanto, é importante destacar que nenhuma das alterações testadas trouxe melhorias perceptíveis para o fluxo da Rua Pernambuco, que permaneceu praticamente inalterado mesmo com diferentes combinações de tempos semafóricos.

Posteriormente, foi realizada a análise baseada na Teoria das Filas. A partir dos dados obtidos na gravação, calcularam-se as variáveis necessárias para descrever o comportamento da fila de veículos no cruzamento. No caso específico de uma fila controlada por semáforo, o ritmo médio de atendimento depende diretamente das características do ciclo do sinal. Assim, utilizou-se

$$\mu = [(g - t)/c] \cdot m$$

que considera o tempo total do ciclo (c), o tempo em que o sinal permanece aberto (g) e o tempo médio de atraso na liberação do fluxo (t), isto é, o intervalo entre o instante em que o semáforo fica verde e o momento em que os veículos realmente começam a avançar.

Com todas essas variáveis definidas a partir das observações do vídeo, foi possível calcular o ritmo médio de chegada dos veículos, o ritmo médio de atendimento e, consequentemente, a taxa de utilização do sistema. Esses resultados estão

organizados na Tabela 5 e permitem compreender com mais precisão se o cruzamento opera dentro da sua capacidade ou se há tendência de formação de filas persistentes ao longo do tempo.

Tabela 4 – Valores das principais variáveis para avaliação do cruzamento.

	Ritmo de Chegada (veículo por segundo)	Ritmo de atendimento (veículo por segundo)	Taxa de utilização (ρ)
Av. JK	0,33	0,31	1,06
Pernambuco	0,19	0,15	1,26

Fonte: Autoria própria.

Por fim, após as manipulações matemáticas necessárias, foi possível determinar os tempos ideais de abertura do sinal verde para cada via. O resultado indica que o tempo adequado de verde seria de 46,37 segundos na Av. JK e 28,45 segundos na Rua Pernambuco. Isso significa que, em relação aos tempos originalmente observados, seria necessário um aumento de aproximadamente 1,37 segundos na Av. JK e 4,45 segundos na Rua Pernambuco para que o fluxo de veículos operasse de forma mais eficiente.

5. CONCLUSÕES

Os dois estudos apresentados, o dos caixas-rápidos do hipermercado e o do cruzamento semaforizado, mostram como a Teoria das Filas e a Simulação podem se transformar em ferramentas essenciais para compreender problemas reais do dia a dia e propor soluções simples, eficazes e fundamentadas em dados.

No caso do hipermercado, os resultados deixaram evidente que o sistema opera constantemente acima de sua capacidade. A taxa de utilização dos atendentes é maior que 1, e o tempo médio de espera ultrapassa 11 minutos, caracterizando um sistema supersaturado, em que a fila tende a crescer continuamente. Esse cenário reforça a necessidade de intervenções operacionais, sendo a medida mais eficaz o aumento do número de atendentes nos horários de pico. Tal ajuste reduziria a sobrecarga, evitaria desistências e proporcionaria um atendimento mais fluido e satisfatório aos clientes.

Já no estudo envolvendo o cruzamento entre a Av. JK e a Rua Pernambuco, a combinação entre Teoria das Filas e Simulação computacional também se mostrou extremamente valiosa. As análises indicaram que ampliar o tempo de verde em aproximadamente quatro a seis segundos melhora de forma significativa o fluxo de veículos na Av. JK, resultado consistente entre o modelo matemático e as simulações realizadas no PTV Vissim. Embora a Rua Pernambuco não apresente ganhos expressivos mesmo após os ajustes, a convergência entre as abordagens confirma que a Teoria

das Filas oferece um diagnóstico confiável, sobretudo quando ainda não há acesso a softwares especializados.

A simulação, por sua vez, amplia as possibilidades de análise, permitindo avaliar cenários mais complexos e prever o impacto de mudanças no sistema, especialmente quando se deseja estudar áreas maiores ou múltiplos cruzamentos.

Em conjunto, os dois estudos reforçam a relevância da modelagem matemática e da simulação como ferramentas capazes de diagnosticar problemas, orientar decisões e apoiar intervenções práticas que fazem diferença direta na experiência dos usuários. Os resultados mostram que ajustes relativamente pequenos, seja aumentando o número de atendentes, seja reorganizando o tempo semafórico, podem gerar melhorias substanciais na qualidade do serviço, na fluidez dos processos e no bem-estar das pessoas que dependem desses sistemas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. Problemas de congestionamento das filas. In: ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. cap. 6, p. 104-120.

FARIA, R. M. I.; ASHTIANI, A. M.; PETRELLI, P. H. R. O estudo do tempo de espera de um restaurante universitário através da Teoria das Filas e da Simulação. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UTFPR – ENENPRO, 2024, Londrina. Anais [...]. Londrina: UTFPR, 2024.

GROSS, D.; HARRIS, C. M. **Fundamentals of Queueing Theory**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.

MINTEL. Um terço dos brasileiros evita ir a lugares com fila. 2015. Disponível em: <https://brasil.mintel.com/imprensa/estilos-de-vida/um-terco-dos-brasileiros-evita-ir-a-lugares-com-filas-revela-mintel>. Acesso em: 02 dez. 2025.

MUNIZ, A. B.; CARVALHO, A. C.; SOARES, V. T. Simulação do tráfego urbano e avaliação de cenários de sinalização semafórica. **Revista Brasileira de Engenharia de Tráfego**, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2019.

PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação**. Série Pesquisa Operacional – v. 2. Nova Lima, MG: INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2004.

RIBEIRO, G. H. S.; PEREIRA, R. S.; SANTOS FILHO, V. H.; HOLETZ, M. G.; PONTAROLO, M. L. Aplicação da teoria das filas para redução do tempo de espera no setor de embalagem de uma fábrica de móveis no município de Passos/MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2., 2017. Anais [...]. 2017.

SOBRE O ORGANIZADOR

Alireza Mohebi Ashtiani possui graduação em bacharelado em Matemática, Matemática Aplicada, pela Amirkabir University of Technology (Polytechnic of Tehran), Teerã/Irã (2003), mestrado em Matemática Aplicada pelo Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan/Irã (2005) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) na área de Automação (2012). Foi bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq no Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC/UNICAMP) e bolsista de Pós-doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) na Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (FCA/UNICAMP). Desde 2013 é docente vinculado ao Departamento Acadêmico de Matemática do Campus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e atualmente, docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT) da UTFPR, Campus Cornélio Procopio.

Alireza Mohebi Ashtiani

<http://lattes.cnpq.br/5025709771742662>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorción 58, 59, 61, 63, 64, 65, 67, 68, 70, 71
Agricultural land 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119
Agricultural land consolidation 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 118, 119
Agricultural land market 109, 110, 113, 116, 118, 119
Aguas residuales 57, 63, 64
Alumina 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16
Alumno-geólogo 98, 108

B

Biomasa 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70
Biomimicry 81, 85, 96
Biorremediación 57, 62, 64, 68
Biorremediación química 68

C

Cascarilla de soja 67, 68, 69
Celulosa microcristalina 67, 68, 70, 71
Ciclodextrinas 17, 18, 19, 23, 28
Colorantes textiles 68
Cromo (VI) 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66
Curcumina 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28

D

Desempeño 72, 73, 74, 76, 79, 99, 100, 101, 102, 106
Diclofenaco 18, 28, 29, 30, 32
Diffusion model 47
Dilatometry 1, 4, 5, 7, 12, 13, 14, 15

E

Ecodesign 81, 82, 83, 85, 86, 93, 94, 95, 96, 97
Education 32, 55, 81, 85, 95, 97
Eléctrico 72, 73, 74, 76, 77, 78, 79
Enfriamiento 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79

F

Filas 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46

Fotovoltaico 72, 74, 79

G

Geología 98, 100, 101, 102, 104, 105, 108

Geología estructural 98, 102

Girasol 56, 57, 59, 60, 64, 65

H

Hojas de cálculo 17, 18, 22

L

Land rent determinism 109, 113, 118

Legado 98, 99, 106

M

Método de relaciones molares 18, 24, 25, 26, 30, 31

Modelagem 33, 35, 38, 40, 46

Model without dissemination 47, 50

O

Oryol region 109, 115, 116, 117, 119

P

Panel 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79

Plastic 81, 90, 91, 92, 93, 95, 97

Population dynamics 47

R

Refractory 1, 2, 3, 4, 12, 13, 15, 16

Russia 109, 110, 113, 114, 115, 117, 118

S

Simulação 33, 35, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 46

Síntesis one-pot 68

Sistemas 17, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 46, 58, 73

Spinel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16

Sustainability 81, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 97, 113, 118

X

XRD 1, 5, 9, 67, 68, 69

Y

YPF 98, 99, 100, 102, 103, 105, 106, 107, 108

