|  |  |
| --- | --- |
| CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – TCC | |
| (  ) PRÉ-PROJETO     ( X ) PROJETO | ANO/SEMESTRE: 2024/1 |

MODELAGEM BASEADA EM AGENTES PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO DE BLUMENAU E SEUS POSSÍVEIS IMPACTOS DO SISTEMA EDUCACIONAL

Jardel Pereira Zermiani

Prof. Aurélio Faustino Hoppe – Orientador

# Introdução

A urbanização é um processo dinâmico e em constante expansão, influenciado pelo crescimento populacional e pelas demandas crescentes por espaço e infraestrutura nas cidades (KUDDUS *et al*., 2020). O fenômeno do crescimento urbano surge como uma resposta a essa crescente pressão demográfica, resultando em um aumento significativo na construção de edifícios verticais para acomodar a população em áreas urbanas densamente povoadas. Ainda segundo os autores, essa tendência transforma a paisagem urbana e redefine a dinâmica social e econômica das cidades, afetando diversos setores, incluindo a educação.

Diante desse panorama, Silva (2015) afirma que a relação entre crescimento urbano e educação se torna cada vez mais relevante pois precisa garantir uma distribuição equitativa e acessível de instituições educacionais em áreas urbanas em expansão. Além disso, o rápido crescimento populacional pode sobrecarregar a infraestrutura educacional existente, gerando uma demanda crescente por escolas e creches. Portanto, ao concentrar a população em espaços limitados, pode-se intensificar a necessidade de construção e expansão de escolas para atender às demandas educacionais em áreas urbanas densamente povoadas.

De acordo com Monteiro *et al*. (2017), a partir desse processo, intensificam-se problemas socioeconômicos existentes, como a segregação espacial e a desigualdade de oportunidades educacionais. Em áreas urbanas em crescimento, a segregação residencial pode se acentuar, resultando em escolas que atendem predominantemente a determinados grupos socioeconômicos. Segundo os autores, isso pode agravar as disparidades de desempenho acadêmico e limitar as oportunidades de mobilidade social para os estudantes de famílias menos privilegiadas.

Assim, conforme ressalta Monteiro *et al*. (2017), o crescimento urbano desordenado e as disparidades na distribuição de recursos podem criar desafios significativos para a acessibilidade e qualidade da educação, especialmente em comunidades de baixa renda. Para abordar essas questões, é fundamental adotar políticas e estratégias que garantam o acesso equitativo à educação em todas as áreas urbanas, considerando as necessidades específicas de cada comunidade. Deste modo, de acordo com os autores, a compreensão dos impactos do crescimento urbano na educação requer uma análise abrangente das interações complexas entre fatores demográficos, socioeconômicos e espaciais.

Nesse sentido, Furtado (2018) destacam que a modelagem de agentes emerge como uma ferramenta valiosa para estudar e prever os efeitos do crescimento urbano no setor educacional. Ao simular as dinâmicas de distribuição populacional, demanda por serviços educacionais e acesso à infraestrutura escolar em um ambiente urbano em crescimento, a modelagem de agentes permite identificar padrões emergentes e desenvolver estratégias eficazes para melhorar a equidade e qualidade da educação em áreas urbanas.

Segundo Chen (2012), ao utilizar a modelagem de agentes, os gestores municipais podem simular diferentes cenários de crescimento populacional, distribuição de escolas e políticas educacionais, levando em consideração fatores como densidade demográfica, localização geográfica das escolas, padrões de migração e demanda por serviços educacionais. A partir disso, é possível identificar áreas onde a oferta de escolas é insuficiente ou onde a segregação socioeconômica pode estar exacerbando as desigualdades educacionais.

No contexto da cidade de Blumenau, a modelagem baseada em agentes pode oferecer informações importantes sobre como o crescimento urbano impacta o sistema educacional local. Com sua economia dinâmica e atrativos culturais, Blumenau tem experimentado um aumento constante na migração interna e no desenvolvimento urbano. No entanto, esse crescimento não é uniforme e pode gerar desafios significativos para garantir que todas as comunidades tenham acesso equitativo a uma educação de qualidade. A partir disso, surge a seguinte pergunta de pesquisa: "Qual é o potencial da modelagem baseada em agentes para simular e compreender os impactos do crescimento urbano no sistema educacional de Blumenau?".

## OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de simulação baseado em agentes para representar a dinâmica da expansão urbana em Blumenau, permitindo a análise dos impactos no sistema educacional da cidade.

Os objetivos específicos são:

1. identificar os padrões de crescimento urbano em Blumenau e suas implicações para o sistema educacional, considerando variáveis como densidade demográfica, localização geográfica das escolas e padrões de migração;
2. avaliar como o crescimento urbano influencia a distribuição espacial das instituições educacionais em Blumenau, identificando áreas com carência de infraestrutura educacional;
3. analisar os impactos do crescimento urbano na qualidade da educação, levando em consideração fatores como tamanho das turmas, recursos disponíveis nas escolas e desempenho acadêmico dos alunos;
4. validar o modelo de simulação por meio de dados históricos e informações geoespaciais sobre a expansão urbana em Blumenau, garantindo sua capacidade de capturar com precisão a dinâmica do crescimento da cidade.

# trabalhos correlatos

Nesta seção serão apresentados trabalhos com características similares ao objetivo do tema proposto. Na subseção 2.1 é detalhado o trabalho de Magliocca *et al.* (2011), que busca simular a conversão de terra agrícolas em desenvolvimento habitacional utilizando um modelo de uso do solo urbano baseado em agentes econômicos. A subseção 2.2 apresenta o trabalho de Arsanjani *et al.* (2013), que abordam a expansão urbana descontrolada em Teerã, combinando modelagem baseada em agentes e análise multicritério para prever padrões de crescimento espacial. A subseção 2.3 descreve o trabalho de Yang *et al.* (2013), ao qual desenvolveram um modelo baseado em agentes para simular o comportamento das crianças em viagens escolares.

## AN AGENT-BASED MODEL OF COUPLED HOUSING AND LAND MARKETS

Magliocca *et al.* (2011) desenvolveram um modelo de simulação baseado em agentes para analisar padrões de uso da terra em áreas urbanas. Os autores tentaram reproduzir a complexidade dos sistemas de uso da terra, considerando fatores endógenos e exógenos, bem como os processos de tomada de decisão humana que operam em várias escalas espaciais e temporais. Magliocca *et al*. (2011) utilizaram Agent-based Modeling (ABM), uma técnica que permite simular a complexidade das interações entre agentes heterogêneos e seu ambiente.

Magliocca *et al*. (2011) desenvolveram um modelo em MATLAB que inclui agentes consumidores, agricultores e desenvolvedores. Cada um desses agentes age de acordo com princípios econômicos subjacentes. A Figura 1 apresenta o mapa conceitual das interações entre os agentes, que ocorrem por meio de mercados imobiliários e de terras acoplados.

Figura 1 – Mapa conceitual das interações entre agentes

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

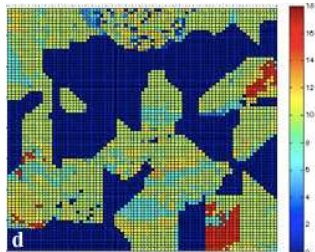
Fonte: Magliocca *et al.* (2011).

Na Figura 1, os números em vermelho indicam a sequência de eventos (no sentido anti-horário) dentro de um período de tempo simulado (t). Os agentes (em itálico) são rotulados com o modelo conceitual subjacente que governa seu comportamento. Os processos intertemporais (t+1) mostrados incluem a atualização dos modelos de previsão de aluguel dos desenvolvedores, a atualização dos modelos de previsão de preço das terras dos agricultores e o crescimento exógeno da população consumidora. Ao modelar explicitamente as atividades e decisões dos agentes, o ABM permite uma análise detalhada das interações entre eles e seu ambiente, fornecendo uma compreensão mais profunda dos processos dinâmicos envolvidos no uso da terra urbana.

Magliocca *et al.* (2011) consideraram a heterogeneidade tanto dos indivíduos quanto da paisagem. Os agricultores foram modelados com diferentes expectativas de preços de terra, enquanto os desenvolvedores calcularam projeções de aluguéis para diferentes tipos de habitação em cada área não desenvolvida. Ao integrar esses elementos em um modelo espacialmente explícito, os autores conseguiram capturar efetivamente os feedbacks complexos entre os mercados de terra e imobiliário, contribuindo para uma compreensão mais holística dos padrões de desenvolvimento urbano.

Ainda segundo Magliocca *et al.* (2011), o modelo foi executado 30 vezes com o mesmo conjunto de parâmetros experimentais, rastreando o crescimento ao longo de um período de 20 anos. As localizações dos agricultores, os retornos agrícolas e distribuição e localização dos tipos de habitação na cidade foram mantidos constantes em todas as execuções. Elementos estocásticos no modelo, como extrações aleatórias das distribuições de renda e preferências dos consumidores, limitam o entendimento de uma única realização do modelo. Em vez disso, mapas dos padrões de desenvolvimento mais prováveis foram construídos, mostrando as áreas desenvolvidas em pelo menos 60% das execuções e a distribuição dos tipos de habitação mais frequentemente encontrados.

De acordo com Magliocca *et al*. (2011), os resultados mostram que, à medida que a demanda por habitação aumenta, a terra agrícola é gradualmente convertida em desenvolvimento. Cerca de 60% da área de terra é desenvolvida após 30 anos, com um padrão de desenvolvimento disperso, observado na Figura 2, que mostra os mapas de padrão médio de desenvolvimento para diferentes momentos no tempo: a) 15, b) 20, c) 25 e d) 30.

Figura 2 – Modelo conceitual para simular padrões de crescimento urbano

Fonte: Magliocca *et al.* (2011).

Na Figura 2, os tipos de habitação são codificados por cores, variando de 1 (azul escuro) a 18 (vermelho escuro). Esses mapas representam visualmente como o desenvolvimento urbano se espalha ao longo do tempo, indicando áreas onde novos empreendimentos imobiliários estão surgindo e como a distribuição dos tipos de habitação varia em relação ao tempo e ao espaço. A densidade média diminui à medida que a distância do Centro Comercial aumenta, refletindo o aumento dos preços da terra e do aluguel. Isso foi constatado através de métricas como a análise da distribuição espacial dos diferentes tipos de uso da terra ao longo do tempo e a relação entre densidade populacional média e distância do Centro Comercial. Segundo Magliocca *et al.* (2011), embora os resultados sejam promissores, há necessidade de testes adicionais de sensibilidade e resultados do modelo, incluindo a incorporação de amenidades ambientais na simulação e a avaliação de diferentes políticas de uso da terra

Por fim, Magliocca *et al.* (2011) ressaltam que o modelo desenvolvido é capaz de capturar os feedbacks complexos entre os mercados de terra e imobiliário, influenciados pelas preferências e percepções heterogêneas dos agentes. Os autores reconhecem, no entanto, algumas limitações do modelo, como a falta de representação de amenidades ambientais e a simplificação de certos aspectos do sistema. Como extensão, Magliocca *et al.* (2011) sugerem a incorporação de amenidades ambientais e a avaliação de diferentes políticas de uso da terra no modelo.

## SPATIOTEMPORAL SIMULATION OF URBAN GROWTH USING AGEND-BASED MODELING: THE CASO OF TEHRAN

Arsanjani *et al*. (2013) investigaram os padrões de crescimento urbano em Teerã, utilizando uma abordagem de geossimulação com modelagem baseada em agentes e análise multicritério. Os autores tinham como objetivo observar o planejamento urbano na região, considerando os fatores biológicos, sociais e econômicos que influenciam o desenvolvimento urbano.  Para isso, Arsanjani *et al*. (2013) definiram três grupos de agentes: desenvolvedores, governamentais e residentes. Cada grupo de agentes teve seus comportamentos identificados por meio de pesquisas qualitativas, sendo analisados separadamente usando análise multicritério. A Figura 3 apresenta o modelo conceitual para simular padrões de crescimento urbano.

Figura 3 – Modelo conceitual para simular padrões de crescimento urbano

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Arsanjani *et al.* (2013).

Segundo Arsanjani *et al.* (2013), os desenvolvedores, responsáveis por projetos de construção em massa, foram influenciados por políticas de terra aprovadas e planos de desenvolvimento. Os agentes governamentais, representando a administração local, tinham autoridade para proibir a construção em determinadas áreas e consideravam fatores como uso atual da terra e impacto ambiental. Os residentes, migrantes internos e atuais habitantes, influenciavam as decisões de desenvolvimento com base em suas preferências de moradia.

Arsanjani *et al.* (2013) incorporaram a matriz de Markov ao modelo para capturar as transições probabilísticas entre diferentes estados de uso da terra ao longo do tempo. Isso permitiu simular e prever os padrões de crescimento urbano em Teerã para os anos de 2016 e 2026. A análise e integração dos dados foram realizadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que desempenhou um papel fundamental na visualização e análise dos resultados. O SIG permitiu a sobreposição e combinação dos dados coletados, os resultados da simulação e as informações espaciais disponíveis para Teerã. Isso facilitou a compreensão dos padrões de crescimento urbano e ajudou na identificação de áreas críticas para intervenções e políticas de planejamento urbano.

De acordo com Arsanjani *et al.* (2013), os testes foram realizados utilizando dados temporais de Landsat para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2011. A validação do modelo foi feita comparando os resultados da simulação com os dados reais de crescimento urbano em Teerã. Segundo os autores, os resultados obtidos permitiram não apenas a análise dos padrões de crescimento urbano passados, mas também a previsão de possíveis cenários futuros de desenvolvimento urbano na região, conforme ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 – Crescimento urbano simulado para 2016 e 2026

Mapa

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Arsanjani *et al.* (2013).

Por fim, Arsanjani *et al.* (2013) destacam a importância da geossimulação e da modelagem baseada em agentes para compreender e prever os padrões de crescimento urbano. No entanto, reconheceram que a integração de fatores humanos, sociais e econômicos ainda representa um desafio na modelagem precisa do crescimento urbano. Como extensão, sugeriram a inclusão de mais variáveis e cenários para aprimorar a precisão das previsões e a tomada de decisões no planejamento urbano sustentável em Teerã.

## USING AN AGENT-BASED MODEL TO SIMULATE CHILDREN’S ACTIVE TRAVEL TO SCHOOL

Yang *et al.* (2013) utilizaram Agent-based Modeling (ABM) para simular o comportamento de deslocamento escolar ativo (ATS) em crianças. A escolha da ABM permitiu a criação de um ambiente virtual que reproduz de forma realista as interações entre os agentes, neste caso, as crianças, o ambiente urbano e as políticas de transporte.

Para implementar o modelo, Yang *et al*. (2013) utilizaram Java e a plataforma Repast, uma ferramenta de modelagem baseada em agentes amplamente reconhecida. De acordo com os autores, a combinação dessas tecnologias proporcionou uma base sólida para desenvolver um ambiente de simulação flexível e altamente personalizável. O modelo incluiu uma representação detalhada de uma cidade hipotética, composta por uma rede viária realista, escolas, domicílios e crianças (ver Figura 5). Cada criança foi caracterizada por atributos individuais, como idade, gênero, atitude em relação à caminhada e preocupação com a segurança do tráfego em sua vizinhança. Esses atributos foram fundamentais para capturar a diversidade de comportamentos e preferências entre os agentes simulados.

Figura 5 – Exibição esquemática das quatro cidades hipotéticas: Baseline, S1, S2 e S3, respectivamente

Texto

Descrição gerada automaticamenteFonte: Yang *et al.* (2013).

De acordo com Yang *et al*. (2013), o modelo construído considera fatores ambientais, como a segurança do tráfego nas proximidades das escolas e a distância até a escola mais próxima. Segundo os autores, esses elementos foram incorporados de forma dinâmica, permitindo que o ambiente de simulação respondesse a mudanças nas condições e políticas.

Durante a aplicação do modelo, Yang *et al.* (2013) conduziram uma série de simulações para explorar diferentes cenários e políticas relacionadas ao ATS. Isso incluiu variações na localização das escolas, definição de áreas de captação, tamanho das escolas e densidade populacional. De acordo com os autores, a execução de múltiplas simulações permitiu uma análise abrangente dos resultados e uma avaliação robusta do impacto das intervenções propostas.

A Figura 6 apresenta os resultados dos quatro cenários de simulação. No cenário Baseline (B), no qual as escolas são uniformemente distribuídas e as crianças frequentam a mais próxima, 10.9% das crianças caminham para a escola. Em contraste, nos cenários alternativos, como o S1, S2 e S3, onde as estratégias de localização e áreas de abrangência das escolas variam, os percentuais de crianças que caminham para a escola são ligeiramente menores, variando de 8.2% a 9.5%.

Figura 6 – Resumo dos Cenários de Simulação e Resultados

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Yang *et al.* (2013).

Além disso, a partir das simulações realizadas, Yang *et al*. (2013) destacam resultados significativos em relação à segurança do tráfego. Um aumento da 20% na segurança do tráfego, levaram a uma redução de 15% no número de viagens de carro para a escola. A mudança estratégica na localização das escolas resultou em um aumento de 25% no número de crianças adotando o deslocamento escolar ativo, quando a distância média até a escola foi reduzida em 10%. Além disso, grupos demográficos específicos, como crianças mais velhas e do sexo masculino, mostraram uma maior propensão para o ATS. Esses resultados numéricos foram cruciais para informar políticas direcionadas e intervenções urbanas para promover o ATS e melhorar a saúde e a sustentabilidade do transporte escolar.

Por fim, Yang *et al*. (2013) ressaltam que a combinação de ABM, linguagem de programação Java e a plataforma Repast proporcionou uma base sólida para investigar os padrões de ATS em crianças e avaliar o impacto de políticas de transporte e intervenções urbanas. Segundo os autores, tal abordagem permitiu identificar fatores que influenciam o comportamento de deslocamento ativo e, ao mesmo tempo, evidenciou recomendações para promover o ATS em comunidades urbanas.

# proposta

Esta seção apresenta a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho, que tem como objetivo analisar os impactos do crescimento populacional no setor educacional na cidade de Blumenau através de simulações baseadas em agentes. A metodologia adotada para o desenvolvimento do modelo será detalhada, bem como os requisitos necessários para a sua implementação, além disso, serão apresentados os principais assuntos e fontes bibliográficas que irão fundamentar o presente estudo.

## JUSTIFICATIVA

No Quadro 1 é possível visualizar a comparação dos trabalhos correlatos, este quadro detalha as principais características de cada trabalho e assim podemos entender como será solucionado os problemas propostos por este trabalho.

Quadro 1 – Comparativo entre as características dos trabalhos correlatos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Trabalhos Correlatos  Características | Magliocca *et al.*  (2011) | Arsanjani *et al.*  (2013) | Yang *et al.*  (2013) |
| Problema | Uso da terra em áreas urbanas | Crescimento urbano descontrolado em Teerã | Locomoção escolar |
| Objetivo | Desenvolver e descrever um modelo de simulação para analisar padrões de uso da terra em áreas urbanas | Investigar padrões de crescimento urbano e simular cenários futuros | Desenvolver um modelo de simulação para investigar os determinantes do deslocamento ativo para a escola e avaliar o impacto de intervenções |
| Agentes | Consumidores, agricultores e desenvolvedores | Agentes Desenvolvedores, Agentes Governamentais, Agentes Residentes | Crianças, escolas, agregados familiares |
| Linguagem de programação | MATLAB | Não especificada | Java e Repast |
| Dataset | Não especificado | Dados temporais de Landsat para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2011 | Pesquisa Nacional de Viagem Domiciliar de 2009 |
| Validação do modelo | Não especificado | Comparação dos resultados da simulação com dados reais de crescimento urbano em Teerã | Calibrado com dados empíricos sobre o percentual de crianças que caminham para a escola |

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do Quadro 1, pode-se observar que cada estudo aborda questões distintas dentro do contexto urbano, utilizando diferentes abordagens e metodologias. O estudo de Magliocca *et al*. (2011) concentra-se na análise dos padrões de uso da terra em áreas urbanas, enquanto Arsanjani *et al*. (2013) investiga o crescimento urbano descontrolado em Teerã, e Yang *et al*. (2013) se dedica a promover o deslocamento ativo para a escola entre crianças e adolescentes.

Cada estudo abordou uma problemática específica dentro do contexto urbano e empregou diferentes linguagens de programação e métodos de validação. Enquanto Magliocca *et al*. (2011) utilizaram MATLAB e não especificaram a validação do modelo, devido ao fato de ser uma simulação, Arsanjani *et al*. (2013) não informaram a linguagem de programação utilizada, porém validaram seu modelo comparando-o com dados reais. Por outro lado, Yang *et al*. (2013) calibraram seu modelo com dados empíricos sobre o deslocamento ativo para a escola utilizando Java e Repast.

No que diz respeito aos agentes modelados em cada estudo, Magliocca *et al*. (2011) consideraram consumidores, agricultores e desenvolvedores, refletindo uma ampla gama de atores envolvidos nos processos de uso da terra urbana. Por outro lado, Arsanjani *et al*. (2013) focaram em agentes desenvolvedores, governamentais e residentes, destacando os principais atores responsáveis pelo crescimento urbano. Já Yang *et al*. (2013) concentraram-se em crianças, escolas e agregados familiares, evidenciando a importância de entender as dinâmicas familiares e escolares para promover o deslocamento ativo para a escola. Essas escolhas de agentes refletem as diferentes problemáticas abordadas em cada estudo, destacando a diversidade de atores e interações presentes nos contextos urbanos estudados.

Portanto, a partir deste cenário, este trabalho torna-se relevante pois utilizará a modelagem baseada em agentes para simular as demandas educacionais a partir do crescimento urbano de Blumenau. A partir dessa modelagem, pretende-se capturar as interações entre diferentes atores educacionais, como alunos, escolas, famílias e autoridades educacionais, e entender como o crescimento urbano afeta a distribuição espacial das instituições educacionais, a acessibilidade e a qualidade da educação.

Além disso, a relevância tecnológica desta abordagem encontra-se na sua capacidade de fornecer informações detalhadas e preditivas sobre o impacto do crescimento educacional no desenvolvimento urbano de Blumenau, considerando uma ampla quantidade de variáveis, como densidade populacional, renda familiar, localização das escolas e infraestrutura de transporte. Portanto, tal modelo pode ser utilizado para testar diferentes cenários de crescimento urbano e avaliar o desempenho de políticas educacionais e urbanas, permitindo que os gestores municipais tomem decisões mais informadas e eficazes.

Contudo, o desenvolvimento de uma modelagem baseada em agentes para simular o crescimento urbano de Blumenau não só contribui para uma melhor compreensão das dinâmicas educacionais e urbanas da cidade, mas também oferece uma ferramenta poderosa para orientar o planejamento urbano e educacional de forma mais eficiente e sustentável. Ou seja, ao antecipar as necessidades futuras da população em termos de educação e infraestrutura urbana, torna-se possível promover um crescimento mais equitativo e inclusivo, garantindo um ambiente urbano que atenda às necessidades de todos os seus habitantes independentes de seu local de moradia ou condição social.

## REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

O presente trabalho contemplará os seguintes Requisitos Funcionais (RF) e Requisitos Não Funcionais (RNF).

1. permitir a representação de diferentes agentes, como escolas, alunos, ruas e meio de transporte (RF);
2. os agentes devem ser capazes de interagir entre si e com o ambiente urbano de forma autônoma (RF);
3. desenvolver algoritmos que simulem o crescimento populacional ao longo do tempo, considerando dados do IBGE e fatores como taxas de natalidade e migração (RF);
4. permitir a definição de diferentes perfis demográficos, incluindo faixa etária, níveis de educação, distribuição geográfica e características socioeconômicas (RF);
5. permitir a exploração de diferentes cenários e a modificação de parâmetros para entender melhor as dinâmicas entre o crescimento populacional e as demandas educacionais (RF);
6. disponibilizar métricas de execução após a execução de cada simulação (como demanda educacional de escolas e professores, tempo de execução e consumo de memória) (RF);
7. utilizar o paradigma de programação orientada a agentes (RNF);
8. ter uma interface com o usuário intuitiva e amigável (RNF);
9. ser desenvolvido na linguagem de programação Python e na ferramenta NetLogo (RNF).

## METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido observando as seguintes etapas:

1. levantamento bibliográfico: realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre crescimento urbano e educacional, modelagem baseada em agentes e trabalhos correlatos;
2. montagem da base: realizar o pré-processamento dos dados, incluindo limpeza, normalização e transformação;
3. definição do cenário de simulação: identificar os aspectos relevantes (estado global, dinâmicas globais/ entidades locais) que representem o ambiente dos agentes;
4. definição de parâmetros iniciais: determinar as informações do ambiente urbano e educacional, as quais devem ser fornecidas aos agentes para que estes possam selecionar as ações a serem praticadas;
5. modelagem dos agentes: determinar das ações básicas dos agentes, e suas reações às entidades do ambiente;
6. definição e escolha da arquitetura de agentes: pesquisar as principais arquiteturas que possibilitem explorar a conexão entre o comportamento ao nível micro dos indivíduos e os padrões ao nível macro, escolhendo o mais adequado para o desenvolvimento do trabalho;
7. implementação: desenvolver o modelo computacional de simulação baseada em agentes a partir dos itens (b) até (e), considerando inicialmente a arquitetura BDI, utilizando a linguagem de programação Python e a ferramenta NetLogo;
8. testes e avaliação de simulação: realizar testes da simulação para avaliar sua robustez, sensibilidade a parâmetros e capacidade de generalização, além de obter feedback de especialistas para validar a abordagem adotada.

As etapas serão realizadas nos períodos relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 – Cronograma de atividades a serem realizadas

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2024 | | | | | | | | | |
|  | jul. | | ago. | | set. | | out. | | nov. | |
| etapas / quinzenas | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| levantamento bibliográfico |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| montagem da base |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| definição do cenário de simulação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| definição de parâmetros iniciais |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| modelagem dos agentes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| definição e escolha da arquitetura de agentes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| implementação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| testes e avaliação de simulação |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fonte: elaborado pelo autor.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, serão explorados os principais conceitos que fundamentam o estudo proposto. Inicialmente, na subseção 4.1 será abordado o crescimento urbana e educacional, destacando suas causas, impactos e desafios. Por fim, a subseção 4.2 apresentará a definição e a importância da modelagem baseada em agentes.

## crescimento URBANo e Educacional

O crescimento urbano acelerado, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, impõe uma enorme pressão sobre a infraestrutura social das cidades, incluindo a área da saúde, mobilidade e educação. À medida que a população urbana aumenta, também cresce a demanda por escolas, professores qualificados e recursos pedagógicos adequados, desafiando a capacidade dos governos locais de oferecerem um ensino de qualidade para todos. Oliveira *et al*. (2015) destacam a importância de um planejamento urbano integrado que englobe o crescimento populacional e as necessidades de infraestrutura social, como a educação, para garantir o bem-estar dos cidadãos.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2023) revelam um aumento populacional constante no Brasil, com a região Sudeste, concentrando grande parte desse crescimento. Essa pressão demográfica sobrecarrega os sistemas de ensino existentes, resultando em escolas superlotadas, falta de vagas, especialmente na educação infantil, e dificuldade em atender à demanda por educação de qualidade em áreas periféricas.

Neste sentido, Casaril e Fresca (2000) argumentam que a garantia de acesso à educação de qualidade é fundamental para o desenvolvimento social e econômico das cidades. Investir em infraestrutura escolar, formação de professores e criação de programas de incentivo à educação não só promove a justiça social, mas também contribui para a formação de uma mão de obra qualificada e para o desenvolvimento econômico local. Já Oliveira *et al*. (2015) defendem a implementação de políticas públicas eficazes que promovam a justiça social e o desenvolvimento urbano sustentável. Investir em escolas em áreas periféricas, ampliar o número de vagas em creches e pré-escolas, valorizar os professores e garantir acesso a recursos pedagógicos de qualidade são medidas essenciais para garantir que o crescimento urbano seja acompanhado por oportunidades iguais de aprendizado para todos. A educação, enquanto pilar fundamental para o desenvolvimento humano e social, deve estar no centro do planejamento urbano para a construção de cidades mais justas, inclusivas e prósperas.

Sampaio e Oliveira (2016) enfatizam que, apesar dos esforços em promover a inclusão educacional, persistem disparidades significativas em termos de acesso, tratamento e resultados educacionais no Brasil. Os autores ainda ressaltam que a falta de infraestrutura adequada e a má distribuição de recursos continuam sendo os principais desafios, especialmente em áreas urbanas segregadas. Além disso, para Sampaio e Oliveira (2016), a criação de políticas que promovam escolas menos segmentadas e segregadas são essenciais para garantir uma distribuição mais equitativa de oportunidades educacionais em todo o país.

Por fim, Klein (2006) destaca a importância de políticas educacionais que valorizem a formação contínua de professores, a melhoria da gestão escolar e o envolvimento da comunidade na educação. Assim como enfatiza a necessidade de avaliações constantes e adaptações das políticas para garantir a eficácia e equidade do sistema educacional brasileiro, citando a relevância de dados e estatísticas precisas para monitorar o progresso e identificar áreas que necessitam de intervenção. Segundo o autor, enquanto o país avança na expansão do acesso à educação, especialmente em contextos urbanos, persistem desafios significativos relacionados à desigualdade educacional e à eficácia das políticas públicas. Neste contexto, segundo Klein (2006), a colaboração entre governo, instituições educacionais, professores, alunos e sociedade civil é essencial para promover uma educação de qualidade, inclusiva e equitativa que contribua para o desenvolvimento sustentável e a justiça social no Brasil.

## modelagem baseada em agentes

A modelagem baseada em agentes (ABM, do inglês Agent-Based Modeling) surge como uma poderosa abordagem computacional para interpretar a complexidade de sistemas através da simulação da interação entre agentes autônomos. A ABM se concentra na construção de entidades individuais, chamadas agentes, que interagem entre si e com o ambiente, gerando comportamentos emergentes complexos (RILSBACK; GRIMM, 2012).

Em uma ABM, cada agente, seja um indivíduo, organização ou qualquer entidade relevante, possui características e comportamentos próprios, definidos por regras que ditam suas ações e tomadas de decisão (VÁZQUEZ; CAPARRINI, 2018). Essas regras, de simples a complexas, permitem que os agentes percebam o ambiente, tomem decisões e ajustem seus comportamentos com base em suas experiências (JENNINGS *et al*., 1998).

Segundo Pour e Oja (2021), a ABM se destaca pela sua capacidade de capturar e analisar fenômenos emergentes, ou seja, padrões complexos que emergem da interação de agentes individuais, mesmo que tais padrões não estejam explicitamente programados no modelo (POUR; OJA, 2021). Essa característica torna a ABM particularmente útil para estudar sistemas complexos, como é o caso do sistema educacional, onde a previsão do comportamento global a partir de suas partes individuais se torna um desafio (ATZORI *et al*., 2010).

Wilensky e Rand (2015) afirmam que a versatilidade da ABM permite sua aplicação em várias áreas, oferecendo uma nova perspectiva para a análise de sistemas complexos. Em cada área, a modelagem baseada em agentes atua como um microscópio social, permitindo que os pesquisadores observem como as interações entre os agentes individuais originam padrões complexos em um nível macro. Na economia, a ABM ganhou terreno como uma ferramenta para modelar a dinâmica muitas vezes imprevisível dos mercados financeiros. Ao representar investidores individuais como agentes com diferentes estratégias e tolerâncias ao risco, a ABM pode simular o comportamento do mercado de ações, a formação de bolhas especulativas e os efeitos de políticas econômicas.

Segundo Wilensky e Rand (2015), a área da educação também pode se beneficiar da ABM, ao qual é possível simular a dinâmica complexa de salas de aula, escolas e sistemas educacionais como um todo. Ao modelar alunos como agentes com diferentes níveis de habilidade, motivação e estilos de aprendizagem, e professores como agentes com diferentes estilos de ensino e práticas pedagógicas, a ABM pode lançar luz sobre como diferentes abordagens de ensino impactam a aprendizagem dos alunos. Além disso, a ABM pode ser usada para simular os efeitos de políticas educacionais, como programas de inclusão e reformas curriculares, auxiliando os formuladores de políticas a tomar decisões mais informadas.

De acordo com Bazzan (2010), as aplicações da ABM se estendem muito além desses exemplos, abrangendo áreas como sociologia, onde é usada para estudar a dinâmica de grupo, a difusão de informações e o comportamento coletivo, e engenharia, onde auxilia na otimização de sistemas complexos, como redes de transporte e cadeias de suprimentos. À medida que a complexidade do mundo aumenta, a ABM se consolida como uma ferramenta indispensável para compreender, modelar e, espera-se, influenciar os sistemas complexos que moldam nossas vidas.

Vázquez e Caparrini (2018) ressaltam que a construção de um modelo ABM envolve algumas etapas, como a definição de agentes, suas propriedades e regras de interação, a implementação em um ambiente de simulação computacional e a análise dos resultados (WILENSKY; RAND, 2015). Ferramentas como NetLogo, AnyLogic e Repast facilitam o desenvolvimento e execução dessas simulações. Além disso, o processo de validação do modelo é fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados. Essa etapa envolve a comparação dos dados simulados com informações empíricas, a fim de avaliar a aderência do modelo à realidade observada. Somente após a validação, o modelo ABM pode ser utilizado com segurança para explorar cenários e apoiar a tomada de decisão (MACAL; NORTH, 2009).

Referências

ARSANJANI, Jamal *et al*. **Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling**: The case of Tehran. Elsevier, v. 95, p. 33-42, 2013.

ATZORI, Luigi *et al*. **The Internet of Things: A Survey**. Computer Networks, 2010.

BAZZAN, Ana Lúcia. **IA Multiagente: Mais Inteligência, Mais Desafios**. Cap. 3 (apêndice) em Jornadas de Atualização em Informática (JAI). SBC, 2010.

CASARIL, C. C.; FRESCA, T. M**. Verticalização Urbana Brasileira: Histórico, Pesquisadores E Abordagens**. Revista Faz Ciência, [S. l.], v. 9, n. 10, p. 169, 2000. DOI: 10.48075/rfc.v9i10.7535. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/7535. Acesso em: 15 jun. 2024.

CHEN, Liang. Agent-based modeling in urban and architectural research: A brief literature review. Frontiers of Architectural Researc, v1, 166-177, 2012.

FURTADO, Bernardo **A. PolicySpace: modelagem baseada em agentes**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões**. Rio de Janeiro: Estatísticas Sociais, 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes. Acesso em: 20 abr. 2024.

JENNINGS, Nicholas *et. al*. **A Roadmap of Agent Research and Development. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**. 1998.

KUDDUS, Abdul *et al.* **Urbanization: a problem for the rich and the poor?** Public Health Rev 41, 2020.

MACAL, Charles. M.; NORTH, Michel. J. Agent-based modeling and simulation, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC), Austin, TX, USA, 2009, pp. 86-98, doi: 10.1109/WSC.2009.5429318.

MAGLIOCCA, Nichoas *et al.* **An economic agent-based model of coupled housing and land markets (CHALMS)**. Computers, Environment and Urban Systems, v. 35, p 183- 191, 2011.

MONTEIRO, Adriana Roseno *et. al*. **A questão habitacional no brasil**. Mercator (Fortaleza), v. 16, p. e16015, 2017.

OLIVEIRA, Paulo *et al*. **Verticalização Consciente: Edificar Integrando Ao Meio Urbano**. Revista Interdisciplinar Pensamento Científico, v. 1, n. 1, 17 jun. 2015.

SILVA, Maurílio. **Segregação Espaço-Escola: As Reverberações De Um Contexto Restritivo Ao Processo De Escolarização De Alunos Do Bairro Nova Viçosa (Viçosa/Mg)**. 2015. Dissertação (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

KLEIN, Ruben. **Como está a educação no Brasil? O que fazer?**. Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação, v. 14, n. 51, p. 139–171, abr. 2006.

POUR, Najmeh P.; OJA, Tönu. Urban Expansion Simulated by Integrated Cellular Automata and Agent-Based Models; An Example of Tallinn, Estonia. Urban Sci. 2021, 5, 85. https://doi.org/10.3390/urbansci5040085

RILSBACK, Steve. F.; GRIMM, Volker. **Agent-Based and Individual-Based Modeling**: a prática introduction. Princeton: Princeton University Press, 2012.

SAMPAIO, Gabriela; OLIVEIRA, Romualdo. **Dimensões da desigualdade educacional no Brasil. Revista Brasileira de Política e Administração da Educação - Periódico científico editado pela ANPAE**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 511–530, 2016. DOI: 10.21573/vol31n32015.60121. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/rbpae/article/view/60121. Acesso em: 15 jun. 2024.

VÁZQUEZ, Juan. C. G.; CAPARRINI, Fernando. S. **NetLogo**: Una herramienta de modelado. London: Culturaplex: Cultural Complexity And Digital Humanities, 2018.

YANG, Yong *et al.* **Using an agent-based model to simulate children’s active travel to school**. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, v. 10 (67), 2013.

WILENSKY, Uri; RAND, William. **An Introduction to Agent-Based Modeling**: Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo. Cambridge, Mass., United States: Mit Press, 2015. 504p.